

---

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN ESPECÍFICO PARA OPERACIONES EN MERCADOS EMERGENTES

---

Guillermo Rafael Gudiño González y Miguel Gastón Cedillo-Campos

### RESUMEN

Se presenta el diseño de un sistema de producción basado en el enfoque de mejora continua, que responde a las particulares condiciones de operación de los mercados emergentes. El trabajo se enfoca en la identificación de los factores clave de éxito que permiten la adaptación de los modelos canónicos de producción japoneses a las operaciones de una empresa de la industria de la transformación operando en México. Gracias a la información proporcionada por la empresa de aplicación, se pudo comprobar la factibilidad de aplicación del modelo propuesto en otros mercados que presentan condiciones de operación similares. La evidencia muestra importantes mejoras en seguridad, calidad y productividad de las operaciones, así

como en el ambiente de trabajo percibido por los trabajadores. Desde un enfoque de investigación abductiva, fue asegurada la correcta adecuación de las herramientas japonesas de producción a las particulares condiciones de operación de los mercados emergentes. Los resultados presentados son el primer paso en el proceso de implementación del enfoque propuesto a otras cadenas de valor en las economías emergentes. Otros sitios de producción pertenecientes a la empresa de aplicación, alrededor del mundo, están poniendo en práctica los resultados. Se discute una futura línea de investigación en la que se buscará nuevas versiones del modelo adaptadas a las condiciones de operación de otros mercados emergentes.

### Introducción

En la actual economía global, el enfoque de manufactura delgada (*lean manufacturing*) se ha convertido en una referencia para el desarrollo de sistemas de producción eficientes (Cedillo y Sánchez, 2008; Socconini, 2008). Este paradigma considera que con la consi-

tante identificación de fuentes de desperdicio y variabilidad, una empresa puede reducir considerablemente sus costos de producción y tiempos de ciclo a través de toda la cadena de valor.

El creciente número de empresas que desarrollan operaciones dentro de un mismo sector ha traído más ventajas

para el consumidor, impulsando significativamente la competitividad industrial. Como respuesta, las empresas más innovadoras están re-organizando sus operaciones apoyándose en el enfoque de cadena de suministro para ofrecer más valor a sus clientes (Shah y Ward, 2003; Cedillo *et al.*, 2006). Actualmente, variantes

como los conceptos de 'cadena de suministro delgada' (*lean supply chain*) o 'cadena de suministro ágil' (*agil supply chain*) son ya un importante apoyo de los sistemas de manufactura (Holweg, 2007; Cedillo y Pérez, 2010). El objetivo final de estos conceptos es ofrecer productos o servicios que satisfagan plenamente al

---

### PALABRAS CLAVE / Cadena de Valor / Enfoque de Sistemas / Mejora Continua / Mercados Emergentes / Sistema de Producción /

Recibido: 27/10/2009. Modificado: 15/04/2011. Aceptado: 20/04/2011.

**Guillermo Rafael Gudiño González.** Master en Ingeniería Industrial y de Manufactura, Programa Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT), México. Gerente de Mejora Continua, Caterpi-

llar Ramos Arizpe, Coahuila, México.

**Miguel Gastón Cedillo-Campos.** Master en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Master en Logística, Université de la Médite-

rrané Aix-Marseille II (CRET-LOG), Francia. Doctor en Sistemas Logísticos, Université de Paris, Francia. Profesor-Investigador, Corporación Mexicana de Investigación de Materiales (COMIMSA-CONACYT), Méx-

cio. Dirección: Departamento de Ingeniería Industrial y de Manufactura, COMIMSA. Calle Ciencia y Tecnología No. 790, Col. Saltillo 400, C.P. 25290, Saltillo, Coahuila, México. e-mail: gaston.cedillo@comimsa.com

## DESIGN OF A SPECIFIC PRODUCTION SYSTEM FOR OPERATIONS IN EMERGING MARKETS

Guillermo Rafael Gudiño González and Miguel Gastón Cedillo-Campos

### SUMMARY

*A production system based on a continuous improvement approach and customized for the particular operation conditions prevalent in emergent markets is presented. The work focuses on the identification of key factors for success that permit the adaptation of Japanese canonical production models to the operation of an iron and steel industry in Mexico. Thanks to the information provided by the enterprise it was possible to prove the application feasibility of the model in other markets with similar operation conditions. The evidence shows relevant improvements in safety, quality and productivity, as well as in the*

*working environment, as perceived by the employees. Abductive reasoning permitted an adequate adaptation of the Japanese production tools to the specific conditions in an emerging market context. The results represent the first step in the process of implementation of the proposed approach to other value chains in emerging economies, and other production sites of the same enterprise around the world are currently applying them. Research aimed at developing new versions of the model, adapted to operation conditions in emerging markets is discussed.*

## DESENHO DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO ESPECÍFICO PARA OPERAÇÕES NOS MERCADOS EMERGENTES

Guillermo Rafael Gudiño González e Miguel Gastón Cedillo-Campos

### RESUMO

*Apresenta-se o desenho de um sistema de produção baseado no foco de melhora contínua, que responde às particulares condições de operação dos mercados emergentes. O trabalho se foca na identificação dos fatores chave de êxito que permitem a adaptação dos modelos canônicos de produção japoneses as operações de uma empresa da indústria da transformação operando no México. Graças à informação proporcionada pela empresa de aplicação, se pode comprovar a factibilidade de aplicação do modelo proposto em outros mercados que apresentam condições de operação similares. A evidência mostra importantes melhoras em segurança, qualidade e produtividade das operações, assim como no ambien-*

*te de trabalho percebido pelos trabalhadores. Desde um foco de investigação abductiva, foi assegurada a correta adequação das ferramentas japonesas de produção a particulares condições de operação dos mercados emergentes. Os resultados apresentados são o primeiro passo no processo de implementação do foco proposto a outras cadeias de valor nas economias emergentes. Outros lugares de produção pertencentes à empresa de aplicação, ao redor do mundo, estão pondo em prática os resultados. Discute-se uma futura linha de investigação na que se buscará novas versões do modelo adaptadas às condições de operação de outros mercados emergentes.*

cliente o vayan más allá de sus expectativas. En realidad, este objetivo es el que permitió al Sistema de Producción Toyota (*Toyota Production System*; TPS) convertirse en una referencia mundial. Sin embargo, aunque hay gran cantidad de documentos y casos de estudio sobre Toyota y su sistema de fabricación, en realidad pocos de ellos describen los detalles específicos clave sobre cómo llegar a una implementación exitosa de los principios que le permitieron a la compañía ser tan exitosa.

En la mayoría de las veces, cuando las empresas de manufactura operan bajo el contexto de los mercados emergentes y tratan de introducir el TPS, terminan finalmente implementando una parte muy limitada y aproximada de lo que potencialmente se puede realizar. En otros casos, cuando logran im-

plementaciones exitosas, posteriormente pierden las ganancias logradas, tratando de asegurar las acciones que llevaron a la mejora inicial.

Tomando como caso de estudio una empresa instalada en México y comparando los resultados obtenidos con datos operativos de otras plantas que operan en mercados emergentes, este documento presenta los resultados obtenidos durante el desarrollo de un sistema de producción para empresas con operaciones en mercados emergentes. El principal objetivo fue diseñar un sistema productivo que facilitara a las empresas manufactureras instaladas en mercados emergentes, mejorar sus índices de competitividad a través de un modelo de manufactura específico a sus condiciones de operación.

El estudio se centró tanto en bases teóricas resultado de una

amplia revisión bibliográfica, así como del análisis de casos de éxito y el contexto de operación de la empresa donde se llevó a cabo la implementación. Esto permitió la creación de una base de referencia sobre las características necesarias para llegar a una correcta aplicación del TPS a un contexto de operaciones industriales específico a los mercados emergentes.

El proceso seguido para la aplicación se presenta dividido en cuatro secciones. En la primera se analizan algunos casos de éxito, teniendo en cuenta las importantes contribuciones iniciales de Womack *et al.* (1990). En la segunda sección se presenta el método utilizado, el cual se desarrolló desde un enfoque de razonamiento abductivo (Spens, 2005; ver Figura 2) (Kovács y Spens, 2005). En la tercera se ofrece un informe detallado del trabajo de campo

y de los resultados obtenidos, centrándose en los mecanismos de control que la empresa implementó para garantizar la sostenibilidad de los indicadores en el tiempo. De este modo, se expone el desarrollo del modelo así como el seguimiento de los procesos que han evitado desviaciones en los resultados, y que permiten tomar las medidas correctivas a través de un sistema de alertas tempranas. En la cuarta sección se presentan los análisis de los resultados obtenidos, así como sus implicaciones para la empresa. Finalmente, se exponen las implicaciones futuras de la presente investigación.

### Antecedentes

El sistema de producción en masa que implementó con éxito Henry Ford, fue el estándar de la manufactura durante casi todo el siglo 20. Sin embargo,

las nuevas condiciones competitivas, los exigentes plazos de entrega, los productos cada vez más innovadores y de mejor calidad, han dejado a este modelo de producción prácticamente obsoleto. No obstante, algunos de sus aspectos siguen siendo muy aplicables, tales como la normalización de las operaciones y la asignación de materiales y herramientas que permitan mantener el flujo continuo de la producción (Holweg, 2007), lo cual es posible eliminando de manera permanente todo tipo de residuos a lo largo de toda la organización (Ohno, 1978). Este principio, soporte de base de lo que es mundialmente conocido como *lean manufacturing*, refleja la posibilidad de fabricar más productos con menos recursos (materiales y financieros). La ventaja competitiva que es posible alcanzar a través de la aplicación de los principios '*lean*' de fabricación ha sido mostrada por diversos autores. Así por ejemplo, Liker (1997) describió algunos indicadores clave en donde compara el desempeño de una empresa media o típica con el desempeño de una empresa de manufactura de clase mundial que aplica técnicas *lean* de fabricación (Tabla I).

El TPS ha enfrentado con éxito tanto los desafíos del contexto local donde surgió como los del entorno internacional, gracias a sus principios basados en la ética y compromiso de sus trabajadores, así como por el uso de innovadoras técnicas estándar en producción y diseño (Liker y Meier, 2005). El TPS es ahora utilizado como una referencia, aunque otros enfoques alternativos también han existido.

Uno de ellos es el modelo de manufactura que Volvo implementó en Suecia. En la década de 1990, Volvo desarrolló un sistema de fabricación abiertamente humanista, cercano a la

TABLA I  
DESEMPEÑO DE CLASE MUNDIAL EN LA MANUFACTURA

Desempeño en manufactura	Empresa de clase mundial	Empresa promedio
A tiempo/Completo	99%	80-90%
OEE (proceso continuo)	90-95%	70-80%
OEE (proceso discreto)	80-85%	50-70%
Calidad - Cpk	>2	>1,33
Tasa de defectos	50-100ppm	500-5000ppm
Desperdicio/desecho (% de costos de manufactura)	0,1-0,2%	1-3%
Devoluciones del cliente	<0,01%	<0,1%
Equipamiento crítico/procesos "capaces"	95%	30-70%
Desglose por pérdidas de producción	<1-2%	5-10%
Mantenimiento planeado	>90%	50-70%
Mantenimiento reactivo	<10%	45-55%
Re-trabajos en mantenimiento	<1%	>10%
Horas extras	<5%	10-20%
Tasa de desabastecimiento de piezas	<1%	4-6%
Rotación del inventarios de partes	>2	1

Tomado de Pérez (2005).

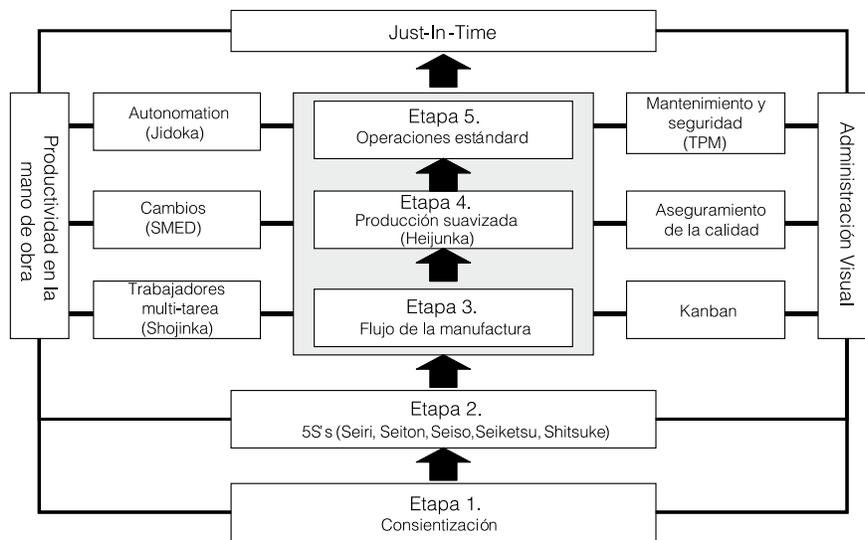


Figura 1. Pasos para establecer un sistema de producción con enfoque JIT (Hirano, 1995).

estructura democrática del país. Desafortunadamente, este modelo no resultó tan económicamente rentable en el largo plazo como lo es el TPS, pero mostró claramente que una de las claves del éxito para cualquier modelo de manufactura consiste en considerar el contexto local de la aplicación. En ese caso, los principales factores del contexto local fueron i) participación activa de los empleados en el proceso de mejora, ii) control efectivo de las operaciones ejecutadas, y iii) reducción responsable de los niveles de decisión. Por otro lado, Daimler-Chrysler desarrolló otra iniciativa que fue el resultado de la integración de las visiones de negocio de

Chrysler y Daimler-Benz. Así, fue desarrollado un sistema de producción y gestión híbrido basado en una dirección fuertemente regulada y normativa. Este modelo se basó sustancialmente en la normalización y en los procesos de formación en cascada, lo que permitió mantener una integrada posición competitiva en el mercado mientras la alianza se mantuvo (Clarke, 2005).

En este sentido, la implementación del TPS debe ser diferente en diferentes organizaciones. De hecho, Hirano (1995) sugiere un marco de cinco pasos principales para eliminar las diferentes categorías de residuos y alcanzar el justo a tiempo (JIT; Figura 1).

En donde el JIT debe ser apoyado por diferentes metodologías y técnicas que conducen a la eliminación de los residuos, tales como Kanban, Mantenimiento Productivo Total (TPM), y la reducción de Set-Up (SMED).

El presente estudio se centró principalmente en los aspectos técnicos utilizados por el TPS; sin embargo, durante la implementación se utilizó un enfoque basado en el respeto al ser humano, así como un enfoque administrativo que consideraron tanto el modelo Volvo Uddevalla como el de Daimler-Chrysler. Al

mismo tiempo, con el fin de tener una implementación exitosa de estrategias se tuvo en cuenta los cuatro aspectos definidos por Neilson *et al.* (2008): i) transmisión de la información a través de la organización, ii) proceso fluido de toma de decisiones, iii) diseño inter funcional de incentivos, y iv) estructura coherente de la organización. Además, el trabajo consideró factores clave de éxito del TPS detectados por Spear y Bowen (1999), por Fujimoto y Takeishi (2001) y por Hino

(2006): a) especificación detallada de las operaciones en cuanto a su contenido, secuencia, tiempo de ejecución y resultados, b) medios para facilitar la conexión directa entre clientes y proveedores internos y externos, c) establecimiento de estándares de fabricación de cada producto, d) aplicación del método científico para todo proceso de mejora.

## Métodos

Debido a que tanto el enfoque práctico como el científico son importantes para el éxito en el desarrollo de un sistema de producción, se consideró que el uso de un método abductivo era perti-

nente (Figura 2). Este proceso facilita vincular las experiencias prácticas del lugar de producción con el análisis científico, lo cual ayudó a desarrollar un modelo de producción en el contexto de mercados emergentes (Kovács y Spens, 2005; Cedillo y Pérez, 2010; Sánchez *et al.*, 2011). En consecuencia, el desarrollo se apoyó en la interacción entre los preceptos prácticos de operación y los principios científicos que sustentan las mejores prácticas de manufactura. El ciclo se completó al diseñar soluciones de mejora de fácil comprensión para los supervisores, quienes tienen la responsabilidad tanto de la aplicación, como del mantenimiento del sistema de producción.

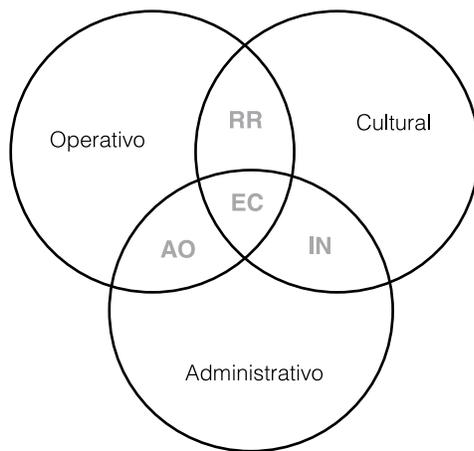
Como resultado, se definieron los pasos seguidos a través de los procesos de investigación y desarrollo, así como la implementación de las soluciones (Figura 3). En primer lugar se realizó un diagnóstico que reveló la condición de la empresa en su totalidad. Una 'evaluación lean' basada en la identificación de los desperdicios que obstaculizan el flujo de valor y las condiciones operacionales que reducen la eficacia de los procesos.

En segundo lugar se estableció que el proceso formal de aplicación se desarrollaría tomando como base los lineamientos generales establecidos por el CPS (*Caterpillar Production System*) que a su vez es la adaptación del TPS a las condiciones operativas de las empresas filiales de Caterpillar Inc. Los lineamientos generales del CPS se utilizaron como base en la planta de Caterpillar en Ramos Arizpe, Coahuila, México, donde laboran 250 personas y se producen piezas de acero fundido, con una capacidad de 12000 toneladas de productos acabados por año.

A pesar de que el CPS fue tomado como base, el enfoque de análisis

abductivo?? desempeñó un papel importante para diseñar la nueva implementación. Se realizó una evaluación de cada una de las herramientas sugeridas por el CPS y su real efectividad dentro de un contexto de mercados emergentes. En consecuencia, se debió establecer adecuadamente el objetivo y adecuaciones para cada una de las herramientas y, al mismo tiempo, identificar el momento en que debían ser implementadas.

En tercer lugar, el proceso de implementación se basó en los resultados del diagnóstico y en el orden de ejecución



- EC Estrategias de comunicación
- RR Claridad en los roles y las responsabilidades
- IN Incentivos
- AO Ajuste de la estructura organizacional

Figure 4. Sistema de implementación.

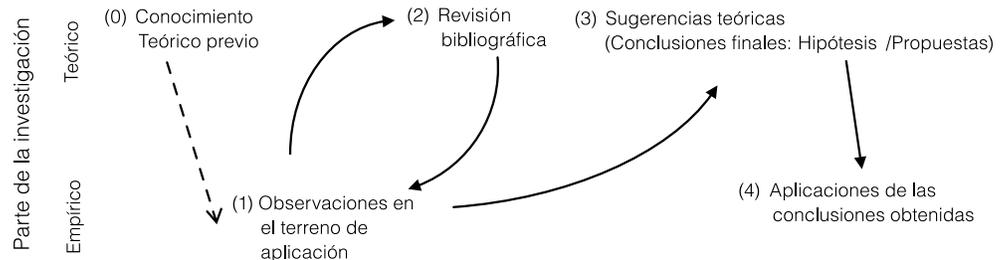


Figura 2. Proceso de razonamiento de investigación abductivo (Kovács y Spens., 2005).

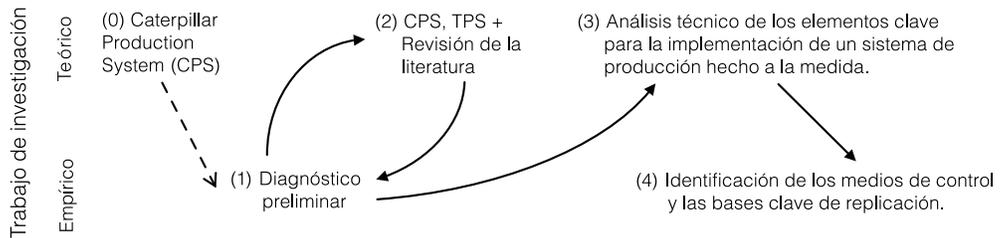


Figura 3. Descripción del método empleado.

propuesto por el CPS. Este proceso, a su vez, se sustentó en tres pasos básicos: 1) análisis de problemas y áreas de oportunidad, 2) mejoramiento de las condiciones no deseadas; y 3) evaluación del beneficio obtenido (CPS, 2005).

En cuarto lugar, para coordinar la identificación de medios de control y las bases clave para la replicación se determinaron tres subsistemas de la actividad: a) operativo; b) cultural; c) administrativo. Los subsistemas que constituyen los principales aspectos involucrados en la manufactura, donde cada uno está estructurado alrededor de herramientas específicas, métodos y mejores prácticas de rutinas utilizadas durante la ejecución (Figura 4).

#### Subsistemas del Sistema de Producción

Con el fin de lograr una implementación exitosa de las herramientas de mejora continua se estableció un conjunto de herramientas de sencilla comprensión e implementación (para una descripción más detallada de algunas de las herramientas, ver Clarke, 2005, pág. 162), así como técnicas de simulación en dinámica de sis-

temas y algoritmos genéticos para la reducción de inventarios (Demeter y Matyusz, 2010; Eroglu y Hofer, 2010). De este modo, el sistema de producción se compuso de tres subsistemas: operativo, cultural y administrativo.

#### Subsistema operativo

El subsistema de operación se desarrolló buscando esencialmente vincular procesos y productos. Durante esta etapa se implementó la primera serie de herramientas 'lean' sugeridas por el TPS para mejorar el flujo de valor a través del mapeo del mismo (*value stream mapping*; VSM). Esta herramienta es una representación de todos los factores que intervienen en un proceso de transformación de la materia prima y de entrega de los productos terminados en una secuencia determinada. Así, el VSM permitió identificar cuáles eran los factores que impedían la producción continua. Como resultado de ello se utilizó el 'takt time', el cual se calcula de acuerdo con la ecuación

$$T = \frac{T_p}{T_d} \quad (1)$$

donde T: takt time (minutos de trabajo / unidad producida),  $T_p$ : tiempo de producción disponible (minutos de producción / día), y  $T_d$ : can-

tividad total requerida o demanda del cliente (unidades requeridas / día).

De hecho, el *takt time* es un indicador fundamental que considera los requerimientos de los clientes en volumen y tiempo. Se puede considerar como un simple 'marcapasos' que determina el ritmo al que se debe sincronizar el ciclo de producción. Se puede decir que el *takt time* hace posible aquello que el 'justo a tiempo' ofrece, una de las prácticas más importantes del TPS.

Se prepararon las condiciones que fomentaran la mejora en las operaciones de la aplicación de las 5S's propuesto por el TPS. La siguiente etapa consistió en establecer una serie de 12 objetivos de mejora basados en acometer los procesos que no respondían a los requerimientos de los clientes. Con el medio ambiente de trabajo adecuado se pudo dar inicio al 'paquete de mejora'. El marco fueron 28 talleres Kaizen. Estos talleres son una de las herramientas de mejora continua más utilizadas por Toyota y otras empresas líderes en manufactura. Como resultado, no sólo se corrigieron los problemas y mejoró el rendimiento de las operaciones, sino que también el personal se involucró activamente en los procesos de mejora orientados a la satisfacción del cliente. Grupos de 8-10 trabajadores de la planta integraron cada equipo Kaizen. A estos grupos se les proporcionó formación específica sobre flujo de valor y mejora continua, así como sobre los métodos de reducción del tiempo, tales como el SMED (*single-minute exchange of die*), enfoques 'push-pull' y sistemas 'kanban'.

Una experiencia importante en este punto fue que es altamente conveniente formar un grupo líder de profesionales con habilidades analíticas y alto nivel de conocimientos sobre las operaciones de la planta para certificarlos como 'black belt', de acuerdo a la metodología 6 Sigma. En el

presente caso, estas personas ya tenían fuertes bases de conocimiento en matemáticas y de especialización en análisis de los problemas desde un enfoque estadístico, como por ejemplo, análisis de varianza (ANOVA), análisis de regresión, diseño experimental, procesos AMFE (análisis de modo y efecto de falla). Esto permitió a ese grupo proponer soluciones sólidas a través de proyectos 6 Sigma, en acuerdo con las iniciativas Kaizen que se generaron en el 'paquete de mejora' (Farrisa *et al.*, 2009).

Esta aplicación al contexto mexicano trató de cubrir tanto los elementos clave en cuanto al proceso de gestión del cambio planteado en el modelo desarrollado por Volvo en su planta de Uddevalla, así como por Toyota. En este proceso todo el personal fue tomado en cuenta, pero inicialmente los esfuerzos se enfocaron en el personal de nivel intermedio y gerencial. Estos niveles operativos, en el marco del sistema de la producción en masa, son los que no son incentivados al cambio. En muchos de los casos de empresa revisados, en los cuales mantienen modelos de producción en masa, estos dos niveles pueden alcanzar indicadores de 'alto desempeño' sin tener motivación real para la innovación en los procesos (Clarke, 2005).

De este modo, procesos como la adecuación del *layout* de la planta y de mejora en el flujo continuo de valor resultaron bien fundamentados y, en consecuencia, tuvieron una efectiva implementación. Sin embargo, de acuerdo con los modelos analizados con la revisión de la literatura científica y la experiencia práctica, así como el análisis de otros casos exitosos analizados (plantas de Delphi en Reynosa y en Ramos Arizpe, así como en Kentucky, EEUU) es también importante tener una previsión exacta de los aspectos culturales antes de proceder a cualquier implementación.

### Subsistema cultural

El subsistema cultural establecido de manera efectiva las funciones y responsabilidades para el personal de nivel intermedio. La meta fue facilitar la mejora del desempeño del personal en el nivel operativo. De este modo, el personal de mandos intermedios fue capaz de alcanzar los objetivos establecidos sin ejercer presión sobre la base operativa. Para ello se aseguró que en todos los niveles las habilidades individuales y condiciones de trabajo estuvieran al nivel de los requerimientos.

Otro factor fundamental fue el funcionamiento bajo el enfoque de equipos de trabajo altamente exitosos (HSWT). Este es uno de los puntos que se detectó como clave para que empresas tales como Toyota logren diferenciarse respecto de otras compañías que se centran más en los resultados individuales y no cuentan con las herramientas ni con la motivación suficiente para conseguir mejoras sustanciales en sus equipos de trabajo.

La aplicación del concepto HSWT fue apoyado por un 'design textbook' desarrollado bajo el enfoque propuesto por el *Team Path Model*® (Rubin y Montaña, 2005). Este documento definió los alcances y límites de las responsabilidades de los 17 equipos de trabajo existentes en la planta. Estos equipos se establecieron desde un enfoque de sistemas en donde cada participante debió cumplir con cinco elementos: i) seguridad, ii) calidad, iii) mejora continua, iv) mantenimiento productivo total, y v) productividad *lean*.

El proceso HSWT comenzó con la asignación de roles, responsabilidades e incentivos con el fin de acercar la toma de decisiones al proceso operativo de manufactura. Este proceso requirió apoyar a los equipos para llegar a un nivel de madurez que les permitiera autogestionarse. Es importante resaltar que el subsistema cultural tiene una implicación directa con los procesos de formación que permiten la

'construcción de talento' en el personal, un proceso fundamental para cualquier sistema de producción. De hecho, se desarrolló una certificación de competencias que permitiera confirmar la capacidad del personal para cumplir su actividad.

Debido a que dentro del CPS se establece solamente el conocimiento requerido y los procesos que debe seguir todo el personal, fue necesario el desarrollo de documentos estándar de trabajo. Estos documentos constituyeron la base del plan de formación del personal y se desarrollaron gracias a reuniones 'frente a frente' entre los supervisores y cada uno de los miembros de su personal. Esas reuniones se desarrollaron desde el enfoque denominado 'training within industry' (TWI; Graup *et al.*, 2006).

La comunicación es importante para garantizar que todos los miembros que participan en este proyecto han recibido la información correcta. Todo el personal, en todos los niveles, debe recibir información y seguir los objetivos descritos como fundamentales para la política de calidad, misión, visión y valores. En consecuencia, fue creado un 'plan de comunicación' involucrando el uso de pizarras, revistas, carteles e información difundida el día de pago, especificando los niveles de personal a los que cada información estaba dirigida.

### Subsistema administrativo

El subsistema administrativo tuvo a su cargo el aseguramiento de las mejoras logradas en el sistema de producción. Con el fin de lograr el objetivo se instalaron 42 tableros de anuncios y 7 pizarras de anuncios que eran actualizados cada hora, y fueron utilizados 11 periódicos abiertos a comentarios, consultas y a reclamaciones. Del mismo modo, se ubicaron gráficos en los que se describía la manera en la que cada indicador era cumplido y su relación con los objeti-

vos. De hecho, gracias a la información difundida, se iniciaron diálogos formales e informales entre los diferentes jerárquicos de la planta, incrementando el proceso de innovación y mejora de los procesos. En consecuencia, posteriormente fue posible utilizar herramientas administrativas como las '5 por qué y cómo'. Esta herramienta consiste en solicitar constantemente, una y otra vez, el por qué se produce un problema hasta llegar a la razón principal. El 'cómo' termina el ejercicio al dar alternativas de solución.

Un aspecto a resaltar es que los principales factores de éxito tuvieron que ser determinados en el marco del subsistema de administración. Estos factores están estrechamente ligados a los principios financieros y operativos que regulan la empresa. Por lo general, incluyen resultados en satisfacción del personal, seguridad en las actividades, calidad en los procesos y productos, así como productividad de las operaciones (Figura 5).

Al integrar los 3 subsistemas descritos fue posible llegar a un resultado exitoso en el desarrollo e implementación de un sistema de producción específico a las necesidades del caso de estudio y desde un enfoque de producción adelgazada (*lean manufacturing*).

### Análisis de resultados e implicaciones

Un sistema de producción exitoso no puede consolidarse de inmediato. A empresas como Toyota les ha tomado 30-40 años para desarrollar los elementos que ahora vemos trabajando coordinadamente de forma natural. Debido a que la implementación es realmente un cambio en la cultura, se debe aceptar el

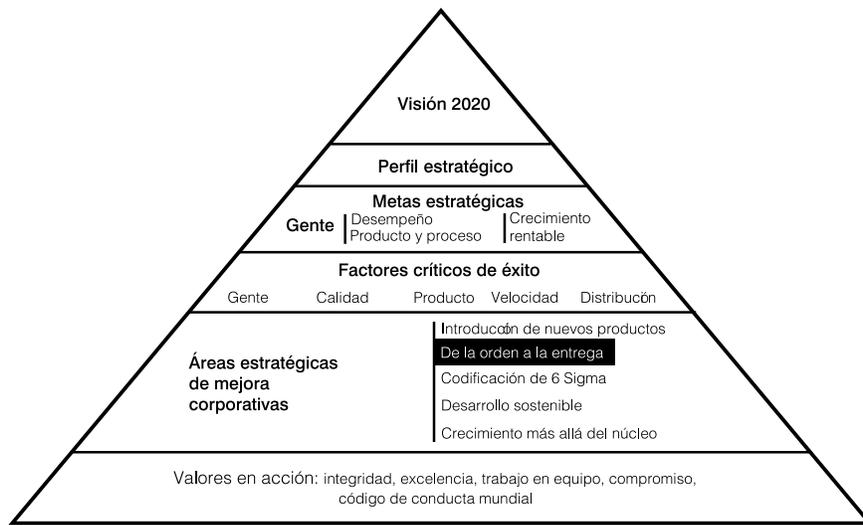


Figura 5. Sistema de indicadores.

TABLA II  
DESEMPEÑO 2005 - 2009

Indicador	2005	2007	2009
Demoras	93%	0%	0%
Inventario	20777 piezas	1200 piezas	840 piezas
Ventas perdidas	26,73%	0,09%	0,00%
Seguridad (RIF)	3,09 (6 accidentes)	1,83 (2 accidentes)	0,00
Rechazos internos	10,30%	7,03%	3,50%
Re-trabajos	USD 24896/mes	USD 1700/mes	USD 1100/mes
Tiempo de ciclo	19 días	3 días	2,4 días

hecho de que no es fácil de alcanzar. Como Hino (2006) indica: "es generalmente aceptado que el ser humano no es proclive a un cambio si no se encuentra en una situación comprometida".

La Tabla II presenta la situación de la empresa desde el año 2005, año en que estuvo al punto del cierre defi-

nitivo, hasta los resultados alcanzados en 2009. De este modo, los procesos de diseño aquí expuestos se muestran efectivos, ya que permitió mantener un buen desempeño y mejora constante. En consecuencia, el entorno financiero de la empresa, negativo los primeros seis años de operación, se tornó positivo

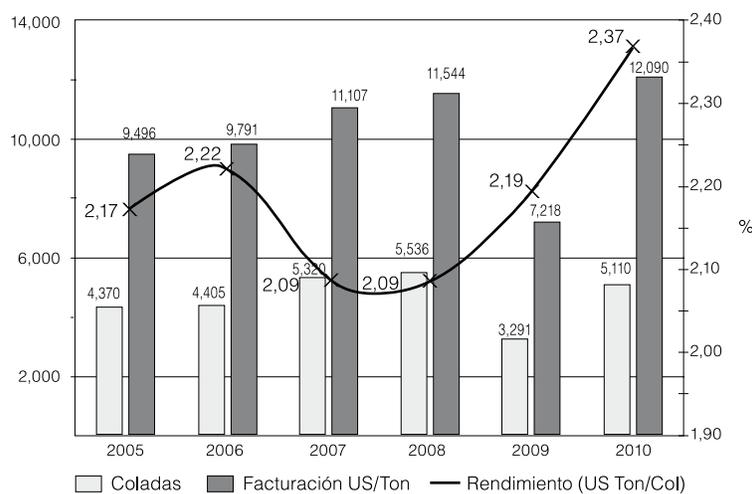


Figura 6. Coladas producidas y facturadas vs rendimiento de metal empleado (2005-2010).

desde comienzos de 2007.

En términos reales, la planta CAT Ramos Arizpe pasó de 820 toneladas facturadas por mes a un récord de 1250 toneladas requeridas por los clientes. Otro factor importante de éxito es la forma en que se redujo la tasa de accidentes. Para una fundición de acero, los resultados alcanzados ya desde el año 2006 merecieron el reconocimiento de la Corporación. Al mismo tiempo, el tiempo de ciclo se redujo drásticamente.

En 2004 fueron necesarios 19 días para manufacturar una pieza. Hoy en día (2011), desde el momento en que la orden de fabricación se publica, se necesitan sólo tres días para su entrega en la zona de embarque. Gracias a estos indicadores, la confianza de los clientes ha aumentado y por lo tanto, el nivel de facturación también ha mejorado considerablemente.

Otra ventaja alcanzada desde 2006 fue la certificación ISO9001:2000 para toda la empresa y la certificación MQ12005 en 3 de 4 eslabones de la cadena de valor en la que la planta está dividida. Cabe mencionar que sólo 10 plantas productivas de la empresa, a nivel mundial, pueden contar con esta distinción. El sitio de producción de Ramos Arizpe es la empresa más 'joven' del grupo CAT que haya alcanzado estos reconocimientos. Como muestra la Figura 6, la capacidad de producción aumenta en el proceso de fusión. Ya para 2010 se notan 2 efectos importantes: por un lado, la planta se recupera de la crisis por casi 5000 toneladas y, por el otro, para lograr una mayor venta, se requirió un menor número de coladas, lo que representa una mejora en el aprovechamiento del metal (rendimiento).

Desde el primer semestre de 2006, la compañía ha invertido importantes recursos para mejorar el capital humano y la infraestructura con el fin de mantener un sistema más sólido. Como resultado, un sistema particular de certificación de competencias y habilidades ha sido creado. Las habilidades del personal han mejorado, los niveles de satisfacción se incrementaron, y el compromiso y sentimiento de pertenencia se elevaron gracias a la campaña de acercamiento entre los empleados. Se desarrollaron actividades sociales y deportivas, involucramiento de la familia de los trabajadores en actividades de esparcimiento, así como el reconocimiento individual y de grupo. Todos estos elementos han ayudado a mejorar significativamente la percepción del personal del sistema de producción, como la encuesta anual de medio ambiente de trabajo muestra (Figura 7).

### Implicaciones futuras

Los resultados obtenidos hasta ahora permiten tener confianza en el futuro de una planta que estuvo a punto de cerrar sus operaciones de manera definitiva en 2005. Sin embargo, como cualquier proceso de mejora, las mejoras presentadas en este caso sólo son un primer paso en el proceso de diseño e implementación de un sistema de producción específico a las actividades de Caterpillar Inc. en el contexto de mercados emergentes. Entre las tareas que se deben continuar mejorando está la generación de los documentos estándar de trabajo, el sistema de formación profesional y los aspectos de liderazgo, así como equipos de trabajo de alto rendimiento. Todo ello con el fin de ser capaces de autogestionar

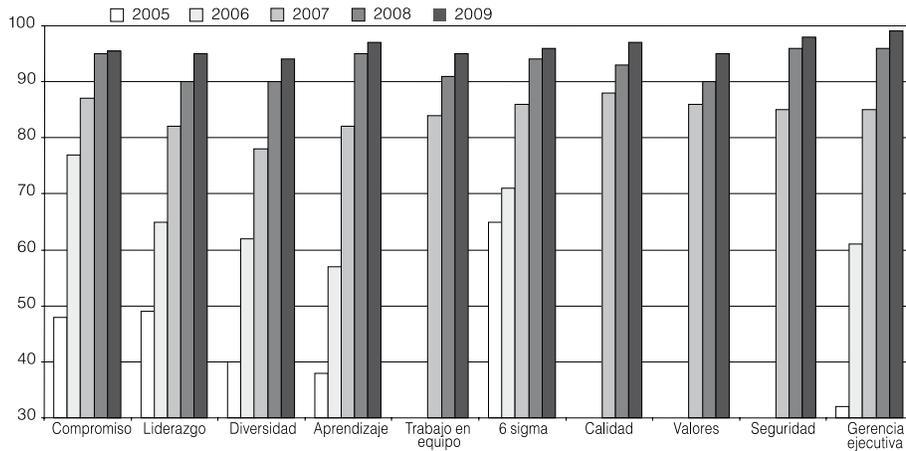


Figura 7. Encuesta de ambiente laboral 2005-2009.

el control y la mejora permanente de los procesos.

Se ha demostrado que un trabajo centrado y sostenido por bases teóricas en su concepción y enfoque práctico resulta ser muy rentable en su aplicación. De hecho, estos resultados están siendo considerados como referencia al nivel más alto de la Corporación como un modelo de implementación. También, otras empresas de diferentes sectores instaladas en la región donde se ubica la planta de implementación están intentando replicar este modelo. Esto abre una línea de investigación en el desarrollo de modelos híbridos adaptados a las condiciones particulares de operación de los mercados emergentes.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y a Caterpillar Inc. por las facilidades prestadas para el desarrollo del trabajo. El segundo autor agradece a Flora Hammer por los útiles comentarios que permitieron mejorar este documento.

### REFERENCIAS

- Cedillo M, Pérez A (2010) Hybrid supply chains in emerging markets: The case of the Mexican auto industry. *S. Afr. J. Indust. Eng.* 21: 193-206.
- Cedillo M, Sánchez C (2008) *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales*. Trillas, México. 213 pp.
- Cedillo M, Sánchez J, Sánchez J (2006) New relational schemes of inter-firms cooperation: The case of the Coahuila automobile cluster in Mexico. *Int. J. Automot. Technol. Manag.* 16: 406-418.
- Clarke C (2005) *Automotive Production Systems and Standardization - From Ford to the Case Mercedes Benz*. Physica. Heidelberg, Alemania. 246 pp.
- CPS (2005) *Caterpillar Production System. Material del Sistema de Producción Caterpillar*. Documento de trabajo interno. 274 pp. www.catatwork.cat.com
- Demeter K, Matyusz Z (2010) The impact of lean practices on inventory turnover. *Int. J. Prod. Econ.* doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.031.
- Eroglua C, Hofer C (2010) Lean, leaner, too lean? The inventory-performance link revisited. *J. Oper. Manag.* 29: 356-369.
- Farrisa J, Van Akenb E, Doolenc T, Worley J (2009) Critical success factors for human resource outcomes in Kaizen events: An empirical study. *Int. J. Prod. Econ.* 117: 42-65.
- Fujimoto T, Takeishi A (2001) *Automobiles: Strategy-Based Lean Production System*. The University of Tokyo. June. pp 6-22.
- Graup P, Sessumes M, Wrona R (2006) *Training Within Industry (TWI)*. Association for Manufacturing Excellence. Dallas, TX, EEUU. pp 11-24.
- Hino S (2006) *Inside the Mind of Toyota. Management Principles for Enduring Growth*. Productivity Press. Nueva York, NY, EEUU. 352 pp.
- Hirano H (1995) *Five Pillars of the Visual Workplace*. Productivity Press. Portland, OR, EEUU. 365 pp.

- Holweg M (2007) The genealogy of lean production. *J. Operat. Manag.* 25: 420-437.
- Kovács G, Spens K (2005) Adductive Reasoning in Logistics Research. *Int. J. Phys. Distr. Logist. Manag.* 35: 132-144.
- LEI (2004) *Lean Lexicon*. Lean Enterprise Institute. Brookline, MA, EEUU. 98 pp.
- Liker JK (1997) *Becoming Lean. Productivity Press*. Portland, OR, EEUU. 560 pp.
- Liker J, Meier D (2005) *Understanding the Toyota Way*. Association for Manufacturing Excellence. Boston, MA, EEUU. 330 pp.
- Neilson G, Martin K, Powers E (2008) The secrets to successful strategy execution. *Harv. Bus. Rev.* 86: 60-70.
- Ohno T (1978) *Toyota Production System*. Diamond, Tokio. 152 pp
- Pérez A (2005) *A Methodology to Support Knowledge Sharing Networks and Manufacturing Excellence Practices in SME's*. Thesis. University of Manchester, RU. 193 pp.
- Rehder R (1992) Sayonara Udevalla? Production methods of Volvo plant in Sweden. *Bus. Horiz.* 35: 8-18.
- Rubin B, Montañó E (2005) *Achieving a High Involvement - Continuous Improvement Culture to Power the Lean - Sigma Workplace*. AME Conference, Boston, MA, EEUU.
- Sánchez C, Cedillo M, Perez P, Martínez JL (2011) Global economic crisis and Mexican automotive suppliers: Impacts on the labor capital. En *Advances of Modeling & Simulation in Supply Chain and Industry*. Society for Modeling and Simulation International. Vista, CA, EEUU. En prensa.
- Shah R, Ward P (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *J. Oper. Manag.* 21: 129-149.
- Spear S, Bowen K (1999) Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harv. Bus. Rev.* 77: 96-106.
- Socconini L (2008) *Lean Manufacturing Paso a Paso*. Norma. México. 357 pp.
- Shub A, Stonebraker P (2009) The human impact on supply chains: evaluating the importance of "soft" areas on integration and performance. *Supply Chain Manag.* 14: 31-40.
- Womack J, Jones D, Ross D (1990) *The Machine that Changed the World*. Rawson. Nueva York, NY, EEUU. 323 pp.