

JUST-IN-TIME Y EFICIENCIA ENERGETICA. IMPLICANCIAS EN LOS SISTEMAS DE GESTION DE LA ENERGIA Y PROCESOS DE DESCARBONIZACION DE SISTEMAS INDUSTRIALES

MAXIMILIANO F. CAMARDA

Comisión de Eficiencia Energética del Comité de Energías Córdoba (CEC)
Centro de Investigaciones y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CIECS) - CONICET y UNC,
Córdoba, Argentina.

maxi_camarda@hotmail.com

Fecha recepción: abril 2020 Fecha aprobación: octubre 2020

RESUMEN

El objeto del presente trabajo es demostrar la efectividad que posee la filosofía de gestión *Just-In-Time* dentro de un sistema de gestión de la energía en una organización industrial, y las implicancias que podría generar en un proceso de descarbonización de los sistemas industriales en las economías de mercado.

El *Just-In-Time*, hace décadas viene demostrando ser un sistema de gestión imprescindible para mejorar el grado de calidad de los bienes y servicios, incrementar la eficiencia económica y mejorar el perfil de rentabilidad en una empresa, consolidando su posición competitiva de mercado.

En un contexto mundial abatido por el calentamiento global y los efectos adversos del cambio climático, se plantean nuevos interrogantes sobre cómo gestionar los recursos en las organizaciones, los sectores industriales y la economía en general. Desde esta perspectiva, resulta imprescindible la búsqueda sistemática de nuevos sistemas de gestión que colaboren con la minimización del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentando la cultura del ahorro energético en la comunidad global.

El *Just-In-Time* en el campo de la Eficiencia Energética, constituye un punto de ruptura que nos permitirá avanzar hacia un sistema de conocimiento, económico y ambiental basado en el concepto de mejora energética continua.

PALABRAS CLAVES. Eficiencia Energética - *Just-In-Time* - Sistema de Gestión de la Energía - Método de Arrastre Energético - Manufactura Ajustada - Desarrollo Económico Sustentable.

ABSTRACT

This work aims to demonstrate the effectiveness of Just-In-Time management philosophy within an energy management system in an industrial organization and the implications that it could generate in a process of decarbonization of industrial systems in the market economies.

For decades, Just- In-Time has been proving that it is an essential management system to improve the quality of goods and services, increase

economic efficiency and improve the profitability profile of a company by consolidating its competitive market position.

In a global context dejected by global warming and the adverse effects of climate change, new questions arise about how to manage resources in organizations, industrial sectors, and the economy in general. From this perspective, it is essential the systematic search for new management systems that collaborate with the limitation of energy consumption and greenhouse gas emissions, promoting the culture of energy saving in global community.

Just-In-Time in the field of Energy Efficiency constitutes a breaking point that will allow us to move towards a system of economic and environmental knowledge based on the concept of continuous energy improvement.

KEYWORDS. Energy Efficiency - Just-In-Time - Energy Management System - Energy Entrainment Method - Lean Manufacturing - Sustainable Economic Development.

1. INTRODUCCION

La humanidad transita momentos difíciles, y se encuentra condicionada a la búsqueda de múltiples y complejas soluciones, derivadas de los efectos no deseados que el cambio climático está generando en los glaciares, el océano, la supervivencia y reproducción de las especies, el comercio, el turismo, la industria, los servicios públicos, la salud humana, los movimientos migratorios, etc.

El crecimiento vertiginoso de las actividades antropogénicas, existente durante la Primera Revolución Industrial (1780 - 1860) y la Segunda Revolución Industrial (1860 - 1914), sumado a las crisis socioeconómicas provocadas por dos guerras mundiales y una numerosa cantidad de conflictos sociales, políticos y ambientales, no han permitido a los Estados soberanos a nivel mundial, lograr una Política Unificada de Desarrollo Sostenible (PUDS), capaz de superar el caos climático de carácter incremental en el que se encuentra inmerso el Planeta Tierra.

Los efectos del calentamiento global, producto de las actividades antropogénicas sistemáticas y desmesuradas, no se han gestado en un espacio-tiempo de producción/emisión acotado, sino que poseen una extensa trayectoria de crecimiento y evolución. No obstante, si bien hace décadas se viene trabajando sobre la resolución de diversos problemas ambientales, ya que existen varios acuerdos a nivel global como el Protocolo de Montreal o el Protocolo de Kyoto, todavía existen deudas pendientes con la sociedad en una resolución expedita contra el cambio climático.

En estas condiciones, desde el año 2015 aproximadamente, se viene trabajando en una política global que pretenda garantizar un futuro sostenible a través de un nivel bajo en emisiones de carbono, limitando el incremento de la temperatura en 2° centígrados por encima de los niveles preindustriales, y aumentar los esfuerzos para ubicarla en 1,5° centígrados. Esto es lo que conocemos con el nombre de Acuerdo de París (CEPAL, 2015). En este

contexto, la mayoría de los países que adhieran voluntariamente a tal Acuerdo, deberán tomar decisiones concretas sobre cómo gestionar sus recursos energéticos y naturales a largo plazo, estableciendo medidas y programas concretos de adaptación y mitigación del cambio climático.

No debemos olvidar, que existen barreras socioculturales, políticas, económicas, tecnológicas, etc., que condicionan el proceso de avance en lo que respecta a la mitigación del cambio climático, producto de una dinámica sistémica compuesta por múltiples actores con decisiones individuales/colectivas con objetivos disímiles.

Es importante reconocer la incertidumbre inherente en las estructuras de comportamiento que se alejan de las buenas prácticas en el uso racional y eficiente de la energía, al momento de diseñar políticas públicas con objetivos cada vez más ambiciosos de restricciones de emisión, que permitan desacelerar el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, fundamentalmente al iniciar un proceso de transición energética (Chen, Nie, Wang y Meng, 2019; Li, 2017).

La utilización sostenible de la energía y la protección del medio ambiente constituyen decisiones políticas elementales para poder garantizar el crecimiento económico sostenible. El crecimiento a largo plazo requiere, no sólo una disminución continua de la intensidad energética y el progreso de la tecnología en los campos de extracción, refinamiento y utilización de los recursos energéticos, sino también, de un ajuste óptimo en las estructuras de las matrices energéticas (Zuo y Ai, 2011).

En el campo de los sistemas industriales y de transporte, dos de los mayores consumidores de energía a nivel global y en América Latina y el Caribe (Lapillone, 2016), una estrategia basada en la revisión y conversión de las matrices industriales y energéticas, y en la reducción sistemática de la intensidad energética a través de Programas de Eficiencia Energética (PEE), permitirá reducir la dependencia de fuentes energéticas basadas en el carbono, incrementar la tasa de inserción de energías limpias e incrementar la eficiencia generalizada de los sectores industriales y la economía.

Para los Estados soberanos y el sector privado, la creciente escasez de combustibles fósiles, el calentamiento global, el aumento de los precios de la energía y la creciente conciencia ecológica de las personas, han llevado a la utilización eficiente de la energía a ubicarse en la cima de la agenda política y empresarial (Bunse, Vodicka, Schönsleben, Brühlhart y Ernst, 2011). En este escenario, se plantean una serie de importantes cambios de paradigma, tanto a nivel de políticas públicas en el seno del Estado, como en los modelos de negocios del sector privado (Böttcher y Müller, 2016).

Por un lado, el Estado debe enfrentar las exigencias de ciudadanos, que poco a poco van migrando a un estadio de nuevas exigencias medioambientales que le permitan resguardar el derecho innegable e impostergable a la salud humana, a vivir en un ambiente sano y libre de efectos nocivos para su integridad. Por otra parte, el sector privado ya no sólo debe pensar en el comportamiento de empresas competidoras, proveedores o clientes, sino en nuevos modelos de gestión adaptados, que le permitan

gestionar eficientemente sus recursos, garantizando la provisión de un bien o servicio diferenciado, que respete el medio ambiente, las nuevas exigencias ambientales y las preferencias más sofisticadas de los clientes en cuanto a un proceso de producción sostenible.

2. SOBRE LOS SISTEMAS DE GESTION DE LA ENERGIA

Un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), es una estructura que permite la administración y mejora continua de políticas y procedimientos, cuyos objetivos se direccionan hacia el uso racional y eficiente de la energía en una organización, independientemente del tamaño y de su actividad principal. Su aplicación es de carácter voluntario, es por ello por lo que requiere de un nivel elevado de compromiso por parte de los miembros de la organización, y en especial, de los responsables de su aplicación (OLADE, 2013).

Los SGE trabajan a través del Principio de Mejora Continua, realizando una medición del consumo energético en cada etapa o eslabón de la cadena de valor de una organización, desde los procesos de investigación y desarrollo, proveedores, procesos productivos, almacenamiento, transporte y distribución, venta final al cliente, servicio posventa, etc., a los efectos de reunir toda la información clave sobre los niveles de consumo energético (Carretero Peña y García Sánchez, 2012). El aumento de los costes de la energía en los procesos de fabricación, y su impacto en los niveles de rentabilidad, obliga a los directivos de empresas a focalizar su atención en los sistemas de gestión de la energía (Aghelinejad, Ouazene y Yalaoui, 2018; Wessels, 2011).

Las organizaciones en general y las empresas en especial, se enfrentan a desafíos asociados con la mejora de indicadores de rendimiento energético, la mejora continua de la eficiencia en el consumo de energía y la gestión de certificaciones internacionales. Los resultados han demostrado, que a través de la certificación ISO 50001 las organizaciones incrementaron su tasa de rendimiento de los indicadores anuales de productividad energética, reduciendo la tasa de intensidad energética (Böttcher y Müller, 2016; Chiu, Lo y Tsai, 2012).

Por otra parte, en el diseño de un PEE, necesitamos establecer adecuadamente la unidad de medida y definir una metodología para ponderar efectivamente el consumo energético en sus diversas formas de expresión (kilovatios-hora, metros cúbicos de gas natural, cantidad de litros de combustible, tonelada equivalente de petróleo -tep-, etc.).

En el campo de la Eficiencia Energética (EE), no podemos corregir un comportamiento alejado de las buenas prácticas en el uso eficiente de la energía, si no podemos cuantificar la magnitud del derroche energético y calificar su nivel de importancia e impacto ambiental. En este sentido, es necesario medir para poder identificar, identificar para cambiar, y cambiar para mejorar; ya sea, un proceso, actividad, norma, perfil de consumo, utilización de una determinada tecnología, máquina o herramienta, esquema industrial, etc. (Gómez, Sella Piedrabuena y Mathé, 2013; Swords, Coyle y Norton, 2008).

Los sistemas de gestión de la energía de nueva generación aprovechan las tecnologías avanzadas de análisis y comunicación para ofrecer a los consumidores información procesable y funciones de control, de la misma forma que garantizan su manipulación, disponibilidad, seguridad y privacidad (Aman, Simmhan y Prasanna, 2013).

Un sistema de gestión de la energía es parte integrante de un sistema de gestión global de la organización; en nuestro caso en particular, un sistema de gestión global basado en la filosofía *Just-In-Time*, se compone de un sistema de gestión de la calidad, un sistema de gestión ambiental, un sistema de gestión operativo, etc.

2.1 Pautas que rigen el éxito en los SGE

Un SGE necesita del compromiso y respaldo de los niveles jerárquicos superiores, así como del cumplimiento de algunas pautas claves para lograr el éxito en su implantación, entre ellas podemos mencionar las siguientes.

- Establecimiento de una función de prioridades energéticas, que relacione los diferentes perfiles de consumo energético y sus respectivas aplicaciones energéticas. Esto debe responder a las siguientes preguntas. ¿Quién utiliza la energía?, ¿Para qué utiliza la energía? y ¿Cómo utiliza la energía?

- Establecimiento de una función de estándares de eficiencia energética, que relacione el establecimiento de indicadores mínimos de EE, pautas de cumplimiento, instrucciones para los usuarios y participantes de un PEE, con las posibilidades reales de ahorro energético.

- Establecimiento de una función de medición de estándares de eficiencia energética, que permita monitorear el grado de cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética, y la normativa vigente en los diferentes niveles de gobierno y organismos encargados de promover la EE, evidenciando los logros reales alcanzados a través del PEE.

- Establecimiento de una función de ajuste de las medidas de eficiencia energética implementadas, que permita corregir los desvíos acontecidos en materia energética, económica y ambiental respecto a la planificación energética.

- Establecimiento de una función de incentivos multiobjetivos, con el fin de estimular la participación del personal en los proyectos colectivos de trabajo tendientes a lograr una organización eficiente y sustentable.

- Establecimiento de una función de capacitación y perfeccionamiento en temas energéticos y ambientales, que tenga por objeto promover la cultura del ahorro energético a través del intercambio de conocimientos y experiencias. Las Redes de Aprendizaje en Eficiencia Energética (RdAEE), constituyen un elemento clave en la formación de recursos humanos calificados, especialmente en el sector Pyme y el sector público a nivel municipal (Camarda, 2017, 2019).

- Establecimiento de una función de retroalimentación de información energética, que promueva el mantenimiento de un sistema de información

energético actualizado, veraz, oportuno, fiable, que permita enriquecer el proceso de toma de decisiones basado en el uso racional y eficiente de la energía.

Toda organización (pública, privada, mixta, ONG, etc.) puede implementar un SGE en su estructura organizacional, y no necesariamente dicho sistema debe estar certificado, lo cual, no la inhabilita de la posibilidad de obtener buenos resultados en sus indicadores energéticos, si se respetan una serie de condiciones mínimas e indispensables para instaurar la cultura del ahorro energético en la organización; no obstante, la experiencia demuestra que los resultados más sobresalientes corresponden a sistemas energéticos certificados a través de ISO 50001 (OLADE, 2013).

3. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA *JUST-IN-TIME*

Los inicios del *Just-In-Time* (JIT), se encuentran asociados a las funciones de aprovisionamiento de los astilleros japoneses. El exceso de capacidad instalada de los fabricantes de acero permitía realizar entregas con mayor grado de inmediatez a los constructores de barcos (Schonberger, 1992). Por dicha razón, los constructores de barcos aprovecharon la oportunidad para que los proveedores suministraran sus insumos con mayor frecuencia, en cantidades menores, logrando de esta manera reducir significativamente los niveles de inventarios de materias primas.

Esta nueva dinámica en el proceso de suministro comenzó a extenderse a otras empresas, iniciando una nueva relación cliente-proveedor, exigiéndose a los proveedores entregas justo a tiempo, que influyeron en el resto de las actividades internas y externas de los actores involucrados (Bai, Kusi-Sarpong, Ahmadi y Sarkis, 2019). Una cadena de suministro eficiente permite mejorar el rendimiento en cada célula de trabajo, reducir tiempos de fabricación y distribución, evitar multas por entregas prematuras o tardías y la pérdida de clientes insatisfechos (Bushuev, Brown y Rudchenko, 2018).

Según Yasem de Estofán (2004), en los astilleros japoneses también se introdujeron técnicas de calidad total y sistemas de reducción de tiempos de cambio o adaptación, en especial, en grandes prensas, constituyendo así el origen de gran parte de las técnicas JIT actuales.

El *Just-In-Time*, es una filosofía que tiende a fabricar los productos estrictamente necesarios, en el momento preciso y en las cantidades justas (Bañegil, 1993; Groenevelt, 1993). Todos los componentes deben ser suministrados en la medida en que son requeridos. Para este tipo de sistema, producir una unidad adicional (por exceso), es tan perjudicial como producir una unidad menos (por defecto), en este sentido, finalizar la producción un día antes de lo previsto es considerado un problema, tal como finalizar un día después (Yasem de Estofán, 2004).

De acuerdo con Schonberger (1992), un sistema de producción JIT compra materias primas justo a tiempo de ser incorporadas en el proceso de fabricación, utiliza mano de obra justo a tiempo de manipular las máquinas y productos, transforma productos semielaborados justo a tiempo de ser

convertidos en productos finales o en otras partes semielaboradas, y produce bienes y/o servicios justo a tiempo de ser vendidos. Uno de los objetivos del JIT, es incrementar las utilidades a través de la reducción y/o eliminación de los costes que generan los inventarios innecesarios, pero su gran objetivo, es mejorar la posición competitiva de la empresa al incrementar el grado de calidad de los bienes y servicios y la flexibilidad con relación a los clientes (Hay, 2003; Schonberger y Gilbert, 1983).

Siguiendo el trabajo de Hayes (1981), entre las características más sobresalientes del JIT podemos mencionar, ausencia de inventarios en planta, el inventario del trabajo en proceso es mínimo, las materias primas se distribuyen en lotes pequeños, el material se mueve constantemente por manipuladores de materiales, equipos automatizados y por los propios trabajadores, las entregas de los proveedores son periódicas para evitar el exceso de materias primas en planta, los productos acabados se retiran inmediatamente y se trasladan a un almacén separado o se envían directamente a distribuidores o clientes.

4. EL ESPACIO-TIEMPO DE PRODUCCION Y EL AHORRO ENERGETICO

La producción/prestación de un servicio se realiza en un momento del tiempo y el espacio, por lo que no deberíamos hablar sólo de plazo de producción, aunque gran parte de la literatura así lo establece; en realidad, deberíamos contextualizar el espacio de estrategias posibles a través de un enfoque adecuado y un concepto más representativo al que podemos denominar Espacio-Tiempo de Producción (E-T-P).

En forma análoga, la energía no se consume a través del tiempo, sino que manifiesta su demanda energética a través de un sistema de preferencias energéticas en una cierta dimensión espacio-tiempo. El sistema de preferencias energéticas determina los diferentes perfiles de consumo energético, y la dinámica que sigue el consumo de energía a través de las diferentes dimensiones espacio-tiempo, dan origen al Espacio-Tiempo de la Energía (E-T-E).

El éxito en la implementación de un SGE depende de una correcta comprensión y abordaje del Espacio-Tiempo de Producción y su relación con el Espacio-Tiempo de la Energía, a través de diversas herramientas de gestión que nos permitan una mayor aproximación a las buenas prácticas en el uso racional y eficiente de la energía y al desarrollo continuo de una cultura del ahorro energético.

A continuación, desagregamos al Espacio-Tiempo de Producción, en sus diferentes componentes que lo integran.

- Espacio-Tiempo de planificación. Hace referencia al espacio-tiempo dedicado a la planificación de los distintos aspectos del trabajo en sus diferentes niveles jerárquicos y áreas funcionales.

- Espacio-Tiempo de preparación y adaptación de máquinas. Se considera así al espacio-tiempo necesario para que las máquinas y procesos

tecnológicos se encuentren en condiciones de ser manipulados en el proceso de producción.

- Espacio-Tiempo de procesamiento. Corresponde al espacio-tiempo inherente a cada proceso de trabajo dentro de la organización.

- Espacio-Tiempo de inspección. Espacio-tiempo habilitado para realizar el control estadístico de calidad y todo tipo de controles para ajustar la producción a los estándares planificados.

- Espacio-Tiempo de espera o espacio-tiempo en cola. Espacio-tiempo estimado interprocesos; será mayor cuánto mayor sean las ineficiencias o cuellos de botella asociados a los diversos procesos de trabajo.

- Espacio-Tiempo de transporte interno. Espacio-tiempo asignado a la circulación de materias primas y productos (en proceso o finales) por las diversas secciones de la planta.

- Espacio-Tiempo de almacenamiento. Hace referencia al espacio-tiempo en el que la materia prima, los productos en proceso y productos finales permanecen almacenados sin ser demandados por clientes internos y/o externos.

- Espacio-Tiempo de capacitación/instrucción. Espacio-tiempo destinado a desarrollar programas de capacitación para formar empleados polifuncionales.

- Espacio-Tiempo de fabricación. Se encuentra asociado a la sumatoria agregada de todos los tiempos necesarios para finalizar íntegramente las actividades en cada eslabón de la cadena productiva, dejando el producto listo para ser entregado a través de la política de distribución y venta.

En un sistema ideal de fabricación JIT, el espacio-tiempo del proceso de producción es igual al espacio-tiempo de procesamiento, planificación y capacitación, ya que una política cero despilfarros tiende a reducir y/o eliminar el espacio-tiempo de almacenamiento, preparación de máquinas, inspección, espera y transporte interno. La reducción de los espacios-tiempos mencionados permite reducir el espacio-tiempo del consumo de energía, con lo cual, la intensidad energética de la producción industrial tiende a ser una variable decreciente, bajo esta filosofía de gestión.

5. CICLO DE MEJORA ENERGETICA CONTINUA (CMEC)

La mejora continua aplica el concepto “entra uno sale uno”, es decir, al ingresar un insumo, inmediatamente se utiliza, al fabricar un producto inmediatamente se entrega en manos del cliente, de esta forma, se tiende a reducir al mínimo o bien eliminar la cantidad de inventarios y materias primas en planta y productos finales en centros de distribución y venta (Ohno, 1993).

En una filosofía *Just-In-Time* de la Energía, a través del Ciclo de Mejora Energética Continua (CMEC) sucede algo similar, ya que cada unidad de fuente energética que ingresa (kilovatios-hora, metros cúbicos de gas natural, litros de combustible, tep, etc.), inmediatamente se utiliza, y se consume la cantidad exacta de energía que demanda producir una unidad de producto a lo largo de la cadena de valor. Desde esta perspectiva, es estrictamente necesario realizar

una medición y verificación exacta del consumo energético que posee cada producto, para garantizar niveles óptimos de eficiencia energética.

La mejora energética continua se encuentra asociada directamente a lo que denominamos Principio de Energía Mínima (PEM). Este principio nos advierte, que debe consumirse la menor cantidad de energía posible en un cierto espacio-tiempo de producción, lo que permite reducir los costes energéticos y los costes del proceso de producción. El principio de energía mínima posee estrecha correspondencia y conduce a la aplicación del Principio de Emisión Mínimo de Carbono (CO₂).

Una organización que aplique estos principios como filosofía de gestión, en especial, aquellas de carácter energointensivo (Abdulaziz, Saidur y Mekhilef, 2011), podrá beneficiarse de los beneficios energéticos, económicos, ambientales y sociales, producto de una reducción sistemática de la intensidad energética, un menor nivel de emisiones de CO₂, menores multas por contaminación e impuestos al carbono (para aquellos países que posean este instrumento de política).

Un Ciclo de Mejora Energética Continua (CMEC), basado en el Ciclo Deming de la Calidad consta de cuatro fases, las mismas son las siguientes (FIGURA 1).

1. Planear. Esta etapa se inicia con la planificación energética, donde debe delimitarse una serie de datos relevantes, tales como. objetivos de eficiencia energética, plazos de ejecución, metas de ahorro energético, formulación de indicadores de EE, actividades a desarrollar, actores involucrados en el programa, etc.

2. Hacer. Consiste en la implementación de acciones de corto, mediano y largo alcance destinadas a fomentar el ahorro energético, ya sea, por sectores, procesos, actividades, cambios de equipos, luminaria y tecnología, programas de capacitación y educación al personal, redes de aprendizaje de EE, fondos de EE, etc.

3. Valorar. En esta etapa debe medirse el grado de cumplimiento de los objetivos resultantes de la etapa de planificación, es muy importante para la generación de información energética de retorno y el desarrollo de acciones correctivas y/o preventivas.

4. Ajustar. Gracias a la información energética de retorno producida en la etapa anterior, se realizan las correcciones y ajustes necesarios al programa, a través de un Plan de Ajuste Energético (PAE), de forma tal que, pueda lograrse la evolución y enriquecimiento de este.

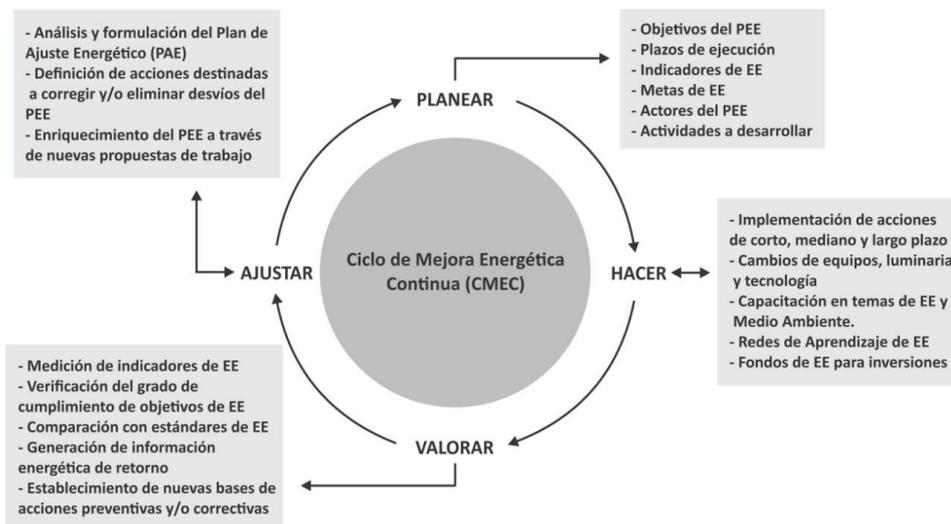


FIGURA 1. Ciclo de Mejora Energética Continua (CMEC)

Fuente. Elaboración propia en base a Gómez, Sella Piedrabuena y Mathé, 2013.

6. DISTRIBUCION EN PLANTA CELULAR

La distribución en planta refleja el ordenamiento de los recursos, con el objeto de disponer de un sistema productivo eficiente, que permita cumplir con las metas de la organización.

Normalmente podemos identificar tres tipos de distribución.

1. Distribución en planta con orientación al producto. Esta distribución se encuentra asociada a configuraciones continuas y repetitivas, ordena los puestos de trabajo en forma continua, previendo el orden en que se realizan las operaciones.

2. Distribución en planta con orientación al proceso. Se encuentra asociada a configuraciones por lotes, aquí se agrupan las máquinas por tipo de actividad, lo que se denomina implantación funcional. Los productos circulan por una sección de trabajo en función de las necesidades de uso de determinados procesos.

3. Distribución en planta por posición fija. Esta distribución se realiza en función de los proyectos de trabajo existentes.

El caso de la distribución celular se trata de una forma de distribución híbrida que combina dos tipos de distribución, por producto y por proceso. Cada célula de trabajo constituye una minifábrica que agrupa recursos humanos, máquinas, herramientas, diversas tecnologías, etc. (implantación celular), para fabricar productos que poseen procesos similares. Las características de la distribución por proceso se manifiestan en los trabajos específicos que se realizan en cada célula, y en lo que respecta a la organización del trabajo, refleja la naturaleza de la distribución por producto.

Así como dentro de la filosofía *Just-In-Time* hablamos de organización de células operativas (CO), en el campo de la eficiencia energética hacemos referencia a la gestión de células de energía o células energéticas (CE), como partes fundamentales de un sistema de gestión de la energía (*Just-In-Time* de la Energía) orientado a la mejora energética continua y a la excelencia energética y ambiental.

6.1. Ventajas de la aplicación de células energéticas

Las células energéticas (CE), constituyen la conformación de una unidad de trabajo con fines y objetivos específicos, basados en la búsqueda sistemática de la excelencia productiva y energética (Béranger, 1988), a través de un proceso de aprendizaje continuo sobre nuevas formas de gestionar los recursos y promover el uso racional y eficiente de las diversas fuentes energéticas disponibles.

Debido a que resulta imprescindible integrar los rendimientos de la eficiencia energética en la gestión de la producción (Bunse, Vodicka, Schönsleben, Brühlhart y Ernst, 2011), la organización celular permite un mayor grado de fluidez en el proceso de gestión de los recursos incrementando la eficiencia operativa y por ende la eficiencia energética.

La nueva disposición de los procesos y el diseño de planta a través de una distribución celular permite liberar espacio físico, reducir los tiempos de adaptación en las máquinas y los tiempos de espera, generando ventajas energéticas en lo que respecta a una reducción en la utilización de luminarias y el consumo energético del equipamiento tecnológico (FIGURA 2).

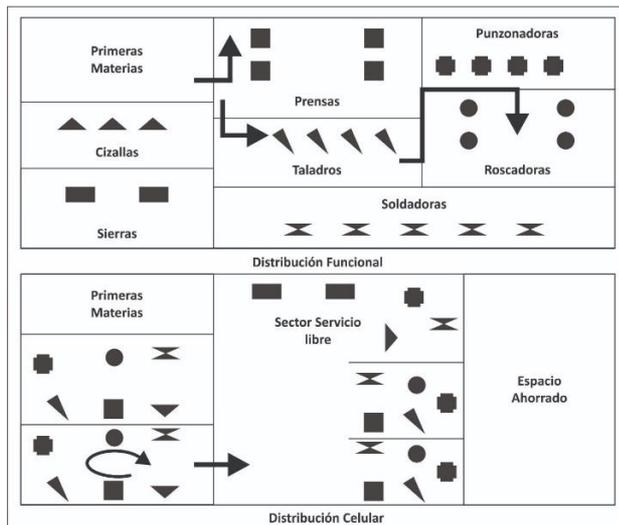


FIGURA 2. Distribución Funcional vs. Distribución Celular
Fuente. Elaboración propia en base a Yasem de Estofán, 2004.

La organización en minifábricas permite detectar más rápidamente las pérdidas de energía, que generan sobrecostos energéticos y ambientales, ya que resulta más simple identificar, medir y evaluar aquellas tecnologías, procesos, actividades, etc. que suelen desviarse del camino eficiente en el uso de la energía (Jubiz-Díaz, Santander-Mercado y Candelo-Becerra, 2019). La identificación expedita de irregularidades energéticas permite realizar un abordaje oportuno de la situación, preparar un diagnóstico energético y elaborar un plan de acción basado en el ciclo de mejora energética continua.

La diferenciación entre el uso productivo o eficiente de la energía y el uso no productivo o ineficiente de la energía conduce a identificar oportunidades de mejora energética continua a través de la implementación de programas de eficiencia energética; existen varios modelos interesantes relacionados a *Lean Manufacturing*, uno de ellos, es el denominado *Lean Energy Analysis* (LEA) (Abels, Sever, Kissock y Ayele, 2011; Rojas-Rodríguez y Prías-Caicedo, 2014).

La gestión *Just-In-Time* de la Energía, admite el proceso de mejora continua en el plano energético como una filosofía irrefutable, a medida que avanzamos en las diferentes dimensiones espacio-tiempo siempre existe una posibilidad de mejorar la gestión energética y colaborar con la reducción del nivel de emisiones de gases de efecto invernadero y el proceso de descarbonización de la empresa y los sistemas industriales (Grubb, 1997).

Las herramientas *Lean Manufacturing* (Manufactura Ajustada) permiten reducir el consumo de energía, en este sentido, la eficiencia energética debe considerarse una medida adicional del rendimiento en *Lean Manufacturing Systems* (Sistemas de Manufactura Ajustada) (Khalaf, Labib y Elsayed, 2012).

7. EL METODO DE ARRASTRE (*PULL-THROUGH*) VS. EL METODO DE EMPUJE (*PUSH-THROUGH*)

El proceso logístico, es una actividad que relaciona la organización con sus clientes y proveedores, abarcando un conjunto amplio de tareas relacionadas al proceso de compras, transporte, movimiento y almacenamiento de materias primas, inventarios, y todas aquellas actividades auxiliares relacionadas al proceso de producción y comercialización (Yasem de Estofán, 2004). Todas las actividades mencionadas dan origen a conceptos, tales como. logística de transporte, distribución, almacenamiento, inspección, mantenimiento y abastecimiento/aprovisionamiento.

La logística eficiente como proceso, organiza y administra los flujos físicos y de información, tanto internos como externos de la organización, buscando maximizar la eficiencia en la asignación y control de recursos, consolidando el desarrollo de ventajas competitivas (Irós, Moiso, Bravo y Alonso, 2013; Kalaitzi, Matopoulos, Bourlakis y Tate, 2019).

Desde esta perspectiva, para reducir el nivel de inventarios y producir un artículo en la cantidad y el momento preciso, se requiere información exacta sobre el tiempo y el volumen de los requerimientos de producción de todas las estaciones de trabajo. Para suministrar dicha información en forma expedita, el

sistema JIT utiliza un Método de Arrastre, denominado Método del Tirón o Método *Pull-Through*, en contraposición al Método Tradicional de Empuje o Método *Push-Through*.

Bajo el sistema *push-through*, el trabajo se inicia con una orden de aprovisionamiento/producción, en el centro de trabajo inicial. Dichas órdenes se emiten conforme a la demanda estimada y a un programa maestro de producción. A medida que la tarea es completada en la primer estación o eslabón del proceso de producción, la información fluye hacia adelante al siguiente eslabón o estación, y así sucesivamente se repite dicha secuencia, hasta que el producto se encuentra disponible para el próximo cliente.

En el método *pull-through*, sucede lo contrario al enfoque tradicional (*push*), las referencias de producción conocidas con el nombre de *kanban*, es decir, un conjunto de tarjetas o etiquetas que reemplazan a las órdenes tradicionales, provienen de la próxima o subsecuente estación de trabajo.

Los *kanbanes* se emiten en función de la demanda real de trabajo, por lo que el conocimiento de las preferencias y necesidades del cliente, debe ser una información perfectamente conocida. Este proceso se inicia con la demanda real de trabajo y puede llegar hasta los proveedores, es un proceso inverso al enfoque tradicional. La información fluye hacia adelante, en lo que respecta a la disponibilidad de inventarios, y hacia atrás, por medio de *kanbanes*. A través de los *kanbanes*, la estación de trabajo precedente se informa de la cantidad exacta que debe tomar de las partes disponibles, para ensamblar al producto, procurando eliminar y/o reducir al mínimo el nivel de inventarios que ocupan espacio y generan diversos costes para la empresa.

Los trabajadores retroceden hasta la estación anterior para retirar los materiales y materia prima que necesitan y procesarlos inmediatamente; cuando se retira el material, los operarios de la estación precedente saben que ha llegado el momento de comenzar a producir para reemplazar la producción demandada por la estación subsiguiente. Si la producción no se retira, los empleados de la estación anterior detienen sus actividades, a los efectos de normalizar el comportamiento de la producción.

En este sentido, se produce estrictamente lo justo y necesario que utiliza cada estación de trabajo, en función de la demanda específica que posee cada estación (consumidor o cliente interno) y no de acuerdo con un programa maestro de producción.

El sistema *kanban*, es una herramienta utilizada dentro de la política de gestión de inventarios, constituye el mecanismo de formalización del método de arrastre que permite controlar mejor su funcionamiento (Yasem de Estofán, 2004); en otras palabras, es un instrumento imprescindible de un sistema de gestión cero inventarios, que permite incrementar la eficiencia económica en cada parte del proceso global de fabricación de un producto o prestación de un servicio.

8. EL METODO DE ARRASTRE ENERGETICO (*ENERGY ENTRAINMENT METHOD*)

Dentro de la filosofía JIT de la energía, el Método de Arrastre Energético (MAE) constituye una herramienta estratégica dentro de un sistema de gestión de la energía, en cualquier organización que plantee una política energética destinada a reducir sus niveles de consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de obtener beneficios energéticos, ambientales y económicos.

El método de arrastre tal como lo conocemos en la filosofía *Just-In-Time*, plantea la necesidad de ordenar y estabilizar la utilización de materias primas, insumos, mano de obra, etc., en cada estación de trabajo, con el objeto de eliminar o bien reducir al mínimo el nivel de inventarios e incrementar los niveles de eficiencia económica en el proceso de asignación de recursos.

Ahora bien, para reducir la intensidad energética, dada una escala de producción exacta o lote mínimo de producción realizado en el momento justo, es necesario disponer de los recursos tecnológicos, instrucciones e información energética necesaria en cada célula de energía, para poder ejecutar acciones concretas de ahorro energético en el momento preciso (Shi, Zeng, Engo, Han, Li y Muehleisen, 2020).

Este proceso se inicia con la información proveniente de dos fuentes diversas, la demanda real de bienes y servicios y las estimaciones de la demanda real histórica de energía de la compañía; esta metodología requiere conocer a la perfección, tanto los gustos y preferencias de los clientes, como las necesidades energéticas a través del continuum espacio-tiempo.

Así como fluye la información hacia atrás sobre la demanda de materias primas, productos ensamblados, o productos finales, hasta llegar a los proveedores de materias primas, también fluye la información energética asociada a una escala de producción o lote mínimo de producción. La información puede llegar hasta los proveedores de energía y los proveedores de servicios energéticos (Empresas de Servicios Energéticos -ESES- o ESCOs por su sigla en inglés), actores importantes de un sistema de gobernanza de la eficiencia energética, y agentes cruciales del suministro eficiente y continuo de energía, y de los servicios orientados a la generación de ahorro energético (Tan, 2020) (FIGURA 3).

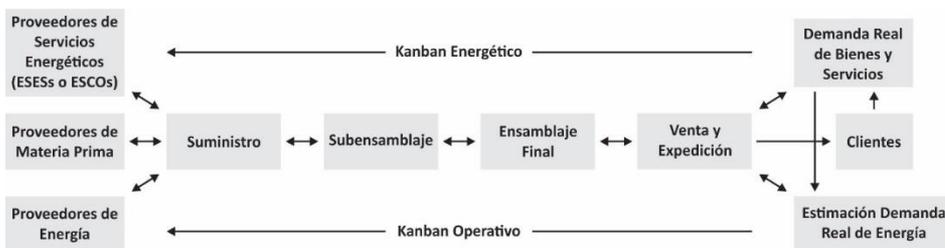


FIGURA 3. El Método de Arrastre Energético (MAE)
Fuente. Elaboración propia en base a Yasem de Estofán, 2004.

La información que cada centro energético o célula de energía debe poseer es la siguiente.

- El consumo energético asociado a la fabricación de un producto o lote mínimo de producción, con lo cual, se determina el consumo eficiente de energía de cada centro energético.

- La intensidad energética de cada célula, conforme a la energía utilizada y el valor agregado generado en cada eslabón de la cadena de valor.

- Niveles máximos y mínimos admitidos de consumo de energía en cada célula energética, es decir, se advierte sobre un margen o banda de flotación energética eficiente que garantiza la sustentabilidad de la actividad antropogénica generada por el establecimiento industrial.

- Instrucciones Energéticas o Proceso de Gestión Energética que debe seguir el personal para estimular el ahorro energético en cada célula (procesos, manipulación de máquinas, tecnologías, etc.).

- Recomendaciones Energéticas, de carácter general y específico, para incentivar el ahorro energético conforme a los objetivos planteados en un PEE.

- Niveles de emisión de gases de efecto invernadero admitido, es decir, se establece un margen o banda de flotación de emisiones eficientes de gases tóxicos, que minimizan la huella de carbono de la organización industrial.

Toda la información necesaria para mejorar la performance energética debe encontrarse permanentemente actualizada y disponible para todos los empleados de la organización, a través de una base de datos y un *software* de modelado y/o gestión energética, que permita ejecutar decisiones de carácter preventivo y/o correctivo respecto al uso racional y eficiente de la energía en todos los procesos de trabajo que se encuentren activos en la compañía.

Esta información puede estar disponible en forma de tarjetas, en forma conjunta o separada de las variables netamente operativas. En aquellas organizaciones que utilizan tecnología avanzada, los empleados pueden disponer de un chip de acceso y de la utilización de pantallas táctiles que permitan visualizar la información energética en tiempo real en cada parte del proceso, identificando aquellas prácticas que se alejan del uso racional y eficiente de la energía. Por otra parte, esta metodología de trabajo donde el JIT operativo y el JIT energético confluyen debe ser estrictamente respetada fundamentalmente en aquellas industrias intensivas en energía, o en industrias que poseen algunos procesos de producción intensivos en energía, ya que el despilfarro energético, la emisión de gases contaminantes y la capacidad ociosa del JIT energético puede ser muy elevada.

Las empresas intensivas en energía se caracterizan por consumir grandes cantidades de energía eléctrica y ser muy sensibles a la volatilidad de los precios de la electricidad, poseen una buena capacidad de producción y tienen gran flexibilidad para tomar decisiones sobre la gestión de la producción, son ideales para ser administradas a través de sistemas de gestión de la energía, en especial cuando la tasa de penetración de la energía renovable es elevada (Jin, Shi, y Park, 2018; Gómez Targarona, Piumetto y Vaschetti, 2013); sin embargo, suelen presentar algunas deficiencias y obstáculos en los mecanismos de coordinación (Chen, Sun, Guo, Jin, Wu y Zhang, 2015).

Otra de las dificultades que se presenta en la gestión energética de industrias intensivas en energía, como la industria de procesos, es la carencia de visión estratégica de sus directivos, y en algunos casos, no consideran a la energía como “núcleo” en sus modelos de negocios (Rudberg, Waldemarsson y Lidestam, 2013). A pesar de estas dificultades, según Ouyang y Fu (2020), muchos fabricantes intensivos en energía deciden adoptar medidas de EE para hacer frente al aumento de conciencia ambiental de consumidores.

La finalidad del método de arrastre energético consiste, no sólo en incrementar la eficiencia económica, sino también maximizar la eficiencia energética, es decir, nos brinda la posibilidad de optimizar la producción, incrementar la productividad y el grado de calidad de los bienes y servicios, reducir costes operativos y energéticos, ahorrar energía y desalentar las emisiones de gases de efecto invernadero (Wang, Lu, y Han, 2019); además, existe evidencia empírica que demuestra la relación entre la sostenibilidad ambiental y la mejora en la reputación corporativa en el desempeño de mercado, a través del valor patrimonial de los accionistas o la capitalización bursátil de la empresa (Lee y Kwon, 2019).

Por otra parte, esta metodología permite incorporar al recurso energético en el proceso de gestión de recursos, logrando la conciliación y unificación de la eficiencia económica y la eficiencia energética, como objetivos claves de un SGE. Para lograr la implementación y formalización del método de arrastre energético, es necesario realizar algunas modificaciones al sistema *kanban* tradicional, obteniendo un Sistema *Kanban* de la Energía o Sistema *Kanban* Energético (SiKaE).

9. CONCLUSIONES

Mientras el mundo padece las consecuencias severas del cambio climático, se vuelve imperante la búsqueda de soluciones expeditas desde diferentes aristas en las relaciones entre Estado, Mercado, Sociedad y Sector de conocimientos.

Todas las organizaciones, especialmente los sistemas industriales, tienen que asumir y cumplir un rol importante en el proceso de adaptación y mitigación del cambio climático, logrando establecer programas y medidas adecuadas con respecto a la utilización eficiente de la energía, la diversificación de la matriz productiva, la búsqueda de una matriz industrial sustentable, el establecimiento de una demanda energética sustentable, etc.

Dentro de los sectores industriales de carácter energointensivos, éstos cumplen un rol fundamental en la elaboración de programas de eficiencia energética que permitan generar grandes niveles de ahorros de energía y reducción de gases de efecto invernadero, que minimicen el impacto sobre los niveles de contaminación ambiental.

Las diversas herramientas que integran el sistema de gestión *Just-In-Time* de la energía, como el Método de Arrastre Energético, ofrecen una oportunidad trascendente para establecer mecanismos y esquemas interesantes de ahorro energético, que permitan instaurar el proceso de mejora

energética continua en los establecimientos industriales, desarrollando permanentemente una cultura del ahorro de energía de carácter corporativo, que colabore con la descarbonización de los sectores industriales y la economía en general.

El desarrollo de un sistema *kanban* energético, que integre el método de arrastre energético, constituye una opción importante para desarrollar en futuros trabajos de investigación.

La implementación y certificación de un sistema de gestión de la energía, permitirá que la excelencia en la gestión operativa conduzca a la búsqueda de la excelencia en la gestión energética, en un contexto caracterizado por el uso racional y eficiente de la energía, el respeto por el medio ambiente y la preservación de los recursos naturales a largo plazo.

La búsqueda de la excelencia en la gestión individual, tan anhelada por los seguidores del *Just-In-Time*, no sólo generará beneficios individuales en cuanto a eficiencia económica, reducción de costes operativos, ampliación de la cuota de mercado y la mejora en los niveles de competitividad; sino que, a través de un marco institucional sólido y propicio, la gestación y el desarrollo de acciones colectivas eficientes, resultará fundamental para trabajar en forma sincronizada aprovechando sinergias y elevando la capacidad de ahorro energético de la comunidad industrial global.

10. REFERENCIAS

- Abdulaziz, E. A., Saidur, R. y Mekhilef, S. (2011). A Review on Energy Saving Strategies in Industrial Sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 150 - 168.
- Abels, B., Sever, F., Kissock, K. y Ayele, W. (2011). Understanding Industrial Energy Use Through Lean Energy Analysis. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4 (1), 495 - 504.
- Aghelinejad, M. M., Ouazene, Y. y Yalaoui, A. (2018). Production Scheduling Optimization with Machine State and Time-Dependent Energy Cost. *International Journal of Production Research*, 56 (16), 5558 - 5575.
- Aman, S., Simmhan, Y. y Prasanna, V. K. (2013). Energy Management Systems. State of The Art and Emerging Trends. *IEEE Communications Magazine*, 51 (1), 114 - 119.
- Bai, Ch., Kusi-Sarpong, S., Ahmadi, H. B. y Sarkis, J. (2019). Social Sustainable Supplier Evaluation and Selection. A Group Decision-Support Approach. *International Journal of Production Research*, 57 (22), 7046-7067.
- Bañeigil, T. M. (1993). *El Sistema Just-In-Time y la flexibilidad de la producción*. Editorial Pirámide.
- Béranger, J. P. (1988). *En busca de la excelencia industrial. Just-In-Time y las nuevas reglas de la producción*. Editorial Ciencias de la Dirección.
- Böttcher, C. y Müller, M. (2016). 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*, 137, 1449 - 1457.
- Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M. y 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.
- Bushuev, M. A., Brown, J. R. y Rudchenko, T. (2018). Improving delivery for asymmetric Laplace distributed delivery time in a two-stage supply chain. *International Journal of Production Research*, 56 (15), 5172 - 5187.
- Camarda, M. F. (2019). La institucionalidad de la eficiencia energética en la República Argentina. Un análisis de las principales políticas en el período 1980 - 2017. *Revista Administración Pública y Sociedad*, 7, 22 - 43.
- Camarda, M. F. (2017). Eficiencia energética y competitividad industrial. Análisis del sistema de incentivos en torno al Programa Provincial Energía Eficiente (ProPEE). *Revista Administración Pública y Sociedad*, 3, 62 - 81.
- Carretero Peña, A. y García Sánchez, J. M. (2012). *Gestión de la eficiencia energética. Cálculo del consumo, indicadores y mejora*. Asociación española de normalización y certificación.
- Chen, R., Sun, H., Guo, Q., Jin, H., Wu, W. y Zhang, B. (2015). Profit-seeking energy-intensive enterprises participating in power system scheduling. Model and mechanism. *Applied Energy*, 158, 263 - 274.
- Chen, Y-H; Nie, P-Y; Wang, Ch. y Meng, Y. (2019). Effects of corporate social responsibility considering emissions restrictions. *Energy Strategy Reviews*, 24, 121 - 131.
- Chiu, T.Y., Lo, S.L. y 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.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2015). La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y Desafíos del Desarrollo Sostenible. CEPAL, Santiago De Chile, febrero 2015, 1 - 95.
- Gómez G., Sella Piedrabuena L. y Mathé L. (2013). Eficiencia Energética. En matriz de recursos energéticos de la provincia de Córdoba. Editorial Copiar, 95 - 129.
- Gómez Targarona, J. C., Piumetto, M. y Vaschetti, J. (2013). Impacto de la red inteligente y la generación distribuida en los sistemas eléctricos de distribución. En matriz de recursos energéticos de la provincia de Córdoba. Editorial Copiar, 55 - 73
- Groenevelt, H. (1993). The Just-In-Time system. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 4, 629 - 670.
- Grubb, M. (1997). Technologies, energy systems and the timing of CO₂ emissions abatement. An overview of economic issues. *Energy Policy*, 25 (2), 159 - 172.

- Hay, E. J. (2003). *Justo a Tiempo. La técnica japonesa que genera mayor ventaja competitiva*. Grupo Editorial Norma, 2003.
- Hayes, R. H. (1981). Why Japanese Factories Work. *Harvard Business Review*, 59 (4).
- Irós, G. M., Moiso, E. A., Bravo, A. O. y Alonso, C. S. (2013). Urbanización, movilidad y demanda energética. En matriz de recursos energéticos de la provincia de Córdoba. Editorial Copiar, 75 - 94.
- Jin, T., Shi, T. y Park, T. (2018). The quest for carbon-neutral industrial operations. Renewable power purchase versus distributed generation. *International Journal of Production Research*, 56 (17), 5723 - 5735.
- Jubiz-Díaz, M., Santander-Mercado, A. y Candelo-Becerra, J. E. (2019). A multi-item multi-packaging model to minimize cost of lost units, unpacking cost, and CO₂ emissions. *International Journal of Production Research*, 57 (20), 6246 - 6263.
- Kalaitzi, D., Matopoulos, A., Bourlakis, M. y Tate, W. (2019). Supply chains under resource pressure. Strategies for improving resource efficiency and competitive advantage. *International Journal of Operations and Production Management*, 39 (12), 1323 - 1354.
- Khalaf, M., Labib, A. A. y Elsayed, A. E. (2012). 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.
- Lapillone, B. (2016). Monitoreando la eficiencia energética en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, septiembre 2016, 1 - 79.
- Lee, J. y Kwon, H-B. (2019). The synergistic effect of environmental sustainability and corporate reputation on market value added (MVA) in manufacturing firms. *International Journal of Production Research*, 57 (22), 7123 - 7141.
- Li, F. G. N. (2017). Actors behaving badly. Exploring the modelling of non-optimal behavior in energy transitions. *Energy Strategy Review*, 15, 57 - 71.
- Ohno, T. (1993). *El sistema de producción Toyota*. Ediciones Gestión 2000.
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) (2013). Simulación de medidas de eficiencia energética en los sectores industrial y transporte de América Latina y el Caribe al año 2030. OLADE, Quito, Ecuador, Mayo 2013, 1 - 43.
- Ouyang, J. y Fu, J. (2020). Optimal strategies of improving energy efficiency for an energy-intensive manufacturer considering consumer environmental awareness. *International Journal of Production Research*, 58 (4), 1017-1033.
- Rojas-Rodríguez, D. B. y Prías-Caicedo, O. (2014). Herramientas *lean* para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001. *Revista Energética*, (44), 49 - 60.

- Rudberg, M., Waldemarsson, M. y Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management. A case study in the process industry. *Applied Energy*, 104, 487 - 496.
- Shi, Y., Zeng, Y., Engo, J., Han, B., Li, Y. y Muehleisen, R. T. (2020). Leveraging inter-firm influence in the diffusion of energy efficiency technologies. An agent- based model. *Applied Energy*, 263.
- Schonberger, R. J. (1992). *Técnicas japonesas de fabricación*. Editorial Limusa.
- Schonberger, R. J. y Gilbert, J. P. (1983). Just-In-Time purchasing. A challenge for U. S. industry. *California Management Review*, 26 (1), 54 - 68.
- Swords, B., Coyle, E. y Norton, B. (2008). An enterprise energy-information system. *Applied Energy*, 85 (1), 61 - 69.
- Tan, B. (2020). Design of balanced energy savings performance contracts. *International Journal of Production Research*, 58 (5), 1401 - 1424.
- Wang, L., Lu, Z. y Han, X. (2019). Joint optimization of production, maintenance, and quality for batch production system subject to varying operational conditions. *International Journal of Production Research*, 57 (24), 7552 - 7566.
- Wessels, A. (2011). Energy management system implementation at Toyota S.A. Proceedings of the 8th conference on the industrial and commercial use of energy, Cape Town, 2011, 40 - 45.
- Yasem de Estofán, I. N. (2004). Sistema Justo a Tiempo. En M. O. Adler, *Producción y Operaciones*. Ediciones Machi.
- Zuo, H. y Ai, D. (2011). Environment, Energy and Sustainable Economic Growth. *Procedia Engineering*, 21, 513 - 519.