# APROXIMACIÓN HOLÍSTICA A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DESDE LA PERSPECTIVA LEAN MANUFACTURING Y MODELO DE SISTEMAS VIABLES

# JULIO CÉSAR PUCHE REGALIZA JOSÉ COSTAS GUAL

Universidad de Valladolid

De manera general, podemos visualizar cualquier organización desde diferentes perspectivas. Por una parte, una perspectiva interna nos permite tratar aspectos jerárquicos (organigrama funcional) y dividir dicha organización en unidades organizativas o departamentos que muy comúnmente forman bloques de afinidad con un cuerpo de conocimiento. Así, hablamos de

un departamento comercial, de un departamento de producción, de un departamento de logística, etcétera (Koontz et al., 1990). Por otra parte, una perspectiva externa nos permite tratar aspectos relacionados con el cliente (donde nos interesa comprender el flujo de información y de materiales que acaba poniendo un producto a su alcance) y dividir la organización en procesos (value stream), como por ejemplo, el lanzamiento de nuevos productos, la facturación a clientes, el tratamiento de los pagos a proveedores, el pago de nóminas a empleados, etc. (Rother/Shook, 2003).

Las dos perspectivas anteriormente señaladas, tienen en cuenta múltiples propiedades al acercarse al estudio de una organización: la estructura de sus procesos, sus funciones, el factor tecnología, la forma en que la organización va a medir su rendimiento, el factor humano, los partners, etc. En cualquier caso, ambas basan su modelo de negocio en un enfoque reduccionista de la organización que conduce a la existencia de propiedades, como por ejemplo la imagen de marca o la capacidad de generar flujos de caja, que no puedan ser encontradas en ninguno de los departamentos o procesos definidos. Se trata de aquellas propiedades que la organización tiene como sistema (Von Bertalanffy, 1968).

Esta deficiencia produce, con demasiada frecuencia, que los niveles de madurez de las organizaciones no sean lo suficientemente elevados como para que éstas puedan sostenerse en el mercado.

Una aportación de este trabajo, en la dirección de disminuir el efecto negativo producido por el enfoque reduccionista anteriormente comentado, consiste en establecer líneas maestras para incrementar el nivel de madurez de las organizaciones y como consecuencia aumentar su sostenibilidad en el mercado. Para ello, proponemos un cambio estructural y de comportamiento en las organizaciones, de manera que el enfoque reduccionista, se transforme en un enfoque sistémico adecuado para tratar la complejidad dinámica implícita en una organización.

Respecto al cambio estructural, dentro del enfoque o pensamiento sistémico, centramos nuestra atención en una de las metodologías sistémicas más directamente aplicables a los problemas relativos a la organización de empresas y organizaciones en general, como es la Cibernética Organizacional y, particularmente, el Modelo de Sistemas Viables de Stafford Beer (Beer, 1985, 1981, 1979). De manera general, las ventajas de su utilización se derivan de su carácter sistémico, com-

prehensivo y multinivel. Para profundizar en la superioridad científica de la Cibernética Organizacional frente a las alternativas ofrecidas comúnmente por la Teoría de Organización puede consultarse Pérez Ríos (2001).

Respecto al cambio de comportamiento, queremos destacar el empleo del paradigma Lean Manufacturing, en el que el centro de atención es el cliente. Se trata de entender sus preocupaciones, especialmente a través de la observación crítica de la interacción de los clientes con los productos y servicios (Womack et al., 1990). De manera general, las ventajas de su utilización derivan del cambio de actitud de las personas que forma parte de la organización. Para profundizar en la superioridad científica del paradigma Lean Manufacturing (PULL) frente a las alternativas ofrecidas comúnmente por otros paradigmas productivos de comportamiento (PUSH), puede consultarse Womack et al. (1990).

Para alcanzar nuestro objetivo, mostramos inicialmente algunos conceptos básicos sobre el Modelo de Sistemas Viables y sobre el paradigma Lean Manufacturing, para a continuación, esbozar las primeras indicaciones sobre cómo convertir una organización manufacturera en un sistema viable (sostenible). Posteriormente, desarrollamos un modelo de simulación discreta que nos permitirá validar, en cierta medida, la hipótesis de partida propuesta: «una aproximación holística a los sistemas de producción, aumenta la sostenibilidad en el mercado de dichos sistemas». Terminamos el trabajo presentando una serie de conclusiones y referencias a futuras mejoras.

# MODELO DE SISTEMAS VIABLES (VSM) ‡

La Cibernética Organizacional aplica los principios relacionados con la comunicación y el control, propios de la Cibernética a las organizaciones. Una de las aportaciones más conocidas de la Cibernética Organizacional es el Modelo de Sistemas Viables, el cual facilita el tratamiento de la complejidad a la que se enfrenta una organización. El Modelo de Sistemas Viables, integrado con otros componentes de la Cibernética Organizacional, establece las condiciones necesarias y suficientes para que una organización sea viable, es decir, capaz de mantener una existencia independiente. Ello implica que la organización estará dotada de las capacidades de regulación, aprendizaje, adaptación y evolución necesarias para garantizar su «supervivencia» ante los cambios que puedan producirse en su entorno a lo largo del tiempo, incluso aunque éstos no hayan sido previstos cuando la organización fue diseñada. Dichas condiciones implican la existencia de las funciones estructurales o subsistemas denominados por Beer: Sistema Uno (unidades operativas), Sistema Dos (coordinación de las unidades), Sistema Tres (integración y sinergia), Sistema Cuatro (inteligencia y adaptación) y Sistema Cinco (definición de identidad y política).

Muy brevemente (figura 1), el Sistema Uno representa el elemento de manejo de las unidades operativas o autónomas. Dado que pueden presentarse conflictos entre las actividades de estas unidades operativas, necesitamos un Sistema Dos con un papel esencial en su coordinación. El control del nivel de desempeño de las unidades operativas es asumido por el Sistema Tres, que es además responsable de la adecuada asignación de recursos a cada unidad operativa y de la identificación de potenciales sinergias que pueden aparecer entre ellas. El Sistema Tres no es capaz de actuar previendo el futuro, no es capaz de reconocer los potenciales riesgos que pueden aparecer. Por lo tanto, requerimos una función estructural que resuelva este inconveniente. Esta función está representada por el Sistema Cuatro. En este subsistema, los cambios del entorno son detectados y analizados con referencia a los objetivos principales de la organización, derivando posibles recomendaciones de actuación. Por último, el Sistema Cinco, es responsable de la formulación de los principios y metas de la organización, desempeñando un importante papel en la preservación de su identidad. Para una mayor profundización en el Modelo de Sistemas Viables puede consultarse Beer (1985, 1981, 1979).

#### LEAN MANUFACTURING ¥

Womack, Jones y Roos, presentan con su obra «The Machine that Changed the World» (Womack et al., 1990), una magnífica y muy documentada exposición de los 3 grandes paradigmas en la historia de la manufactura: la fabricación artesanal, la fabricación en masa y la fabricación flexible (Lean Manufacturing), argumentando las características clave en cada una de estas etapas. Sus aportaciones representaron un hito en la industria en Occidente a principios de los años 90, ya que su propuesta de evolución a través de los 3 grandes paradigmas comentados, representa en cada etapa un breakthrough, es decir, una transformación radical en la estructura de costes, hasta llegar a una perspectiva holística (base sobre la que parte Beer para desarrollar su Modelo de Sistemas Viables: el todo es más que la suma de sus partes) de la cadena de suministro, considerando no sólo la manufactura, sino también el diseño, el lanzamiento, y hasta la retirada de productos del mercado. La figura 2 muestra el enfoque sistémico de la filosofía Toyota Production System, origen de Lean Manufacturing, sobre su sistema de producción. Si bien su obra se centra en el sector del automóvil en cuanto a hechos y cifras, en el plano conceptual nos ofrece una aproximación muy general sobre esta secuencia de transformaciones de paradigmas productivos.

La última de estas transformaciones, nos conduce al paradigma de fabricación flexible (Lean Manufacturing), cuya característica esencial y diferenciadora respecto al paradigma previo de la fabricación en masa es que, mientras que en este último el centro de interés está en la reducción del coste unitario de fabricación, en Lean Manufacturing, el centro de in-

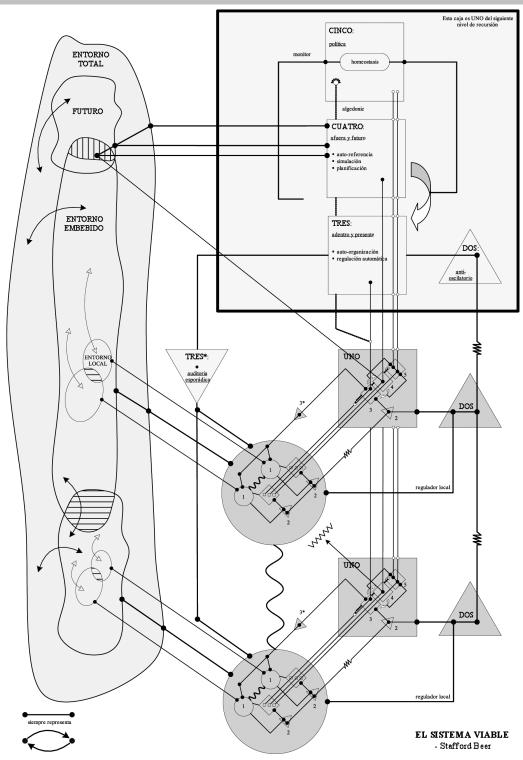


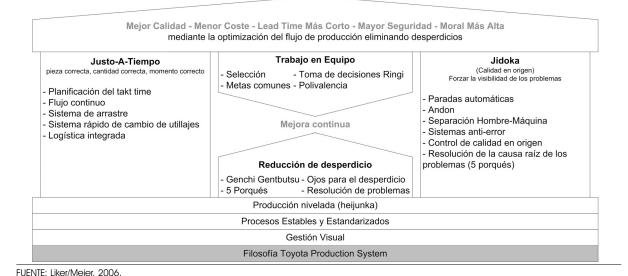
FIGURA 1
MODELO DE SISTEMAS VIABLES

FUENTE: Beer, 1985.

terés está en poner al cliente al mando del sistema productivo. De esta manera, el ideal del *Lean Manufacturing* es producir al ritmo exacto de la demanda. Cada cliente, con cada orden, está halando de la cadena de producción (hacia atrás, de forma reiterada, en cada paso de proceso).

Este paradigma busca la continua reducción del desperdicio de la cadena de valor, bien entendido que el desperdicio es todo aquello que no añade valor para el cliente. La actitud crítica en el juicio sobre el estado en curso de la cadena de valor y el esfuerzo reiterado en la reducción de desperdicio re-

## FIGURA 2 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM



quiere el cultivo de destrezas en solución de problemas. Todo lo cual, conduce a un ambiente de trabajo donde el desafío de nuevos retos es bien recibido, y por lo tanto, a una organización que aprende (abordando los problemas en lugar de esconderlos) y que cada día es más eficaz en satisfacer a los clientes y más eficiente en realizar su actividad (menos desperdicio). Los operarios aprenden, los directivos estimulan el ensayo y la verificación, se incrementa el compromiso con los clientes y los canales existentes entre los diferentes compo-

nentes de la organización suben su nivel de competen-

cia, agilidad, eficacia y resultados en lugar de operar

sólo bajo la premisa de «regulación» (Liker/Meier, 2006).

Para lograr estos objetivos, el paradigma de *Lean Manufacturing* se apoya en cuatro pilares básicos (ver Figura 2) que conducen a la estabilidad y como consecuencia a la sostenibilidad de la organización. Estos pilares básicos son los siguientes (Liker/Meier, 2006):

El pilar de la filosofía o los grandes principios, extendido a crear valor para los clientes, los empleados, la cadena de suministro y para la comunidad en general.

El pilar de los procesos, entendido en el sentido de que los resultados (productos o servicios) son consecuencia de la naturaleza de los procesos. Este pilar se despliega en las reglas de Flujo, que se opone a stock; Pull, que sitúa al cliente y la demanda al mando del proceso; Standards, que enfatiza la aplicación del método científico en la definición cuidadosa y detallada al establecer cómo se han de establecer las cosas y Kaizen, que niega la complacencia y aboga por el desafío continuo ante niveles más altos del estándar.

**El pilar de las personas** (empleados, suministradores, etc.), que establece el valor de hacer crecer continuamente a las personas en su dimensión humana, social y técnica.

El pilar de solución de problemas, que crea la cultura de ir en busca de desafíos cada vez más difíciles, en vez de huir de los problemas y conformarse con soportar los mismos problemas una y otra vez. Por lo tanto, un problema es visto como un signo de una patología del sistema actual y, como consecuencia, presenta la oportunidad de diagnosticar las causas raíces del mismo a fin de transformar el sistema hacia otro cuya naturaleza global es superior.

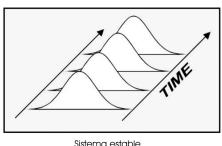
## IMPLANTACIÓN DEL PARADIGMA DE COMPORTAMIENTO *LEAN MANUFACTURING* CON LA REFERENCIA ESTRUCTURAL DEL MODELO DE SISTEMAS VIABLES ‡

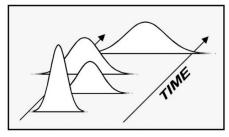
Una vez definidos los conceptos fundamentales del Modelo de Sistemas Viables y del paradigma Lean Manufacturing, estamos en condiciones de aplicar las pautas que el Modelo de Sistemas Viables nos dicta, a una organización basada en dicho paradigma. Pretendemos avanzar en la línea de convertir una organización manufacturera en un sistema viable apoyándonos en un enfoque sistémico. Para ello, mostramos a continuación un primer acercamiento de cómo implantar cada uno de los cinco subsistemas propuestos por Beer desde la óptica del paradigma Lean Manufacturing.

#### El Sistema Uno. Taller

El Taller se ocupa de generar los elementos tangibles que constituyen la actividad principal de la organización (productos o servicios). Normalmente está dividido en una serie de elementos operacionales autónomos que interaccionan entre sí (Beer, 1985). Esta funcionalidad suele estar asociada con el nivel operacional de una organización (Schwaninger, 2001). De manera general, esta actividad puede verse afec-

## FIGURA 3 CONDUCTA ESTABLE E INESTABLE DE UN SISTEMA





able Sistema inestable

FUENTE: George, 2005.

tada por diferentes fuentes de variabilidad que clasificamos de la siguiente manera (Taguchi et al., 2005):

**Variabilidad exógena.** La que llega del entorno del sistema (medio ambiente, clientes, etc.).

**Variabilidad endógena** es la que ocurre por los fenómenos de desgaste/deterioro de los componentes del sistema (típicamente se manifiesta en forma de fricciones, holguras, pérdida de planitud, pérdida de concentricidad, etc.).

Variabilidad «part-to-part», que procede de los propios elementos del sistema productivo (ineficiencias del sistema productivo). Diferencia entre máquinas (downtimes de máquinas), chatarras, retrabajos, variabilidad presente en los materiales empleados para la fabricación, variabilidad entre los operarios (destrezas, condiciones físicas, absentismo, etc.), balance de cargas de las líneas, variabilidad al realizar las operaciones, etc.

Debido a esta presencia (inevitable) de fuentes de ruido (variabilidad procedente de factores no controlables), no cabe esperar una respuesta absolutamente determinista por parte del Taller. Por lo tanto, intentaremos caracterizar la conducta de dicho Taller apoyándonos en modelos estocásticos. Este tipo de caracterización sólo es posible si el Taller tiene un grado razonable de estabilidad. No es posible construir un modelo estocástico de Taller si éste tiene una conducta caótica e inestable (figura 3; George, 2005).

En Lean Manufacturing se llama MURI a una situación de inestabilidad. Mientras estamos en presencia de MURI, no estamos interesados en la caracterización de la conducta sino en la construcción de una conducta. En la práctica, diremos que el Taller está estable si: (1) cumple con los fundamentos de orden y limpieza (conocidos en la industria como las «5S») (George, 2005), (2) el nivel de cuidado del equipamiento es adecuado. Esto significa que el periodo entre fallos es largo (no estamos sufriendo continuas interrupciones por averías), y que el tiempo de refacción es corto (se dispone de sistemas de diagnóstico y procedimientos de reparación adecuados) y (3) los operarios tienen las competencias fundamentales para hacer su trabajo (ODS – job instructions) (George, 2005).

Una vez que tenemos el Taller en condición de proceso estable, procedemos con el Mapa de Cadena de Valor (Value Stream Map). Con esta herramienta mostraremos de una forma clara y esquemática el flujo de información y de material característico del proceso, es decir, el flujo dock-to-dock de todos los procesos core de la organización (Rother/Shook, 2003).

#### El Sistema Dos. Control del taller

La principal función del Control del Taller es amortiguar las oscilaciones incontroladas que se producen como consecuencia del funcionamiento de los elementos operacionales del Taller y sus interacciones (Beer, 1985). Pretende por tanto, conseguir un sistema normalizado y automatizado, buscando la estabilidad del taller y, por tanto, disminuir el efecto de la variabilidad exógena, endógena y part-to-part (Taguchi et al., 2005).

Desde el paradigma Lean Manufacturing, disponer de un sistema normalizado (standarized work) implica tener determinados sistemas de control visual (visual management) que monitoricen y ofrezcan un diagnóstico inmediato (es decir, cuyo retardo esté acotado por el tiempo del ciclo productivo o por el determinado en el procedimiento de escalada de problemas) del estado del sistema, haciendo posible la identificación de las desviaciones sobre su funcionamiento previsto. Una herramienta típica para establecer este tipo de controles es el Diagrama de Trabajo Normalizado (Liker/Meier, 2006).

De manera resumida, el Diagrama de Trabajo Normalizado muestra la secuencia en la que se completa el trabajo, la disposición en planta de las estaciones y de los útiles de trabajo, la ubicación de los materiales, así como todo lo necesario para dejar claro el nivel de MUDA (nivel de desperdicios del sistema productivo) esencial inherente a cada sistema (Liker/Meier, 2006).

#### El Sistema Tres. Reporting y auditoría •

La principal función de *Reporting* y Auditoría es ocuparse del ámbito interno del sistema, en tiempo real. Su misión es transmitir objetivos, instrucciones y directrices provenientes de la Exploración del Entorno y de

la Normativa (revisados a continuación) a los elementos operacionales que componen el Taller, llevar a cabo la negociación de recursos y rendir cuentas sobre su utilización con dichos elementos operacionales, auditar su funcionamiento y eventualmente (solamente si la coherencia de la organización como un todo se pone en peligro) intervenir en aquellos casos en los que el Control del Taller ha sido incapaz de resolver los conflictos entre los diferentes elementos operacionales. Además, es el encargado de identificar sinergias entre los elementos operacionales y de aportar un enfoque integrador entre ellos, intentando conseguir un óptimo global de la organización y su estabilidad interna (Beer, 1985).

Por otra parte, debe poder obtener información directamente desde los elementos operacionales de manera no rutinaria, evitando que ésta pueda ser filtrada. De esta manera, obtiene información inmediata de lo que está sucediendo en los elementos operacionales sin tener que confiar en la información que ellos envían (Beer, 1985).

Una implementación eficaz de *Reporting* y Auditoría en una organización manufacturera, desde el punto de vista de *Lean Manufacturing*, puede llevarse a cabo mediante el *Kami Shabai* (Liker/Meier, 2006), el cual consiste en: (1) sistema de confirmación que implica al *management* y (2) sistema de auditoría regular, realizado por el propio personal de línea en cuanto a la adherencia a los estándares operacionales. Su propósito es el siguiente:

- ✓ Comprobar regularmente que los controles definidos en el Control del Taller siguen siendo aplicados.
- ✓ Procurar un reacción a los hallazgos de las auditorías.
- $\checkmark$  Impulsar la mejora del producto y mejoras en el espacio de trabajo.
- $\checkmark$  Asegurar la eficacia de los sistemas de control visual para simplificar la supervisión.

Profundizando en los dos componentes anteriormente comentados, en primer lugar, el sistema de confirmación se ocupa de, por una parte, resolver los problemas que no ha sido capaz de resolver de manera automatizada el Control del Taller, y por otra, materializar aquellos cambios cuya fuente no es el propio Taller, sino que proceden de los niveles estratégico y normativo (Schwaninger, 2001). Para ello, los gerentes utilizan herramientas como las que mencionamos a continuación:

**HOSHIN:** el Despliegue de Políticas es una herramienta que busca el compromiso de los diversos estamentos organizativos en relación con la puesta en marcha de una iniciativa o una estrategia en la organización. Comienza con un plan de negocio. Las metas son desplegadas hacia los diferentes elementos operacionales definidos en el Taller para definir los recursos y establecer calendarios y responsabilidades relativas a un

plan de acción. Se procede a identificar los indicadores de progreso que van a ser utilizados, así como los mecanismos de seguimiento (Bicheno, 2002).

Force Field Analysis: con el Análisis de Campo de Fuerzas, se busca identificar las fuerzas que se oponen a los cambios y las que son facilitadoras del cambio. Por lo tanto, este análisis simplifica la identificación de actividades concretas en el plan de trabajo, la composición más indicada del equipo de proyecto y la mejor asignación de roles dentro de dicho equipo (Bicheno, 2002).

En segundo lugar, el sistema de auditoría regular nos permite identificar un conjunto de auditorías que de manera general deben realizarse (unas por imperativo legal y otras por requerimientos normativos de diversa naturaleza). Señalamos a continuación algunas de las más típicas (Bicheno, 2002):

**Auditorías contable/financieras**, cuya frecuencia es anual en muchos casos, de conformidad con preceptos legales.

**Auditorías de producto**, típicamente diarias. Se separa del flujo una muestra de productos para ser sometida a una lista de ensayos tipificados. Se presentan y discuten los resultados en las reuniones de seguimiento de las operaciones y se administra un plan de acción sobre las actuaciones requeridas.

**Auditorías tipo ISO**, cuyo ciclo de revisión/actualización está regulado por la entidad certificadora. Se examinan los procesos, los sistemas de registro y los mecanismos de gestión de los cambios en el producto y en el proceso.

Una de las poderosas razones para llevar a cabo este conjunto de auditorías es la detección de GAPs (desviaciones) entre el resultado esperado y el real. Los gráficos de cascada (waterfall chart), focalizados para cada KPI (key performance indicator), son típicamente utilizados para poner de manifiesto hasta qué punto el Taller tiene explicaciones sobre su GAP (Liker/Meier, 2006).

De aquellas partes del GAP que el Taller tiene explicaciones, el propio Taller las atacará con planes de acción, ya que la mejora de los sistemas empieza por grasp the situation, es decir, entender qué es lo que ocurre (Liker/Meier, 2006).

A partir de aquí, se sucede el ciclo PDCA de Deming (plan, do, check, act) (Bicheno, 2002) (los seguidores de Six Sigma identificarán las fases R-DMAIC (Pries, 2005)) para determinar las causas raíces de lo que ocurre y aplicar pensamiento creativo para introducir los cambios (contramedidas a las causas verificadas) en el sistema.

Como conclusión de este apartado, podemos decir que el *Reporting* y Auditoría tiene como propósito detectar oportunidades de mejora. Tales oportunidades

alimentan el ciclo PDCA, el cual es la base para que la organización crezca en sus competencias para resolver problemas, lo cual a su vez es un refuerzo a su sostenibilidad (Liker/Meier, 2006).

#### El Sistema Cuatro. Exploración del entorno

La principal función de la Exploración del Entorno es vigilar el mundo exterior de la organización en el medio y largo plazo. Explora de forma continua diferentes escenarios futuros para ayudar a la toma de decisiones que incremente la probabilidad de lograr el futuro deseado. Ofrece posibles recomendaciones para acciones futuras en función de la evolución observada en el entorno de la organización, asegurando así su adaptación a dichos cambios. Tiene por tanto, la finalidad de mantener a la organización constantemente preparada para el cambio (Beer, 1985). Esta funcionalidad, junto a la ofrecida por el Control del Taller y por *Reporting* y Auditoría, suele estar asociada con el nivel estratégico de una organización (Schwaninger, 2001).

Los sistemas de relaciones de la organización con el exterior, las encuestas a clientes, los estudios de campo, la presencia de sus empleados en foros, las políticas de información, los planes de comunicación interna y externa, los análisis de mercado, el benchmarking (consistente en estar regularmente comparando el rendimiento de la organización con los competidores), las políticas de atención a clientes orientadas a conocer sus preocupaciones e inquietudes, etc., pueden verse como actividades de la Exploración del Entorno en una organización. Dentro del paradigma Lean Manufacturing, queremos destacar una serie de herramientas concretas aplicadas por las organizaciones para implantar dichas actividades (Bicheno, 2002):

**SWOT análisis** (estudio de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades), que es empleado para los estudios de desarrollo de la visión de negocio. Los líderes de negocio realizan una tormenta de ideas para identificar amenazas y oportunidades a largo plazo. Seguidamente, es conveniente conectar dichas amenazas y oportunidades con las fortalezas y las debilidades de la organización que permita definir un planteamiento estratégico alineado con la visión de la propia organización.

**MoT** (moments of truth), una herramienta que nos va a permitir describir la experiencia del cliente en su interacción con la organización.

**QFD** (quality function deployment) mediante la cual, las necesidades del cliente son estudiadas de una forma estructurada para identificar las características significativas de un producto.

A la exploración del entorno, no sólo le interesa obtener hallazgos valiosos sobre el entorno y su evolución, sino ser capaz de comunicarlo eficazmente a los agentes del sistema global. Vamos a reseñar una de las herramientas más poderosas en cuanto a comunicación dentro del paradigma *Lean Manufacturing* (Bicheno, 2002):

**Johari Window** que divide el espacio en dos ejes. Uno se interesa por aquello que la Exploración del Entorno, por un lado conoce y por otro desconoce. El otro se interesa por separar aquello que el Taller, el Control del Taller y *Reporting* y Auditoría ya tienen aprendido, de aquello que no. Las acciones que pretendemos identificar son relativas al *feedback* que necesitamos obtener y a los mensajes que debemos transmitir.

#### El Sistema Cinco. Normativa

La principal función de la Normativa es controlar la interacción entre *Reporting* y Auditoría y Exploración del Entorno (preservando así la identidad de la organización). Además es el encargado de definir dicha identidad, la misión, el estilo, los aspectos ideológicos, normativos y los principios y objetivos generales de la organización. Debe asegurar que la organización se adapte al entorno manteniendo, al mismo tiempo, un grado adecuado de estabilidad interna, balanceando las necesidades internas y externas de la organización, en muchos casos contradictorias (Beer, 1985).

De manera general, esta funcionalidad está asociada con el nivel normativo de una organización (Schwaninger, 2001), teniendo por objeto el planteamiento y desarrollo de una visión de negocio. Para ello, es necesario definir las metas que dicha organización persigue, más allá de los objetivos de un ejercicio económico concreto. Típicamente, estas metas estarán formuladas teniendo en cuenta la naturaleza de los productos y servicios que se quieren poner al alcance de los clientes, el impacto que la organización pretende en el mercado, en la comunidad, el cuidado del medio ambiente en el desarrollo de la actividad, la atención sobre la salud de las personas, etc. (Beer, 1979).

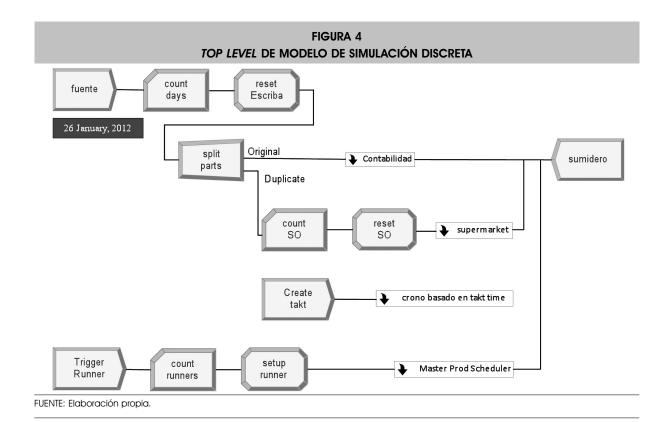
Desde la perspectiva Lean Manufacturing, un excelente ejemplo de la definición de una poderosa Normativa, podemos encontrarlo en el Toyota Production System y en la definición de sus 4 pilares básicos (ver apartado 3).

# VALIDACIÓN DEL AUMENTO DE SOSTENIBILIDAD EN EL MERCADO DE LA PRODUCCIÓN BASADA EN UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA \$

En este apartado pretendemos validar la propuesta de este trabajo a través de la confirmación de la hipótesis definida en el primer apartado. Una aproximación holística a los sistemas de producción, aumenta la sostenibilidad en el mercado de dichos sistemas.

Para ello, en primer lugar desarrollamos un modelo de simulación discreta que representa un proceso de pro-

386 | >Ei



ducción genérico. En segundo lugar, completamos la fase de experimentación con el modelo desarrollado.

#### Modelo de simulación discreta

Para desarrollar este modelo de simulación discreta, se ha utilizado el software ARENA® v.11 (Kelton et al., 2004) por tratarse de una de las herramientas más utilizadas en la industria para aplicaciones de este tipo. El modelo representa una línea de producción, que funciona durante ocho horas diarias, compuesta por dos máquinas y un supermercado. Cada ítem a fabricar pasa en primer lugar por la máquina 2 para posteriormente finalizar su fabricación en la máquina 1. El ítem a fabricar puede ser de tres tipos diferentes a los que denominamos A, B y C. A continuación, la producción de cada tipo de ítem queda almacenada en el supermercado donde será accedido por el cliente final. Podemos ver el TOP LEVEL (1) del modelo en la figura 4.

En este TOP LEVEL del modelo, podemos ver cómo la fuente mana una entidad cada jornada que es clonada en dos réplicas. Una réplica viaja al submodelo de contabilidad que tiene por objeto llevar a cabo el conteo del proceso así como de mostrar un cuadro de mando de dicho proceso donde se refleja la demanda agregada para A, B y C, el stock acumulado de productos acabados contabilizados después de atender las ventas de la jornada y el SHORTAGE o ventas perdidas, es decir, la demanda que no ha podido ser satisfecha. La otra réplica viaja al submodelo supermercado donde se realiza la venta del producto acabado al cliente externo. La lógica del supermercado es muy simple, cuando el taller de fabricación ya ha cerrado su

actividad de la jornada, llega un cliente para cada pieza A, B y C, con una demanda determinada (2).

Por otra parte, el submodelo crono basado en takt time nos avuda a aestionar el reloi de la fábrica. Es necesario porque cuenta takts que sólo tienen lugar durante el horario productivo. Por último tenemos el submodelo master prod scheduler, que es el encargado de enviar las órdenes de producción al taller. Este control de producción decide en cada vuelta del runner, qué pieza, si es que hay alguna, vamos a fabricar. Para ello, se comprueba la discrepancia entre el nivel de reposición marcado para cada pieza v el stock actual, considerando tanto el disponible como el lanzado en forma de órdenes al taller y que aún están en proceso de fabricación. El submodelo master prod scheduler se compone de dos submodelos, el taller de fabricación y priorizar WO by mode. Éste último se encarga de dar prioridades a las órdenes de fabricación enviadas por el master prod scheduler, mientras que el primero de ellos se encarga de fabricar dichas órdenes de fabricación. En el taller de fabricación encontramos las dos máquinas inicialmente indicadas que trabajan en paralelo. La clave para implementar un Sistema Dos es coordinar la producción de ambas máquinas, fabricando un mix de 3 tipos de piezas diferentes a lo largo de cada jornada.

#### Experimentación con el modelo desarrollado

En esta fase de experimentación, llevaremos a cabo las siguientes etapas: (1) punto de partida del experimento, (2) propósito del experimento, (3) métricas utilizadas, (4) ejecución del experimento: recolección y graficado de los datos, (5) análisis de los resultados experimen-

tales (simulados con el modelo) y (6) error experimental (Box et al., 1978). Veamos de manera detallada cada una de estas etapas.

**Punto de partida del experimento.** Una vez verificado que el modelo de simulación discreta desarrollado en el apartado del mismo nombre se comporta de forma satisfactoria y consistente, es decir, la gráfica que muestra el comportamiento de las *KPI's* muestra un comportamiento estable del sistema (gráficas sinusoidales y amplitud pequeña), actuaremos de la siguiente manera:

- 1 Configuramos el parámetro del sistema que permite elegir el modo de trabajo del Sistema Dos entre una política PULL (holística) o una política PUSH (reduccionista) (3). Elegimos PUSH y ejecutamos el modelo de simulación. Dejamos que transcurra el periodo de WARM UP (transitorio de arranque) hasta que detectamos un comportamiento estable de las KPI's (métricas indicadoras del rendimiento del sistema productivo simulado), que representamos de forma gráfica al modo de cuadro de mando.
- **2**] Una vez que el sistema ha entrado en régimen permanente recolectamos 50 bloques de datos para ser analizados con el software estadístico *JMP* (4).
- 3] Repetimos la misma operación para comprobar que el modelo tiene repetitividad. Dejamos pasar de nuevo el WARM UP y capturamos otros 50 bloques de datos que también serán analizados con JMP.
- 4 Comprobamos que ambas muestras responden a unas mismas características poblacionales.
- 5 Repetimos la misma forma de recolección de datos parametrizando en este caso, el modo de comportamiento *PULL*. Comprobamos de nuevo la repetitividad para este modo de comportamiento.

Por último, una vez que disponemos de una muestra de tamaño grande (N=100) en cada población (PUSH, PULL), estamos en condiciones de efectuar las pertinentes comparaciones a través de diferentes métodos estadísticos.

Propósito del experimento. Queremos comprobar que una aproximación holística a los sistemas de producción, aumenta la sostenibilidad en el mercado de dichos sistemas. Para ello, vamos a comprobar que un sistema de producción estructurado en base al Modelo de Sistemas Viables (ver apartado Modelo de Sistemas Viables) tiene mejor rendimiento cuando su Sistema Dos está diseñado bajo el modo de comportamiento PULL que cuando está diseñado bajo el modo de comportamiento PUSH (ver apartado correspondiente al Lean Manufacturing).

Como vimos, la principal función del Sistema Dos es buscar la estabilidad del Sistema Uno amortiguando las oscilaciones incontroladas que se producen como consecuencia del funcionamiento de los elementos operacionales que lo componen y de las interacciones que aparecen entre ellos. Buscamos por tanto, la coordinación entre ventas y producción.

Indicamos en dicho apartado, que una forma de implantar el modo de comportamiento Lean Manufacturing en el Sistema Dos es mediante determinados procedimientos de control visual que monitoricen y ofrezcan un diagnóstico inmediato del estado del sistema a través de, por ejemplo, la herramienta Diagrama de Trabajo Normalizado. Esta implantación queda implícita en el desarrollo del modelo de simulación discreta mediante indicadores visuales.

El modo de comportamiento *PUSH* (empuje) en el Sistema Dos se basa en el concepto de que el schedule (programa de producción) busca un horizonte tan largo como sea posible para promover grandes lotes y evitar cambios de utillaje con la intención de buscar el menor coste unitario de producción. De esta manera, fabricamos para maximizar el uso de la capacidad de la línea de producción incrementando para ello el stock existente. La venta se realiza desde el stock. La coordinación se realizará a través del envío de mensajes en el momento en el que nos encontremos con faltantes de alguno de los productos A, B ó C. Esto forzará el cambio de utillaje en la línea o incluso en el parón de la línea si se agota el espacio de almacenaje.

El modo de comportamiento *PULL* (arrastre) en el Sistema Dos se basa en el concepto de que siempre es el cliente quién tiene el mando efectivo del sistema productivo (la demanda guía las decisiones) y que el cubo de tiempo para la toma de decisiones se reduce tanto como sea posible, siendo el estado ideal *onepiece-flow*. En el modelo de simulación discreta se ha llevado este concepto a un tamaño de *pitch* (lote) de 20 piezas. La decisión de lanzar o no un nuevo lote (orden de producción) se basa en el stock existente.

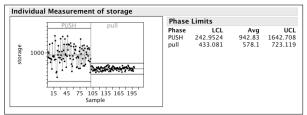
Además debemos decidir si el nuevo lote será de producto tipo A, B ó C. Para ello, seleccionaremos el tipo de producto con el mayor gap entre el stock actual y un nivel de stock de referencia proporcional a la demanda de dicho tipo de producto. En el mundo real de las operaciones, esto significa que la coordinación en la cadena de valor se basa en "go and see" y que para que esta estrategia sea eficaz se implementan los medios de control visuales anteriormente comentados (marcas para los tamaños de buffer, paneles visuales, andones, etc.).

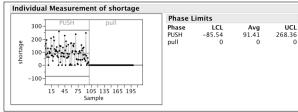
**Métricas utilizadas (KPI's).** Para decidir si aceptamos o rechazamos la hipótesis de que el modo de comportamiento PULL tiene o no un mejor rendimiento que el modo de comportamiento PUSH en el Sistema Dos, hacemos el siguiente razonamiento:

La eficacia del sistema y particularmente del Sistema Uno, consiste en surtir las ventas. Por lo tanto, un medible natural es el SHORTAGE, es decir, las ventas perdidas en cada experiencia del cliente con el proveedor. Por otra parte, la eficiencia viene dada por el menor nivel posible de STORAGE o cantidad de stock después de las ventas, siendo el ideal igual a cero.

Portanto, deberíamos comprobar que PULL con un stock menor que PUSH consigue un 100% de CUSTOMER SA-TISFACTION (cero ventas perdidas), mientras que PUSH,

#### FIGURA 5 **GRÁFICOS DE CONTROL IR**





FUENTE: Elaboración propia.

teniendo un stock mayor, admitirá faltantes a clientes.

Ejecución del experimento: recolección y graficado de los datos. Una vez ejecutado el experimento en ARENA, recolectamos los datos de las métricas definidas en el apartado Métricas Utilizadas (KPI's) y las analizamos con el software estadístico JMP.

En primer lugar, los gráficos de control IR (datos individuales por cada métrica) no muestran señales de contaminación (inestabilidades, outliers, etc.) (figura 5).

Por otra parte, un examen visual de estos gráficos de control sugieren que efectivamente, hay una mejora clara en SHORTAGE, que pasa de una situación con defectos (faltantes) en modo PUSH a una situación de plena satisfacción con un stock que da soporte completo a las ventas en modo PULL. Igualmente, examinando la gráfica de la métrica STORAGE (nivel de existencias de productos acabados después de las ventas de cada jornada), también vemos el modo PULL como claro ganador. La respuesta del proceso es más baja (menor nivel de stock) y ofrece menos dispersión, lo cual es lo deseable para la gerencia (Sistema Tres, Cuatro y Cinco).

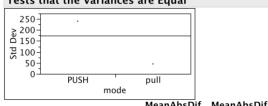
Análisis de los resultados experimentales (simulados con el modelo). Tras la recolección y graficado de los datos (estadística observacional), vamos a someter a contraste estadístico las impresiones que tenemos respecto a los resultados (estadística inferencial) (Thompson/Koronacki, 2002). En primer lugar contrastaremos la eficacia y posteriormente la eficiencia del sistema.

Empezamos por los test de igualdad de varianzas en la métrica STORAGE (figura 6). Para ello, empleamos el test de Levene, va que es menos sensible al tipo de distribución estadística de los datos, concluyendo que al 5% de significación (el pValue es menor que 0.05) podemos rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas (H0:  $\int_0^2 e^{-t} dt = \int_0^2 e^{-t} dt$  en modo *PUSH*). Por lo tanto, podemos aceptar la hipótesis alternativa, es decir, el nivel de stock se dispersa menos trabajando con un Sistema Dos basado en el modo de comportamiento PULL que si lo hace con un modo de comportamiento PUSH.

Procedemos a continuación con el test de igualdad de medias para la métrica STORAGE (figura 7). El test, como ya sugerían los datos graficados del gráfico de control IR, nos permite rechazar (al 5% de significación, pues el pValue es menor) la hipótesis nula (HO: la me-

### FIGURA 6 **TEST DE IGUALDAD DE VARIANZAS**

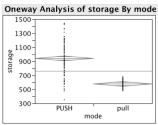
## Tests that the Variances are Equal

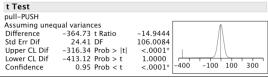


o Median		
192.1900		
36.7800		
p-Value		
<.0001*		
<.0001*		
<.0001*		
<.0001*		
<.0001*		

FUENTE: Elaboración propia.

## FIGURA 7 **TEST DE IGUALDAD DE MEDIAS**





FUENTE: Elaboración propia.

dia poblacional en modo PULL es igual que la media poblacional en modo PUSH).

Por lo tanto, concluimos que tenemos una ventaja significativa de reducción del nivel de stock cuando empleamos el modo de comportamiento PULL.

Repetimos el análisis, ahora para la métrica SHORTAGE. En este caso, el test de igualdad de varianzas no tiene lugar debido a los datos obtenidos con la propia ejecución del modelo en ARENA. Pasamos por tanto

directamente al test de igualdad de medias (figura 8).

La conclusión final tras el análisis del experimento es que el modo de comportamiento *PULL* es más eficaz en resultados y más eficiente en consumo de medios para implantar el Sistema Dos de un sistema de producción que el modo de comportamiento *PUSH*.

Error experimental. Al utilizar métodos estadísticos para analizar experimentos estamos expuestos a dos clases de errores. El error de primera especie, conocido como el error del productor, que consiste en rechazar la hipótesis nula cuando en realidad ésta es verdadera y el error de segunda especie o error del consumidor, que consiste en fallar en rechazar la hipótesis nula cuando ésta es falsa. Por ello, vamos a complementar el análisis estadístico con el estudio del POWER AND SAMPLE SIZE (Thompson/Koronacki, 2002).

En nuestro caso, una muestra de tamaño 100 en cada nivel de la variable categórica X (modo *PULL*, modo *PUSH*), ha resultado con un *POWER* superior al 80%, que es el umbral típicamente marcado como deseable para protegerse adecuadamente contra el error experimental (figura 9).

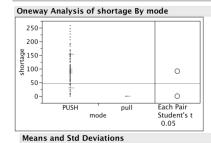
#### **CONCLUSIONES** ¥

Para acercarnos al estudio de una organización, es necesario tener en cuenta múltiples propiedades independientemente de la perspectiva desde la que se visualice, bien sea una perspectiva jerárquica o una perspectiva basada en procesos. En cualquiera de los dos casos, prevalece un enfoque reduccionista que conduce a ignorar la existencia de determinadas propiedades de entre las anteriormente señaladas. Se trata de aquellas propiedades que la organización tiene como sistema.

Esta situación conduce a que las organizaciones tengan dificultades serias para progresar a niveles más altos de madurez y por lo tanto, mantenerse en el mercado. Un estudio de campo interesante sería caracterizar la distribución de los niveles de madurez de las organizaciones que desaparecen y contrastarlo con los de las organizaciones cuya supervivencia es marcadamente longeva.

Para incrementar el nivel de madurez de las organizaciones y como consecuencia aumentar su sostenibilidad en el mercado, proponemos un cambio estructural y de comportamiento en las organizaciones, de ma-

# FIGURA 8 TEST DE IGUALDAD DE MEDIAS



<b>Level</b> PUSH	Numb		<b>M</b> 91.4	ean		<b>Dev</b>	1	d Err Mean 2176		<b>er 95%</b> 79.073	Upj	per 95
pull	_	00		000		0000		0000		0.000		0.0
t Test												
pull-PU:	SH											
Assumir	ng unec	ual va	riand	ces						Λ		
Differer	ice	-9	1.41	t Ratio	)	-14	.7019	9		//\		
Std Err	Dif		6.22	DF			99	9		//\		
Upper C	L Dif	-7	9.07	Prob >	- Itl	<.(	0001			/   \		
Lower C				Prob >			0000			-/   \-	_	— I
Confide				Prob <			0001	-100	-50	Ó	50	100
Means	Comp	ariso	ons									
Com	pariso	ns fo	r ea	ch pa	ir u	sing S	Stude	ent's	t			
	t	Α	lpha									
1.9	7202		0.05									
Abs(D	if)-LSD											

PUSH -12.261 79.149
pull 79.149 -12.261

Positive values show pairs of means that are significantly different.

FUENTE: Elaboración propia.

PUSH

nera que el enfoque reduccionista se transforme en un enfoque sistémico adecuado para tratar la complejidad dinámica implícita en una organización. Respecto al cambio estructural, proponemos la utilización de la Cibernética Organizacional y particularmente el Modelo de Sistemas Viables. Respecto al cambio de comportamiento, proponemos la utilización del paradigma Lean Manufacturing.

De esta manera, el Modelo de Sistemas Viables nos indicará qué componentes estructurales deben existir y cómo deben estar conectados para que una organización sea viable (sostenible), mientras que el paradigma Lean Manufacturing nos indicará qué modos de comportamiento deben aparecer y cómo pueden ser implantados dentro de una organización para que ésta sea viable (sostenible). Resaltamos una vez más, que ambos se basan en un enfoque sistémico en contraposición al enfoque reduccionista.

Con el objetivo de plasmar esta propuesta, detallamos en primer lugar la implantación, en una organización manufacturera, del paradigma de comportamiento *Lean* 

## FIGURA 9 ESTUDIO POWER AND SAMPLE SIZE

Power Details								
Te	st mode							
	Power							
	α	σ	δ	Number	Power	AdjPower	LowerCL	UpperCL
	0.0500	172.5749	182.365	100	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

FUENTE: Elaboración propia.

Manufacturing, tomando como referencia estructural el Modelo de Sistemas Viables. En segundo lugar, validamos dicha implantación mediante el desarrollo y posterior experimentación de un modelo de simulación discreta que representa el comportamiento del Sistema Dos de una línea de producción genérica. Esta simulación nos permite comparar el rendimiento del sistema cuando adopta un comportamiento PULL con el rendimiento del sistema cuando adopta un comportamiento PUSH. La comparación nos permite confirmar, en cierta medida, la hipótesis de partida: «una aproximación holística a los sistemas de producción, aumenta la sostenibilidad en el mercado de dichos sistemas».

El experimento arroia resultados concluventes, lo que refuerza la evidencia obtenida en la implantación en casos reales que respaldan la superioridad del enfoque holística. Lo que pretendemos mostrar en este trabajo, es que además de visitar talleres y contrastar la diferencia mediante la observación de casos reales, podemos modelar escenarios en un entorno de simulación y experimentarlos para ganar una perspectiva sobre las ventajas e inconvenientes de un modo cuantificado. De esta manera, ganar consenso con las personas clave para el despliegue de una iniciativa es más simple, como siempre ocurre cuando aplicamos el método científico en la forma de llevar los negocios. Consideramos, por tanto, que el trabajo presenta una pequeña aportación en la línea de convertir una organización manufacturera en un sistema viable (sostenible).

En cualquier caso, la simplificación del modelo implica la relativa prudencia con la que deben interpretarse las conclusiones del estudio. Para ser consistentes con ese principio de prudencia, planteamos como futuros trabajos la extensión del modelo de simulación discreta, de forma que queden plasmados los cinco subsistemas definidos por el Modelo de Sistemas Viable. Un paso más en favor de la formalización de nuestra propuesta, conduciría a la validación empírica de la misma, es decir, sería necesaria la implantación de la estructura (Modelo de Sistemas Viables) y del comportamiento (Lean Manufacturing) en una muestra significativa de organizaciones y la comparación de su rendimiento antes y después de dicha implantación. Todo ello con la idea de reunir más evidencias acerca de que la aproximación holística en los sistemas de producción aumenta la sostenibilidad en el mercado de dichos sistemas.

Además de las propuestas ya comentadas a lo largo del texto, en futuros trabajos intentaremos profundizar en el diseño de cada uno de los cinco subsistemas propuestos por Beer dentro del ámbito manufacturero, así como en sus interacciones a través de los canales homeostáticos (figura 1). De esta manera, buscaremos acercarnos a la regulación permanente entre el estado del entorno y el de la propia organización, alcanzando así, un elevado nivel de madurez y un estado adecuado de sostenibilidad en las organizaciones manufactureras. Una consecuencia de esta profundización, será la disponibilidad de una referencia detallada para el diagnóstico o el diseño de una organización manufacturera con marcadas características de viabilidad, que pudiera ser extensible a organizaciones de cualquier otro ámbito.

Finalizamos remarcando la pretensión de este primer trabajo, en el cual hemos buscado las conexiones clave entre los planteamientos de gestión y su efecto sobre la sostenibilidad de las organizaciones. Posteriores trabajos incidirán en el objetivo de ir aportando detalles sobre instrumentos de diagnóstico de las organizaciones. Los brillantes resultados que se van acumulando en la industria con la aplicación de Lean Manufacturing sugieren un alto valor descriptivo y prescriptivo del enfoque sistémico para la sostenibilidad de cualquier organización manufacturera.

Las respuestas correctas son simplemente un *must* be (algo obligado). Pero el impulso de una línea de investigación lo marcan las «preguntas pertinentes». En estos futuros trabajos que planteamos, nos inquietan preguntas como por ejemplo: ¿cuánto stock necesita *PUSH* para llegar a un nivel de faltante casi nulo como el que ahora tiene *PULL*? ¿a qué factores son más sensibles estas condiciones? ¿qué condiciones y bajo cuánto periodo de exposición a la amenaza harán que *PULL* tenga algún faltante? Naturalmente, al ampliar el alcance a todos los subsistemas y no sólo limitarnos al Sistema Dos, el repertorio de preguntas es abrumador.

#### **NOTAS**\*

- [1] Para obtener el modelo completo, ponerse en contacto con los autores.
- [2] Por ejemplo, llega el cliente para pieza B y pide 200 piezas. Si hay stock disponible se le sirven las 200 piezas de producto acabado, en caso contrario, si no hay suficiente stock, se le sirve lo máximo que se pueda.
- [3]  $pa_mode = 1 (PULL); pa_mode = 2 (PUSH)$
- [4] http://www.jmp.com/

## BIBLIOGRAFÍA ¥

BEER, S. (1979): The Heart of Enterprise. John Wiley & Sons. BEER, S. (1981): Brain of the Firm. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons. BEER, S. (1985): Diagnosing the System for Organizations. John

BICHENO, J. (2002): The Quality 75. PICSIE Books.

BOX, G.; HUNTER, W. y HUNTER, J. (1978): Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building. John Wiley & Sons, Incs.

GEORGE, M.L. (2005). *T*he Lean Six Sigma Pocket Toolbook. McGraw-Hill.

KELTON, D.; Sadowski, R. y STURROCK, D. (2004). Simulation with ARENA.  $3^{\rm th}$  edition. McGraw-Hill.

KOONTZ, H.; O'DONNEL, C. y WEIHRICH, H. (1990): Essentials of Management. McGraw-Hill.

LIKER, J.K. y MEIER, D. (2006): The Toyota Way Fieldbook. McGraw-Hill.

PÉREZ RÍOS, J.M. (2001): Laudatio de Stafford Beer. Investidura de Stafford Beer como «Doctor Honoris Causa» por la Universidad de Valladolid. Universidad de Valladolid.

PRIES, K.H. (2005): Six Sigma for the Next Millennium – A CSSBB Guidebook. American Society for Quality (ASQ), Quality Press.

ROTHER, M. y SHOOK, J. (2003): Learning to See. The Lean Enterorise Institute.

SCHWANINGER, M. (2001). Intelligent Organizations: An Integrative Framework. *Systems Research and Behavioral Science*, vol 18, pp. 137-158.

TAGUCH, G.; CHOWDHURY, S. y WU, Y. (2005): Taguchi's Quality Engineering Handbook. John Wiley & Sons Inc.

THOMPSON J. y KORONACKI J. (2002): Statistical Process Control: The Deming Paradigm and Beyond. Second Edition. Chapman and Hall/CRC.

VON BERTALANFFY, L. (1968): General Systems Theory: Foundations, Development, Applications. George Braziller.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. y ROOS, D. ( $\bar{1}$  990): The Machine that Changed the World. Rawson Associates.