

LA PRODUCCIÓN *JUST IN TIME*

Libro 100. zDoc Trabajo.04.Just in Time
Esteban Fernández Sánchez
Borrador actualizado: Septiembre 2018

1. INTRODUCCIÓN
2. ELIMINACIÓN DEL DESPILFARRO
3. PRODUCCIÓN SIN STOCKS
4. FABRICACIÓN EN PEQUEÑOS LOTES
5. REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CAMBIO DE ÚTILES
6. ASEGURAR LA CALIDAD
7. SUBCONTRATACIÓN AVANZADA
8. KANBAN

1. INTRODUCCIÓN

El *just in time* (JIT, sistema de producción Toyota, producción sin existencias o producción ajustada) comienza a implantarse en los años sesenta¹ en la fábrica de Toyota en Japón y surge de la necesidad de fabricar diferentes modelos de automóviles, en pequeñas cantidades y con el mismo proceso de producción (Ohno, 1988). Este sistema productivo fue copiado por otros fabricantes japoneses durante la década de los setenta.

La producción *just in time* se caracteriza, al igual que la producción en masa, por satisfacer la demanda de los mercados de masas si bien, en lugar de fabricar grandes lotes de una gama reducida de modelos, fabrica pequeños lotes de una gran variedad de productos. La producción en masa sólo es eficaz para mercados de rápido crecimiento. Por contra, la fabricación en pequeños lotes es muy eficaz para mercados estancados o de lento crecimiento con clientes exigentes en cuanto a niveles de calidad y plazos de entrega que, además, en muchos casos, demandan productos personalizados (Ohno, 1988).

La producción *just in time* trata de combinar la capacidad del artesano para elaborar productos adaptados a los gustos del cliente con la economía de una línea de montaje, es decir, persigue, no sólo reducir drásticamente los costes de producción, sino también obtener la flexibilidad suficiente para fabricar con elevada calidad un gran número de modelos diferentes. Para conseguir todo esto, la organización de la producción se apoya en una serie de capacidades desarrolladas gracias a la implementación de ciertas prácticas: 1) eliminación del despilfarro; 2) producción sin stocks; 3) fabricación en pequeños lotes; 4) reducción del tiempo de cambio de útiles; 5) asegurar la calidad; 6) subcontratación avanzada, y 7) sistema *kanban* (figura 1).

¹ La producción *just in time* es el resultado de un esfuerzo evolutivo para mejorar el proceso productivo en cuyo desarrollo Toyota empleó veinte años, si bien puede ser imitado en diez años (Ohno, 1988).

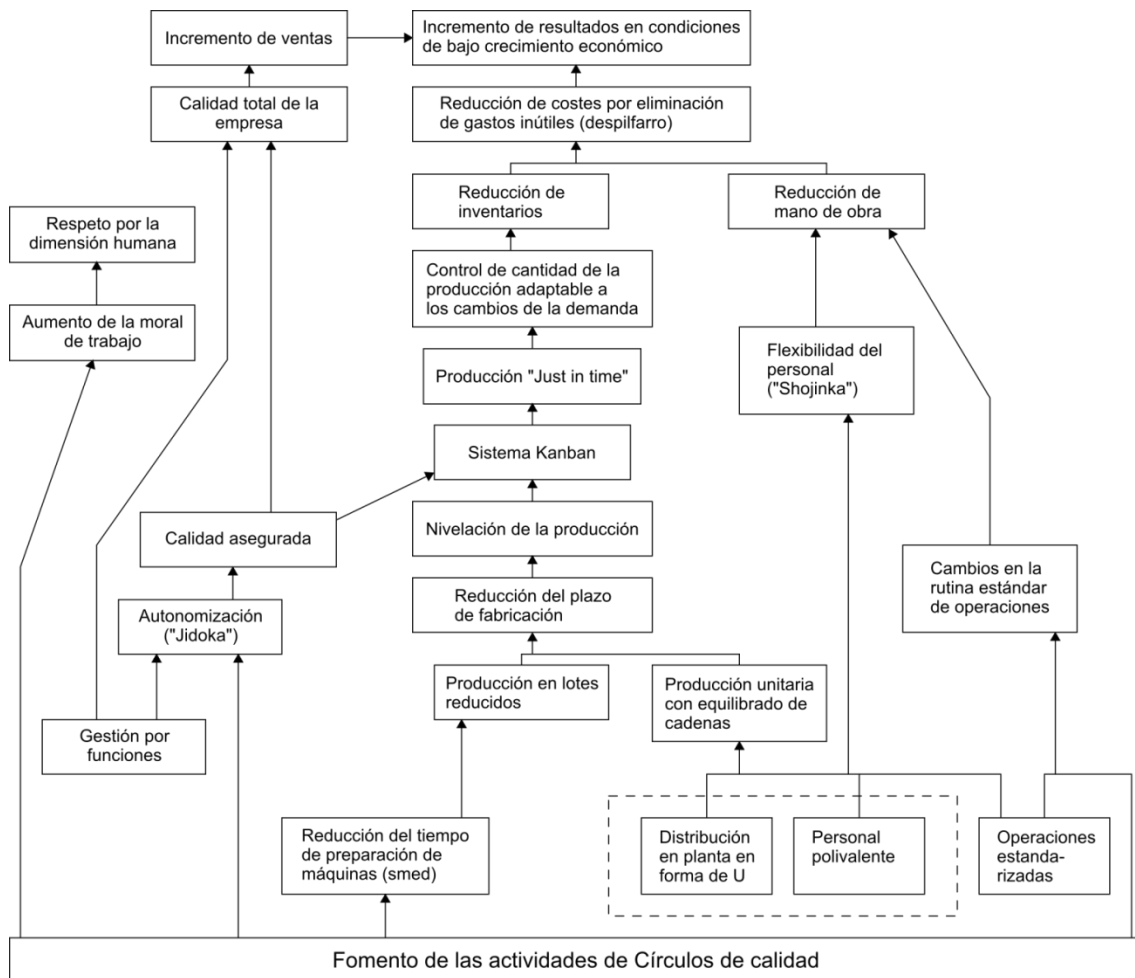


Figura 1: Características de un sistema de producción just in time (Monden, 1983)

2. ELIMINACIÓN DEL DESPILFARRO

El objetivo del *just in time* es eliminar el desperdicio: aquello que incrementa los costes sin añadir valor al producto (Ohno, 1988). El desperdicio es todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del trabajador, que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto, y se puede dividir en ocho categorías: desperdicio por exceso de producción, desperdicio por tiempo de espera, desperdicio por transporte, desperdicio por proceso, desperdicio por existencias, desperdicio de movimiento, desperdicio por mala calidad del producto y desperdicio por creatividad no utilizada (Liker, 2010; Suzuki, 1987).

El desperdicio por *exceso de producción* se refiere a las cantidades producidas que, por una razón u otra, son mayores que el total necesario para cubrir los pedidos. Se distinguen dos tipos de sobreproducción: cuantitativa –fabricar más productos de los que se necesitan– y anticipada –fabricar productos antes de que se necesiten–.

El desperdicio por *exceso de espera* se produce mientras un lote de artículos espera turno para ser transformado. Por definición, agrupar en lotes de gran tamaño significa plazos de espera más largos, puesto que el trabajo de un pedido no puede empezar hasta que se acumula un número suficiente de piezas o trabajos de otros pedidos para formar el lote adecuado.

El despilfarro por *transporte* surge como consecuencia de la distribución funcional de las máquinas y del almacenamiento centralizado de todo tipo de stocks. Los beneficios marginales de automatizar la manipulación de materiales, con frecuencia, no se justifican por los costes marginales correspondientes, excepto cuando las piezas son tan grandes o pesadas que requieren un sistema mecánico. Además, la automatización de la manipulación de materiales reduce la flexibilidad del transporte interno entre células o secciones de trabajo.

El despilfarro de *proceso* acontece cuando las máquinas no están convenientemente preparadas o se les ha aplicado un mantenimiento inadecuado, lo que provoca abundantes averías. En lugar de intentar hacer más fiables las máquinas para limitar el riesgo de las averías, una práctica habitual es la de fabricar un número de piezas mayor del necesario durante los períodos de buen funcionamiento. Posteriormente, hay que almacenar tales piezas hasta que se necesiten para amortiguar los efectos de la avería.

El despilfarro por *existencias* se considera la raíz de todos los males. Almacenar objetos innecesarios ocupa espacio, genera costes de administración y transporte y crea confusión al no distinguir entre objetos importantes y no importantes.

El despilfarro de *movimiento* se presenta de diversas maneras: contar cosas, mover cajas, transportar artículos, cambiar cosas de sitio y manejar materiales. En este sentido, debemos tener siempre presente que ‘mover’ no necesariamente equivale a ‘trabajar’. Un trabajador puede permanecer ‘ocupado’ durante tres horas buscando herramientas por toda la fábrica, sin añadir nada de valor al producto. Por el contrario, ha incrementado el coste de un producto en las tres horas de su salario, además de tres horas de retraso en la producción, antes de entregar el producto al cliente. Recoger y colocar es otro ejemplo de movimientos que pueden reducirse, almacenando las piezas o las herramientas más cerca del lugar donde se utilizan –o incluso eliminarse, empleando rampas y otros equipos–. La descentralización de las piezas y de las herramientas, no sólo reduce los movimientos, sino que permite tener un mejor control del stock de seguridad.

El despilfarro por *mala calidad* de los productos surge cuando, en lugar de intentar evitar los defectos, se fabrican cantidades de piezas superiores a las normales. Los defectos originan una extensa reelaboración, que causa posteriores demoras y perturba la programación de los nuevos pedidos. Además, la clasificación de las piezas, separando las correctas y las incorrectas, también requiere mano de obra adicional. Existe una pérdida de material y de valor del trabajo que ya se había añadido a las piezas.

El despilfarro por *creatividad no utilizada* se refiere a que se pierde tiempo, ideas, aptitudes y mejoras, y se desperdician oportunidades de aprendizaje por no motivar o escuchar a los empleados.

La dificultad para eliminar desperdicios consiste en que la mayoría de las empresas no han encaminado sus esfuerzos hacia el descubrimiento y eliminación de los mismos. No obstante, si aplicasen un esfuerzo más consciente, todas estarían capacitadas para llevar a cabo esta tarea. En definitiva, se afirma que el 90 por ciento de las mejoras procede del sentido común. La mayoría de las mejoras parecen algo muy básico, como lo demuestra que la gente se pregunte por qué no se le había ocurrido antes. Con objeto de adquirir estas

capacidades, sin embargo, convendrá disponer de ciertos criterios de mejora, para no tener que volver a inventar la rueda (Suzaki, 1987).

3. PRODUCCIÓN SIN STOCKS

El *just in time* también se denomina producción sin stocks, ya que suprime el ‘colchón’ de seguridad que suponen las existencias. En occidente las existencias se consideran un problema en sí mismo, de ahí que se hayan desarrollado modelos matemáticos con objeto de optimizar el nivel de stocks. El *just in time* considera las existencias como la consecuencia de una serie de problemas que representan las verdaderas causas. Es decir, las existencias ocultan problemas tales como el elevado tiempo de preparación de las máquinas, la mala calidad de los productos, la alta tasa de averías de las máquinas y el absentismo, entre otros. Si reducimos el nivel de existencias, estos problemas saldrán a flote; de esta forma la dirección será consciente de su existencia y tendrá la obligación de resolverlos. Los japoneses representan las existencias como una corriente de agua. En el fondo del río están las rocas, que simbolizan los problemas y, a flote, un barco que representa la fábrica (figura 2). El enfoque tradicional mantiene el nivel del agua lo suficientemente elevado para cubrir las rocas, y de esta manera conservar navegable el río. El enfoque *just in time* disminuye el caudal para dejar visible la parte superior de las rocas y así poder pulverizarlas, es decir, resolver los problemas visibles. Posteriormente se disminuye nuevamente el nivel del agua para dejar al descubierto más rocas. Este proceso se repite hasta que todas las rocas se hacen añicos y la corriente de agua fluye con suavidad en el nivel más bajo posible. La mejora de los procesos es continua y a lo largo de toda la vida de la empresa. Para que haya mejora, los problemas deben eliminarse, y para eliminarlos, los problemas deben estar visibles, no ocultos.

No debe extraerse como conclusión de lo analizado que las empresas que aplican los principios de la producción *just in time* respecto a los materiales vayan a funcionar con un nivel de inventarios cero, sino que siempre será necesario cierto nivel de inventarios para hacer frente a las oscilaciones cotidianas que pueden aparecer en la demanda. Ha de notarse que no sería posible que el barco navegase sin algo de agua. Sólo se podría funcionar sin inventarios si existiese certeza absoluta acerca de la demanda futura, pero el entorno empresarial actual no es totalmente predecible, ni mucho menos.

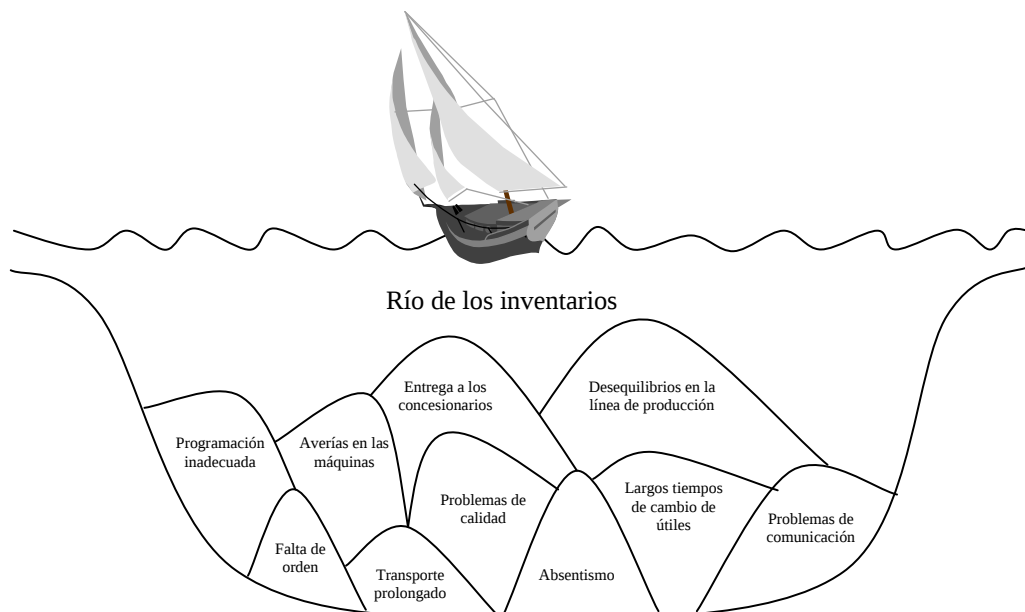


Figura 2: Río de los inventarios

4. FABRICACIÓN EN PEQUEÑOS LOTES

La producción en masa se caracteriza por fabricar grandes lotes de un producto homogéneo para atender la demanda prevista durante un período de tiempo bastante largo. Para ello, se adquieren en el mercado bienes de equipo de uso específico (o supermáquinas), muy costosos, pero muy rápidos, que se mantienen continuamente funcionando para lograr una tasa elevada de tiempo de ocupación de la máquina.

La razón de producir en grandes lotes se debe a los enormes costes de preparación de las supermáquinas. Estas máquinas, en principio, se pueden utilizar en la fabricación de diversos componentes que, posteriormente, se utilizan en el ensamblado de diferentes artículos. Ahora bien, conlleva tiempo y consume recursos la preparación de la supermáquina para pasar de fabricar un componente a otro. De ahí que se puedan calificar como 'de uso específico'. En consecuencia, la empresa trata de minimizar el número de preparaciones de máquina y, por eso, fabrica grandes lotes de cada vez. El objetivo es repartir el coste de preparación, que es muy elevado, entre el mayor número posible de unidades producidas. Si tenemos en cuenta sólo la capacidad de la máquina, la utilización de grandes supermáquinas puede considerarse una mejora. Sin embargo, el impacto global sobre la producción es muy distinto. Las existencias se acumularán por delante y por detrás de la máquina, exigiendo un excesivo espacio de almacenamiento, y generando, en consecuencia, costes.

La producción en grandes lotes presenta una serie de ventajas, que la hacen atractiva para los directores de fábricas, y que justifican su existencia, entre las que destacan las siguientes (Shingo, 1985):

1. Al repartir el coste de preparación de la máquina entre un mayor número de unidades de producto, el coste medio se reduce.
2. Las existencias permiten nivelar la carga de trabajo cuando las estaciones de trabajo tienen diferente ritmo de producción.
3. Las existencias sirven de 'colchón', amortiguando problemas cuando aparecen

defectos, las máquinas se averían o surgen imprevistos, como una huelga de los trabajadores o de transporte.

4. Las existencias pueden usarse para responder ante pedidos urgentes de los clientes.

La producción en grandes lotes para responder a los grandes pedidos resulta eficiente, pero, de hecho, la mayor parte de la producción en grandes lotes resulta de dar respuesta a una combinación de pedidos repetidos de pequeños volúmenes de productos, que hacen crecer en exceso la producción anticipada. Es decir, se produce en el momento actual para atender demandas futuras. De esta forma, las consiguientes existencias de productos terminados se consideran, a menudo, un mal necesario, puesto que hay ventajas asociadas a ellas. Sin embargo, no debe olvidarse que, independientemente de lo necesarias que las existencias puedan parecer, un mal es siempre un mal. En concreto, este tipo de producción en grandes lotes acarrea una serie de desventajas, que ocasionan un incremento de los costes, entre las que destacan las siguientes (Shingo, 1985; Suzaki, 1987):

- Las tasas de rotación de capital caen, aumentando, así, los costes financieros.
- El almacenamiento de existencias, por sí mismo, no añade valor al producto, con lo cual el espacio físico que ocupan los inventarios se desperdicia en su totalidad porque no es posible obtener ningún rendimiento mediante su uso.
- El almacenamiento de existencias requiere la instalación de estantes, *pallets* y otros activos, todo lo cual aumenta los costes. Cuando los inventarios se incrementan a niveles elevados, algunas empresas tienden a automatizar tanto el almacenamiento como la entrada y recogida de productos, con los costes que esto ocasiona.
- El transporte y almacenamiento de inventarios requiere horas-hombre de manipulación y, además, los productos pueden deteriorarse al manipularlos.
- Los grandes lotes suponen plazos de ejecución mayores, lo que puede retrasar los nuevos pedidos, no cumpliéndose los plazos de entrega. También desembocan en grandes inventarios de productos en curso.
- Los inventarios deben eliminarse cada vez que tenga lugar un cambio de modelo, ya sea vendiéndolos con descuento o desechándolos.
- La calidad de las existencias se deteriora a lo largo del tiempo. Además, a medida que los inventarios van envejeciendo, su valor disminuye por obsolescencia.
- La planificación será difícil debido al prolongado tiempo de producción.
- Se incrementa el transporte interno, al tener que desplazar los materiales y componentes desde las diferentes áreas de actividad hasta la supermáquina.
- La inspección de calidad se realiza una vez fabricado el lote y, si éste es defectuoso, el número de artículos con mala calidad será elevado. Además, se tarda más tiempo en detectar la mala calidad: hay que esperar a que el lote esté terminado para realizar la inspección.

En definitiva, la fabricación en grandes lotes supone la aparición de cantidades importantes de inventarios, que deben gestionarse de la manera más eficiente posible. Toyota en vez de una cadena rígida de montaje, microtarefas y puestos de trabajo fijos organiza la producción en células de trabajo de equipos autodirigidos, que despliegan un flujo secuencial en forma de U de las tareas a realizar, con máquinas de uso general y trabajadores polivalentes, para fabricar una variedad de productos en pequeños lotes (figura 3). Los catálogos de productos cambian, luego las distribuciones por flujo de productos deben ser susceptibles de fácil modificación. La política de inversiones en

equipos debe orientarse hacia máquinas de uso general, que son fáciles de desplazar y de reinstalar.

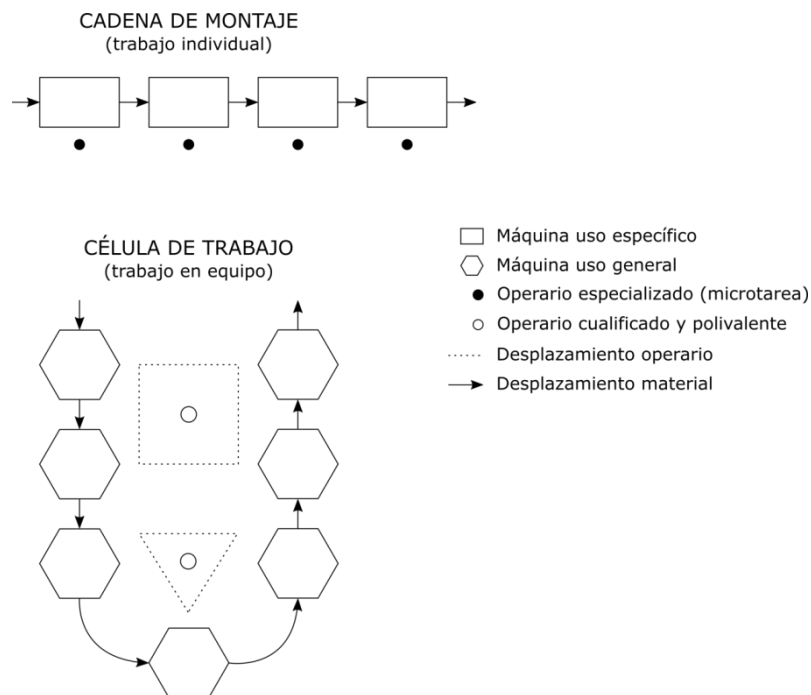


Figura 3: Cadena de montaje versus célula de trabajo

Máquinas de uso general. En lugar de comprar una única máquina cara y rápida, que pueda ser compartida por diferentes líneas de productos, una empresa debe diseñar y construir sus propias máquinas baratas con características operativas concretas. Estas máquinas deben ser de uso general, de forma que, con simples modificaciones, puedan usarse para fabricar una gran variedad de productos (Shingo, 1989). La compra de máquinas se realiza cuando se necesitan los conocimientos expertos y avanzados que oferta la industria de máquinas herramienta.

La empresa debería diseñar y fabricar sus máquinas, siempre que sea posible, por las siguientes razones: 1) se pueden hacer máquinas de pequeña capacidad y añadir más a medida que se necesiten, 2) se puede diseñar la máquina teniendo en cuenta las necesidades particulares de la empresa y, quizás, mantener más bajos los costes, 3) los conocimientos así acumulados permiten mejorar constantemente los equipos y hacerlos más seguros y 4) los competidores no tienen acceso a estos conocimientos especializados de las máquinas que, por otra parte, pueden suponer una ventaja competitiva para la empresa. Dicho de otra forma, las tecnologías que soportan las máquinas que se ofrecen a través de catálogo están en el mercado a disposición de todos los competidores, por lo que no son fuente de ventajas competitivas.

A su vez, las máquinas poco costosas –fabricadas o compradas– se amortizan en un breve período de tiempo. Una vez que una máquina o un equipo están amortizados, esencialmente están libres de costes fijos. De esta forma, no se producen tantas presiones para fabricar lo que sea (cuando no haga falta) con tal de mantener la máquina ocupada (Schonberger, 1986) y, así, cargar la amortización entre un mayor número de productos. Por ello, no existe sobrecarga alguna en los equipos de producción. Incluso, con frecuencia, las máquinas funcionan a ritmos inferiores a sus posibilidades de

diseño. Este planteamiento reduce la posibilidad de atascos y averías, evita que se presione a los trabajadores, elimina los errores de calidad que pudieran deberse al apresuramiento y retrasa el desgaste de piezas y troqueles. Esto hace que los equipos de los fabricantes japoneses, aunque similares a los de los fabricantes americanos, duren dos o tres veces más (Hayes, 1981).

La utilización de equipo menos costoso puede compensar una reducida utilización del equipo y, además, permite disponer de capacidad para hacer frente a las contingencias (Huge y Anderson, 1988). El coste por hora de un trabajador es generalmente mayor que el coste por hora de una máquina. Así, desde el punto de vista de reducción de costes, una máquina sin trabajar es preferible a un trabajador parado (Shingo, 1989).

Trabajadores polivalentes. En 1947, a Ohno se le ocurrió la idea de asignar a un operario varias máquinas de diferentes tipos. La producción JIT contrata y forma operarios polivalentes, que pueden desempeñar varias tareas elementales, además de controlar la calidad de las piezas que fabrican y llevar a cabo las tareas relacionadas con el mantenimiento de las máquinas y la limpieza del lugar de trabajo. Para ello, cada trabajador recibe información y formación para solventar los pequeños problemas que, con frecuencia, se presentan en el curso de la jornada y buscar continuamente formas y modos de eliminar las potenciales interrupciones y mejorar la eficiencia del área de trabajo (Hayes, 1981). El trabajador es el activo más importante y más costoso de la empresa y debe estar permanentemente ocupado en tareas operativas. Además, es el que permite el mayor grado de flexibilidad en la fábrica (Huge y Anderson, 1988).

Diseño de tareas en U. La producción en flujo secuencial en forma de U minimiza el transporte interno, al estar colocadas las máquinas unas a continuación de otras y en el orden lógico de realización de las actividades productivas. El trabajador mueve el material automáticamente como una parte de la tarea.

Mediante un flujo secuencial, los materiales se desplazan con arreglo a la secuencia de las tareas y no existe confusión acerca de cuál es la tarea que viene a continuación, o cuándo o dónde hay que trasladar el material transformado. Las máquinas y trabajadores que realizan las tareas están próximos entre sí, y la distancia que tiene que recorrer el material para completar la secuencia total de producción es pequeña. En general, este tipo de distribución ahorra espacio (figura 4).

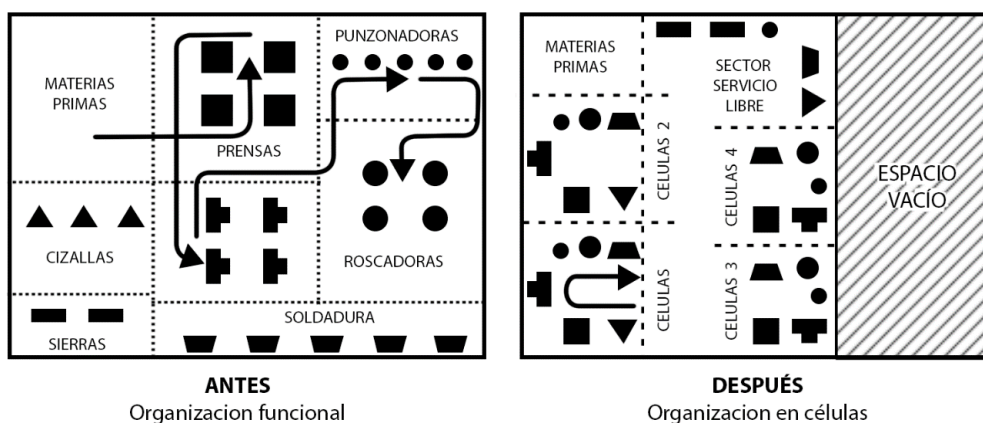


Figura 4: Distribución funcional versus celular (Beranger, 1988)

Ahora bien, aunque las piezas mecanizadas en la célula en forma de U deben entrar por un brazo y salir por el otro, los trabajos del operario no tienen que ser necesariamente secuenciales. Esto haría perder tiempo en el desplazamiento y exigiría espacio en el centro de la célula para dos operarios, ‘espalda con espalda’. Para ello cada trabajador debe llevar a cabo actividades que están a su frente y a su espalda. Los operarios se asignan a una célula de trabajo, y no a una actividad en particular.

Cada operario debe desarrollar varias tareas y dominar el uso de múltiples máquinas. De esta forma, el sistema de producción responderá mucho mejor a los cambios de volumen o en la combinación de productos. Respecto a los cambios de volumen, si el programa de producción se reduce a la mitad para una célula dotada de seis empleados, tres de ellos deben pasar a otro trabajo; los tres restantes realizarán el doble de tareas – no de trabajo– que realizaban antes (Schonberger, 1986). Las formas en U o serpentin son fáciles de ajustar para diferentes volúmenes de producción, aumentando o disminuyendo el número de trabajadores asignados. Es muy común que, conforme se esté preparando un producto para su lanzamiento, se comience con una pequeña célula, que incluya equipos menos costosos y complejos, y que, conforme se incremente la demanda, la célula se replique (Huge y Anderson, 1988).

Aunque la responsabilidad de cada trabajador no se especifica con detalle, las células tienen un programa de producción muy estricto, que debe cumplirse diariamente. La responsabilidad del trabajo es de toda la célula, es decir, del equipo de trabajadores que realizan las tareas en la misma. También planifican y controlan las actividades que la dirección asigna a la célula. Este diseño además de añadir flexibilidad al proceso disminuye la pirámide organizativa, como se comprueba al comparar los cinco niveles jerárquicos de Toyota con los trece de General Motors.

Un buen diseño de células, no sólo incluye la organización de las máquinas, también conlleva almacenes descentralizados de materiales, piezas y herramientas para cada célula o grupo de células. Las ventajas de tener un almacén descentralizado son las siguientes: 1) aumenta la responsabilidad sobre el inventario para evitar faltas inesperadas y 2) reduce los costes de transporte relacionados con la recepción y el almacenamiento de materiales. Dado que estos dos costes no añaden valor al producto, se deben eliminar o, por lo menos, reducir al mínimo (Harmon y Peterson, 1990).

La organización en células de trabajo hace posible volver a los sencillos y económicos métodos de gestión de los materiales de la fábrica pequeña: en cuanto eran recibidos los materiales y componentes, se transportaban y almacenaban cerca del proceso en el que se utilizaban. Así, los operarios y montadores tenían los materiales a mano, podían ver todos los materiales utilizados, controlar su disponibilidad y avisar de antemano sobre posibles carencias. Con la fábrica grande se introdujo una función de almacén de materiales, por lo que se perdieron las ventajas de la descentralización.

De forma similar a los materiales y componentes, se debe proceder a la descentralización de las herramientas, planteamiento que fue ideado por Henry Ford: cuando se necesitan útiles, hay que obtenerlos inmediatamente. Es fácil de imaginar lo ineficaz que sería que un operario se detuviera después de montar cada unidad, devolviera las herramientas que usaba al almacén y volviera a recogerlas para montar la siguiente unidad. Las herramientas para el cambio de máquinas deben constituir una

parte integrante de la instalación de montaje. Más aún, deben situarse lo más próximas posible a sus puntos de utilización para minimizar el tiempo y los movimientos perdidos (Harmon y Peterson, 1990). Además, en la medida en que los operarios realizan algunas de las tareas de mantenimiento, también deberían estar descentralizadas determinadas piezas de repuesto.

Estandarización de operaciones. La estandarización de las operaciones es una herramienta para lograr el máximo rendimiento con el mínimo desperdicio. Requiere actuar sobre tres factores: duración del ciclo, alta calidad en cada centro de trabajo y equilibrado de la línea.

El ciclo de producción de un centro de trabajo es el inverso de la cantidad que se va a producir multiplicado por el tiempo operativo disponible al día.

$$\text{Ciclo de producción} = \frac{\text{Tiempo operativo disponible diario}}{\text{Cantidad diaria a producir}}$$

El hecho de que la cantidad que se prevé producir figure en el denominador de la fracción significa que el ciclo de producción del centro de trabajo ha de poder variar si lo hace la demanda del cliente, es decir, del centro de trabajo siguiente. En el *just in time* se pueden añadir o quitar trabajadores en una célula de trabajo según se necesite aumentar o disminuir el ritmo de producción de la célula. Se trata, en suma, de tener ocupado al trabajador.

Mantener los materiales en flujo secuencial constante a través de un proceso de producción totalmente integrado significa, sin duda, que se debe tener en reserva una cierta capacidad de producción y que las piezas fabricadas han de estar libres de defectos (Nakane y Hall, 1983). Ahora bien, sólo si se lleva a cabo un correcto mantenimiento de las máquinas y se busca la calidad en el origen, la fábrica producirá el resultado deseado. Finalmente, la coordinación de operaciones diferentes –o equilibrado de línea– en una fábrica constituye la clave de un rendimiento correctamente integrado (Suzaki, 1987). Si las operaciones no están equilibradas, tiende a constituirse inventario alrededor de las operaciones más rápidas. No es bueno, por lo tanto, hacer nada más rápido que la operación más lenta del conjunto del proceso. Cuando la producción se nivela y se establece una duración del ciclo, se comienza a establecer una disciplina en toda la fábrica.

5. REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CAMBIO DE ÚTILES

La combinación de productos se consigue fabricando en pequeños lotes, lo que requiere acortar los tiempos de preparación de las máquinas, actividad en la que se está permanentemente innovando. El tiempo de preparación de las máquinas se puede reducir con la ayuda del sistema ‘Cambios de Útiles en Minutos de un Sólo Dígito’ (*Single Minute Exchange of Die*, SMED), desarrollado por Shingo (1989), que constituye uno de los pilares básicos del sistema de producción Toyota. En la década de los cuarenta, los cambios de troqueles en Toyota se realizaban en dos o tres horas. A finales de los sesenta, se rebajó a sólo tres minutos (Ohno, 1988). Al disminuir los tiempos de preparación de las máquinas, desaparecen las ventajas de fabricar grandes lotes para

cargar los costes de preparación a un número elevado de artículos. Por tanto, se puede mezclar la fabricación de diferentes productos.

Tiempo de preparación	Tamaño del lote	Tiempo de operación por pieza	Tiempo de operación total por pieza
4 horas	100	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{100} = 3,4 \text{ min.}$
4 horas	10.000	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{10.000} = 1,024 \text{ min.}$
4 minutos	100	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{100} = 1,04 \text{ min.}$
4 minutos	10.000	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{10.000} = 1,0004 \text{ min.}$
4 minutos	2	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{2} = 3 \text{ min.}$

Figura 5: Relación entre tiempo de preparación de las máquinas y tamaño del lote

En la figura 5 se aprecia que, para un tiempo de preparación de 4 horas, el tiempo total de operación cuando se fabrican lotes de 10.000 unidades disminuye un 70 por ciento respecto a la fabricación de lotes de 100 unidades. Sin embargo, si el tiempo de preparación fuera de 4 minutos, la reducción no alcanza el 4 por ciento. Además, para un tiempo de preparación de 4 minutos, la fabricación de lotes de 2 unidades presenta un tiempo de operación total por pieza ligeramente inferior a lotes de 100 unidades cuando el tiempo de preparación es de 4 horas.

Los lotes de producción grandes fomentan la previsión de la demanda para períodos de tiempos largos, ya que, de poco serviría prever la demanda para el próximo mes, si ésta fuese de 10 unidades y la producción eficiente por lotes ascendiese a 100 unidades. En consecuencia, como mínimo, para este caso habría que prever la demanda para diez meses. Un mayor horizonte de previsión de la demanda, no sólo incrementa los inventarios, sino que facilita incurrir en errores (O'Grady, 1988). En este sentido, una de las ventajas más importantes de reducir los tiempos de preparación a cifras de un sólo dígito es que la empresa puede pasar de trabajar contra almacén a fabricar bajo pedido (Harmon y Peterson, 1990). En nuestro ejemplo, si se logra reducir los tiempos de preparación, de forma que resulte eficiente la producción en lotes de 10 unidades, el horizonte de planificación de la producción se reducirá a un mes. En caso contrario, se fabricarían lotes de 100 unidades para atender la demanda de los próximos diez meses, por lo que se incurriría en elevados niveles de inventarios.

La figura 6 compara los tiempos de preparación de máquinas de la empresa Toyota y de otras tres empresas occidentales en los años 70, cuando únicamente la primera estaba aplicando el sistema SMED. Como puede comprobarse, existe una fuerte relación entre el tiempo de preparación y el tamaño del lote.

	Toyot a	A (EE.UU.)	B (Suecia)	C (Alemania)
--	------------	---------------	---------------	-----------------

Tiempo de preparación (horas)	0,2	6	4	4
Número de preparaciones al día	3	1	–	0,5
Tamaño del lote (días de uso)	1	10	31	–

Figura 6: Comparación de los tiempos de preparación de máquinas entre diferentes fabricantes de automóviles (Sugimori et al., 1977)

El sistema SMED incrementa la flexibilidad para responder a los cambios de programa, promueve *feedback* más rápidos en los problemas de calidad y permite contar con horizontes de planificación más cortos (Huge y Anderson, 1988). La aplicación del sistema SMED consta de cuatro etapas conceptuales (Shingo, 1985):

1. Diferenciar las preparaciones internas de las externas. Las operaciones de preparación que sólo se pueden realizar cuando la máquina está parada se denominan internas y las que pueden completarse mientras la máquina está funcionando se denominan externas. Dominar la distinción entre preparación interna y externa constituye el pasaporte para alcanzar el éxito en la aplicación del SMED.
2. Separar la preparación interna de la externa. El tratamiento de las operaciones externas como tales reducirá el tiempo de preparación entre un 30 y un 50 por ciento.
3. Convertir la preparación interna en externa. Comprende dos pasos importantes:
 - Reevaluación de operaciones para verificar si algunos pasos están erróneamente considerados como internos.
 - Búsqueda de formas para convertir esos pasos en externos.
4. Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación. En este sentido han de considerarse los siguientes principios para reducir el tiempo de preparación, tanto interna como externa.
 - La eliminación de ajustes es un elemento clave en la reducción de la preparación interna, ya que el ajuste ocupa, en algunos casos, del 40 al 50 por ciento del tiempo total de preparación. La clave no consiste en reducir el ajuste, sino en ‘eliminarlo’ mediante un pensamiento creativo (Suzaki, 1987). Por ejemplo, ajustando las herramientas en un sólo movimiento (*one touch up*).

- Las operaciones paralelas son otra forma de reducir la preparación interna. Se pueden asignar más personas y máquinas auxiliares a la preparación. A diferencia de la preparación llevada a cabo por un único operario, las operaciones en paralelo desarrollan, asimismo, un espíritu de trabajo en equipo (Suzaki, 1987). En este sentido, la reducción del tiempo de preparación no reduce necesariamente de forma directa los costes unitarios de los productos. En muchos casos, sólo supone un cambio de la categoría de costes. Es decir, para disminuir los tiempos de preparación se utilizan máquinas auxiliares, lo que provoca un incremento de los costes fijos, que viene a compensar la disminución de los costes de preparación. En cualquier caso, aunque los costes permanezcan igual, se consigue una ventaja competitiva sostenible al disminuir el tamaño del lote eficiente (figura 7).
- La organización del lugar de trabajo es clave también para reducir el tiempo de preparación externa. La utilización de una cámara de vídeo, a menudo, es útil para examinar de modo objetivo las operaciones de preparación y estudiar cuáles de ellas se pueden eliminar.
- Un adecuado proyecto de reducción del tiempo de preparación, en el que intervengan operarios, ingenieros, personal de mantenimiento y de control de calidad, elevará la moral de trabajo y, en la mayoría de los casos, podrán conseguirse tiempos de preparación inferiores a diez minutos.
- La forma ideal de reducir el tiempo de preparación consiste en estandarizar los componentes, las piezas y las materias primas. Si podemos evitar la proliferación de componentes, aumentando el empleo de módulos comunes, la gestión de la producción se beneficiará sensiblemente. En este sentido, una estrecha colaboración en lo referente al desarrollo de nuevos productos entre los encargados del diseño y el personal de producción es un factor esencial para aumentar la estandarización de los componentes (Suzaki, 1987).

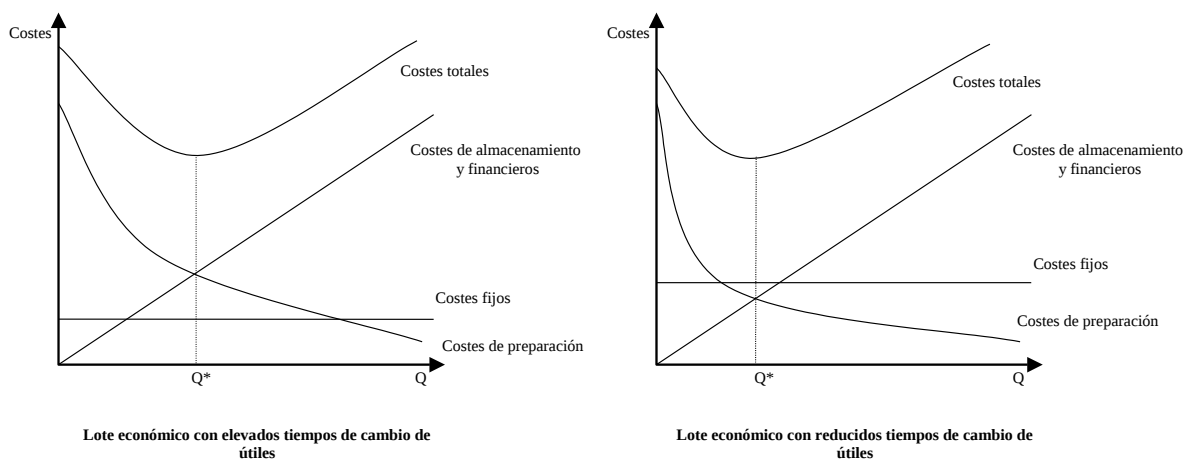


Figura 7: Estructura de costes

En definitiva, los tiempos de cambio de útiles y herramientas pueden reducirse en un 95 por ciento, siguiendo las pautas anteriores, en solamente unos pocos meses (Shingo,

1989). Sin embargo, en Occidente no se utiliza esta técnica, entre otras, por las siguientes razones (Harmon y Peterson, 1990):

- Demasiados directivos prefieren comprar máquinas nuevas en lugar de mejorar los procedimientos utilizados con las existentes.
- La mayoría de los ingenieros están acostumbrados a buscar soluciones demasiado complejas y/o automatizadas para reducir el tiempo de preparación de las máquinas.
- Los métodos convencionales de justificación de costes impiden a algunas empresas la realización de mejoras para reducir los tiempos de cambio de útiles.
- En algunos casos, un equipo nuevo viene preparado para favorecer el cambio rápido. No obstante, es un error creer que la adquisición de nuevos equipos es la única manera de conseguir una reducción en los tiempos de preparación.

La reducción del tiempo de preparación de las máquinas, además de contribuir a disminuir el tamaño del lote, proporciona ventajas adicionales en dos aspectos relevantes: reducción del ciclo de producción y mayor flexibilidad de la mezcla.

Mezcla de productos. La disminución del tiempo de preparación permite reducir el tamaño de los lotes, lo que posibilita mezclar la fabricación de productos y reducir el ciclo de producción (Suzaki, 1987). Es decir, se puede mezclar la fabricación de productos sin incrementar de manera apreciable los costes de producción. La mezcla de productos tiene como objetivo la fabricación de una combinación de productos diferentes durante un intervalo de tiempo preestablecido. Lo que caracteriza este esquema es la discontinuidad en la producción de cada producto (Ohno, 1988). Supongamos que en una empresa se tienen que fabricar 10.000 unidades de producto A, 5.000 unidades de producto B y 5.000 unidades de producto C. Si se utilizara un sistema productivo rígido o en masa se fabricarían primero todas las unidades de un tipo (A, por ejemplo), luego las de otro (B, por ejemplo) y, por último, todas las del tercer tipo. Así, se minimizarían las preparaciones de las máquinas. Con una tecnología productiva donde se hayan conseguido reducir los tiempos de preparación de las máquinas se pueden intercalar los diferentes productos. Si se tienen 20 días de producción en el mes, entonces se podrían producir diariamente 1/20 de cada modelo: 500A, 250B y 250C. Además, las unidades individuales se mezclarían conforme avanzan en la línea de producción. La secuencia, en el límite podría ser AABC/AABC/AABC. Dos unidades de A se producirían por cada unidad de B y C. La secuencia se repetiría continuamente. En algunos casos, no sería posible ni económico alcanzar una producción perfectamente mezclada en la línea de ensamblado final. Aun así, se podrían programar lotes muy pequeños, suponiendo tiempos de preparación reducidos.

La producción de una mezcla de modelos elimina la acumulación de trabajo en proceso, responde rápidamente a las fluctuaciones de la demanda y facilita la planificación, permitiendo conocer al principio del proceso la carga media resultante (Shingo, 1989).

Ciclo de producción reducido. La disminución del tiempo de preparación de las máquinas permite acortar los plazos de respuesta de las fábricas. Es decir, facilitan la reducción del ciclo de producción, definido éste como el tiempo total requerido para la fabricación de un producto, o sea, el tiempo que transcurre entre el inicio de la primera transformación y el final de la última tarea.

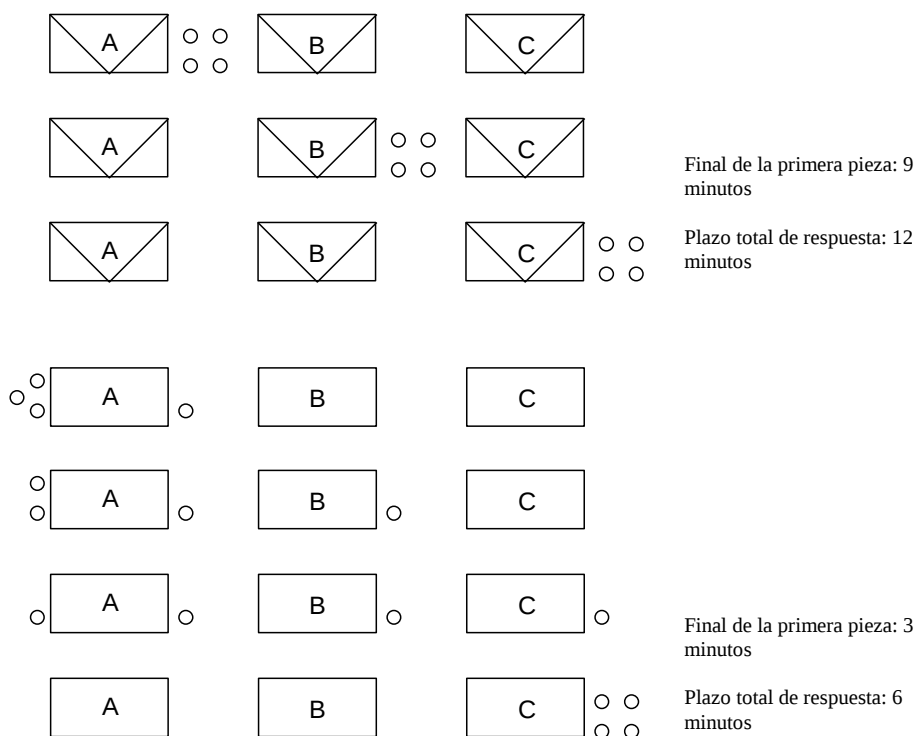


Figura 8: Producción en grandes lotes y en pequeños lotes

En una fábrica convencional, la producción en cada taller se organiza en grandes lotes. En el ejemplo de la figura 8, tres centros (A, B, y C) deben realizar transformaciones consecutivas en un lote de 4 piezas, que son transferidas en bloque de un centro a otro. Se supone un tiempo de procesado de cada pieza en cada máquina de un minuto. El centro de trabajo C comienza su tarea al cabo de 8 minutos y el plazo de respuesta de la fábrica es de 12 minutos para la producción de las cuatro piezas y de 9 minutos para la finalización de la primera pieza.

Con unas existencias elevadas de productos semiterminados, el tiempo real invertido en la transformación del producto representa un pequeño porcentaje (a menudo, inferior al 5 por ciento) del tiempo total correspondiente al ciclo completo de fabricación. Durante la mayor parte de este ciclo, el producto permanece en almacén a la espera de ser transformado. Aunque la aceleración de la producción hace que los productos no permanezcan en cola, una gran fábrica exigiría todo un ejército de personas encargadas de acelerar la producción (Walleigh, 1986).

En una producción en pequeños lotes no existen apenas productos en curso. Las piezas, por el contrario, se transforman y transfieren una tras otra. En la figura 8, si cada unidad se traslada al centro siguiente, una vez que sale del anterior, los centros B y C podrán operar al mismo tiempo que el centro A. El centro B deberá esperar mientras el centro A está actuando sobre la primera unidad, pero sólo un minuto (tiempo de procesado en el ejemplo propuesto). El centro C, asimismo, tendrá que esperar a que el B actúe sobre su

primera unidad, pero, nuevamente, un minuto. Así pues, para producir las 4 unidades, procesadas en tres centros diferentes, el tiempo total requerido es de seis minutos y tres minutos para la terminación de la primera pieza. Con la fabricación en pequeños lotes no se producen grandes acumulaciones de existencias, de forma que el ciclo de producción se reduce, generalmente, en un 90 por ciento o más (Walleigh, 1986).

6. ASEGURAR LA CALIDAD

En la década de los años cincuenta, Ohno se adhirió a las ideas de W. Edwards Deming, con objeto de compatibilizar los planteamientos del *just in time* y de la Gestión de la Calidad Total (*Total Quality Management*, TQM), ya que en conjunto atacaban los problemas de la calidad y la cantidad en las células de trabajo. Ello provocó la delegación de amplias responsabilidades en los equipos (células) de trabajo. Eiji Toyoda, director ejecutivo de producción, observó en la Ford Motor Company el sistema de sugerencias de los empleados (Ohno, 1988). Lo instaló en Toyota y alentó a todos los trabajadores a desterrar el despilfarro y encontrar la forma de mejorar las operaciones. La participación de los trabajadores se acaba concretando en los círculos de control de calidad, el pilar fundamental de la mejora continua.

Cliente es la siguiente fase del proceso. La calidad total no sólo se ocupa del cliente externo, sino que extiende el concepto de cliente hacia el interior de la empresa. En este sentido, se considera a cada trabajador como parte de una cadena proveedor–cliente, que finaliza en el consumidor, quien demanda la máxima calidad del producto. Existen, pues, dos tipos de clientes: interno o externo. El cliente interno es la fase siguiente en el proceso (Ishikawa, 1985). De ahí que cada etapa deba interactuar con la siguiente y la anterior para lograr la calidad, que, en el extremo, satisface al cliente final o cliente externo. En este sentido, toda empresa es una sola unidad que debe esforzarse al máximo para satisfacer a los clientes externos. Una de las mejores maneras de asegurar que los clientes externos están satisfechos es implantar la idea de que cada parte de la organización contribuye a la satisfacción del cliente externo si satisface a sus clientes internos. Definir al cliente final es una tarea de máxima prioridad, ya que determina las características de la calidad que necesita poseer el producto (Imai, 1986). Todos los trabajadores deben hacer un buen trabajo al servir a sus clientes internos, para que al final los clientes externos queden satisfechos. El concepto de clientes internos se aplica a todas las partes de una empresa y refuerza la coordinación interfuncional.

Algunas organizaciones dan un cierto grado de formalidad al concepto de cliente interno al promover (o requerir) que las partes de la operación lleguen entre sí a ‘acuerdos del nivel de servicio’. Estos acuerdos son definiciones formales de las dimensiones de servicio y la relación entre las partes. El tipo de aspectos que se cubren en ellos pueden incluir tiempos de respuesta, rangos de servicio y formalidad en el suministro, entre otros. También pueden acordarse las fronteras de responsabilidad y las medidas de desempeño adecuados.

Inspección preventiva. La inspección preventiva tiene por misión reducir y, a ser posible, eliminar los defectos e incluye tres actuaciones (Shingo, 1986):

- Control en la fuente: Controlar los defectos donde ocurren.
- Autoinspección: Los trabajadores son responsables de encontrar y corregir sus defectos.
- Inspección sucesiva: Cada trabajador verifica el trabajo de otros.

Los errores de los trabajadores no se convertirán en defectos si se descubren y eliminan por anticipado. El control en la fuente es un método de inspección que se basa en la idea de descubrir los errores en las condiciones que originan los defectos y realizar el *feedback* y la acción correctiva de inmediato para evitar que esos errores se conviertan en defectos.

La inspección que provee el *feedback* más inmediato es la autoinspección, que ocurre siempre que el propio trabajador inspecciona el producto que procesa. Este método tiene dos inconvenientes. El trabajador puede: a) hacer juicios de compromiso y aceptar unidades que deberían rechazarse y b) cometer errores de inspección no intencionados. Asimismo, éstas han sido las razones por las que siempre se ha enfatizado la necesidad de garantizar la independencia de las inspecciones –en la idea de que las inspecciones tienen que realizarse por inspectores desinteresados– (Shingo, 1986).

La inspección sucesiva se fundamenta en la idea de que el trabajador es el único responsable de la buena o mala calidad del producto en su área de actividad. De esta forma, si una pieza que no cumple con las especificaciones previstas pasa a la siguiente operación, el trabajador que la recibe indicará la existencia del defecto al trabajador que se la suministra, puesto que es el responsable de la aceptación o rechazo de las piezas que le envía su compañero y, si acepta una pieza defectuosa, esto afectará negativamente a la calidad aportada por su área de trabajo. Los métodos de inspección sucesiva se apoyan en los siguientes principios (Shingo, 1986):

- Realizar siempre inspecciones al cien por cien.
- Las evaluaciones sobre defectos se hacen objetivamente por una tercera persona.
- Cuando ocurre un defecto, la información sobre el mismo se retrodirige inmediatamente al operario en cuyo área de trabajo se ha originado el defecto. En ese momento, este trabajador pasa a ser consciente de la situación y adopta la acción correctiva.
- En consecuencia, el proceso cesa de generar defectos.

Es inapropiado utilizar la inspección sucesiva para verificar demasiadas cosas, ya que difuminará la efectividad del método y, o bien crecerá el número de cosas que los trabajadores se olvidarán de verificar, o nada se verificará a fondo (Shingo, 1986).

Por otra parte, cuando se intenta resolver un problema, las 5W y 1H (*what, why, when, who, where, how*) es una técnica sencilla que permite obtener datos e informaciones útiles para resolverlo. La misma consiste en preguntarnos reiteradamente:

Qué (objeto)
Por qué (objetivo)
Cuándo (fecha y plazo)
Quién (persona)
Dónde (lugar)
Cómo (método)

Por otra parte, respondiendo cinco veces ‘por qué’ existe el problema es posible identificar las verdaderas causas que están en su raíz. De este modo, se pretende evitar la tendencia a considerar que el primer elemento descubierto sea la causa original del problema. Si no se hace esa pregunta repetitiva, se puede uno conformar con una contramedida intermedia. En este sentido, Taichi Ohno (1988) proporciona el siguiente ejemplo:

- Pregunta 1: ¿Por qué se paró la máquina?
 Respuesta 1: Porque se quemó el fusible debido a una sobrecarga
 Pregunta 2: ¿Por qué hubo una sobrecarga?
 Respuesta 2: Porque la lubricación del balero fue inadecuada
 Pregunta 3: ¿Por qué fue inadecuada la lubricación?
 Respuesta 3: Porque la bomba de lubricación no funcionó bien
 Pregunta 4: ¿Por qué no estaba funcionando bien la bomba de lubricación?
 Respuesta 4: Porque el eje de la bomba estaba desgastado
 Pregunta 5: ¿Por qué estaba desgastado?
 Respuesta 5: Porque le penetró sedimento

Mejora continua. Los japoneses mediante la mejora continua (*kaizen*) han logrado su actual nivel de calidad en el proceso de producción, fundamentalmente haciendo las cosas muy bien y mejorándolas gradual y constantemente. La mejora continua significa aumentar la eficiencia y mejorar la calidad en todas las actividades del proceso (Imai, 1986). La mejora continua se apoya en el ciclo de Shewhart, que consta de los siguientes pasos: planificar, hacer, verificar y actuar (figura 9). Este ciclo ha sido divulgado por Deming y se le conoce como ciclo PHVA.

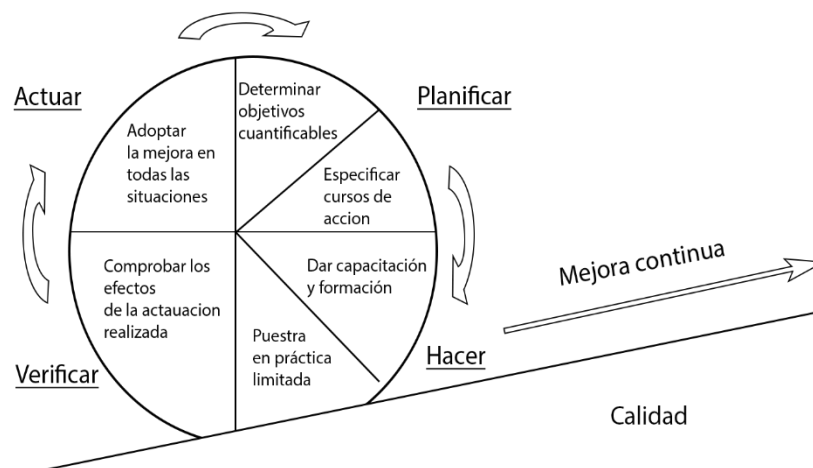


Figura 9: El ciclo de Shewart (Ishikawa, 1985)

La planificación comienza con una definición del problema y la reunión de datos para su análisis con objeto de determinar el objetivo a alcanzar. Posteriormente, se deben identificar las causas, delimitar los posibles cursos de acción y elegir uno. La fase hacer se puede dividir en dos etapas: formación y puesta en práctica. Una vez que se ha elegido un curso de acción, la dirección debe formar a los trabajadores para que ejecuten correctamente las actividades que tienen que llevar a cabo. A continuación, se ponen en marcha las medidas oportunas con un carácter limitado. Se trata de constatar la mejora en un entorno real. En la tercera etapa se verifica la ejecución para comprobar si se han obtenido las mejoras anticipadas. Si así ha ocurrido, en la cuarta etapa, se emprende una actuación final, aplicando la mejora en todas las actividades posibles.

El ciclo se reinicia continuamente. La nueva mejora se convierte en un estándar que será refutado con nuevos planes para más mejoras. De esta forma, el ciclo PHVA se entiende como un proceso que permite fijar nuevos estándares sólo para refutarse, revisarse y

reemplazarse por estándares mejores. En tanto la mayoría de los trabajadores occidentales consideran los estándares como objetivos fijos, los practicantes del PHVA los consideran como el punto de partida para hacer un mejor trabajo la siguiente vez. Este proceso de estabilización con frecuencia recibe el nombre de ciclo EHVA (Estandarización-Hacer-Verificar-Actuar), y abarca las actividades orientadas a mantener los actuales estándares tecnológicos, administrativos y de operación, mientras que el mejoramiento se refiere a las actividades enfocadas a mejorar los estándares corrientes de funcionamiento (Imai, 1986). No puede haber mejoras si no se han alcanzado los estándares. El punto de partida de cualquier mejora es saber con exactitud dónde nos encontramos. Tras establecer el estándar, se debe buscar la mejora. Así pues, el EHVA se utiliza para estabilizar las condiciones y el PHVA para mejorarlas (Imai, 1986).

El estándar debe ser obligatorio para el conjunto de la empresa y la labor de la dirección es planificar que todos trabajen de acuerdo con los estándares establecidos. Esto significa que la dirección, inicialmente, debe establecer objetivos, políticas, reglas, directrices y procedimientos para las operaciones importantes y, luego, comprobar que se sigue el plan de operación. Si los trabajadores son capaces de seguir el estándar, pero no lo hacen, la dirección debe aplicar la disciplina. Si los trabajadores son incapaces de seguir el estándar, la dirección tiene que proporcionar formación o revisar el estándar, de modo que puedan seguirlo (Imai, 1986).

Palancas de la calidad. La minuciosidad del trabajador japonés no es la razón principal del acentuado sentido del orden que mantiene, sino que más bien es el resultado de unas actitudes, prácticas y sistemas que los directores de fábrica han logrado implantar gradualmente durante un largo período de tiempo (Hayes, 1981). Estas prácticas están comenzando a adoptarse por las empresas occidentales.

5S. La fábrica japonesa ha desarrollado un sistema 5S: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* y *shitsuke*. En este sentido, cada área de trabajo se evalúa a sí misma a intervalos programados (usualmente semanales), utilizando una hoja de chequeo 5S (figura 10). Las 5S crean una actitud general en los trabajadores de respeto por un mantenimiento adecuado del lugar de trabajo y desarrollan un conjunto de actividades para conseguirlo (Sugiyama, 1991).

- El arreglo apropiado (*seiri*) consiste en seleccionar y clasificar las cosas de acuerdo con lo que es necesario y lo que no lo es en el área de trabajo. Posteriormente, se retira lo que no se necesita. Para ello, resulta de utilidad el sistema de clasificación denominado ‘fichas rojas’. Consiste en pegar una ficha roja sobre aquel objeto que no sea necesario. Esta operación hay que llevarla hasta el extremo, aunque la fábrica entera se cubra de fichas rojas. Si alguno de estos objetos se utiliza en alguna tarea, se anota la fecha y veces que se ha utilizado. Después, periódicamente se estudia la necesidad real de los artículos con fichas rojas y se eliminan los innecesarios (Suzaki, 1987).
- El orden metódico (*seiton*) tiene que ver con colocar las cosas eficientemente, de forma que se pueda coger fácilmente lo que se necesita. Poniendo en práctica el principio ‘un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio’, se desarrolla un estilo de funcionamiento estandarizado. Para ello, por ejemplo, se dibujan las siluetas de las herramientas sobre el tablero, de forma que cada operario perciba dónde colocar cada una de ellas y qué herramientas se están usando.

- El aspecto limpio (*seiso*) significa evitar que cualquier superficie en el área de trabajo permanezca sucia o manchada de aceite y emplear maquinaria y equipo para mantener todo brillante, de forma que el lugar de trabajo permanezca en una condición de operación regular. La limpieza es un factor motivador del trabajador. Por otra parte, durante la limpieza de las máquinas se pueden detectar indicios de posibles averías, por lo que de esta forma se pueden corregir posibles fallos.
- Limpiar (*seiketsu*) significa remover gérmenes y manchas y mantener una situación de gran limpieza. La limpieza y el mantenimiento de la pureza son actualmente inseparables: mantener una significa mantener la otra. Limpiar es especialmente significativo en el trabajo con productos alimenticios, farmacéuticos, de biotecnología y componentes electrónicos.
- La disciplina (*shitsuke*) conlleva la aplicación escrupulosa de las normas, haciendo de ello un hábito.

HOJA INSPECCIÓN 5 S		Rango evaluación			Rango A: marca perfecta Rango B: 1–2 problemas Rango C: 3 o más problemas
	Ítem	A	B	C	Comentarios
Arreglo apropiado (Seiri)	(No considere ítems innecesarios)				
	¿Se colocan las notas uniformemente en panel de noticias?				
	¿Se han retirado todos los elementos innecesarios?				
	¿Hay razones para la presencia de ítems no autorizados?				
	¿Están señaladas claramente las zonas de paso y trabajo?				
	¿Están tubos y cables bien arreglados?				
Orden metódico (Seito)	(Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar)				
	¿Se mantiene cada cosa en su sitio?				
	¿Se retiran las cosas después de usarlas?				
	¿Están desordenadas las áreas de trabajo?				
	¿Está cada cosa asegurada como se precisa?				
	¿Están ordenados los estantes, tableros y accesorios de limpieza?				
Aspecto limpio (Seiso)	(Evitar problemas teniendo todo limpio)				
	¿Está la vestimenta aseada y limpia?				
	¿Son adecuadas la evacuación y ventilación?				
	¿Están limpias las áreas de trabajo?				
	¿Están limpios equipos, máquinas, útiles y desagües?				
	¿Están limpias y enteras las líneas de señalización?				
Limpiar (Seiketsu)	(Mantenimiento y limpieza después del trabajo)				
	¿Está limpia el área de desperdicios y virutas?				
	¿Se han limpiado todas las máquinas y equipo?				
	¿Se ha limpiado el suelo?				
	¿Están claras las responsabilidades de limpieza?				
	¿Están vacíos los recipientes de basura?				
Disciplina (Shitsuke)	(mantener los buenos hábitos de Canon)				
	¿Está vestido cada uno de acuerdo con las reglas?				
	¿Se observan las reglas de área de fumadores?				
	¿Están fuera del área los artículos privados?				
	¿Se abstienen todos de comer y beber en el área de trabajo?				
	¿Evitan todas las conversaciones privadas en el tiempo de trabajo?				
HOJA DE INSPECCIÓN 5S		Rango total			

Figura 10: Hoja 5S de Canos (Japan Management Association, 1987)

Jidoka. La autonomación (*jidoka*) significa añadir características ‘inteligentes’ a las máquinas. *Jidoka* es la automatización con un toque humano (Ohno, 1988), y consiste en instalar un mecanismo (sensor) en la máquina que le permita ‘darse cuenta’ de su propio mal funcionamiento (figura 11). El *jidoka* puede utilizarse para corregir errores de dos modos diferentes (Shingo, 1989):

- *Tipo control*: Cuando el *jidoka* se activa, la máquina o la línea de proceso se para, de forma que el problema puede corregirse.
- *Tipo aviso*: Cuando el *jidoka* se activa, suena un timbre o se enciende una luz que alerta al trabajador.

La automatización, durante el período de normalidad, libera al operario y le proporciona, por consiguiente, la posibilidad de detectar irregularidades que puedan afectar a otras fases del proceso. El *jidoka* añade valor a la producción sin necesidad de operarios que controlen las máquinas.

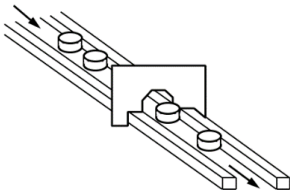
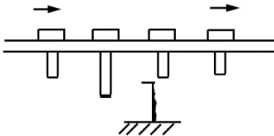
VERIFICACIÓN A EFECTUAR	DISPOSITIVO
• Diámetro no superior a una tolerancia	 • Placa que impide el paso de productos defectuosos
• Ausencia de tornillos de excesiva longitud	 • Detector que impide el paso

Figura 11: Ejemplos de *jidoka* (Beranger, 1988)

Poka-yoke. Las personas son seres humanos y, como tales, en ciertas ocasiones, inadvertidamente cometen errores. El mecanismo *poka-yoke* es un método de detectar defectos o errores que puede utilizarse para cumplir una función de inspección particular. La inspección es el objeto, el *poka yoke* es meramente el método. Es la ruta más rápida para conseguir el cero defectos (Shingo, 1986) y cumple una función de control que complementa la función de ejecución. En los primeros tiempos, se utilizaba el término *baka-yoke* (a prueba de tontos), después se utilizó el término *poka-yoke* (error-prueba) para designar estos mecanismos, que sirven para prevenir esa clase de errores inadvertidos que cualquiera puede cometer (Shingo, 1986). Por ejemplo, si un trabajador utiliza nueve tornillos en la realización de su tarea, en lugar de suministrarle cajas con 500 tornillos, se le suministran cajas de nueve tornillos, de esta forma con mirar la caja, y sin necesidad de contar, sabe si colocó los nueve tornillos en la operación que acaba de realizar (figura 12).

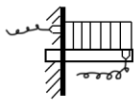
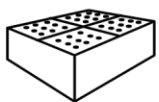
VERIFICACIÓN A EFECTUAR	DISPOSITIVO
Constiucion de montajes (Kits) conteniendo un número preciso de piezas	 Instalación de un soporte mural cuya longitud corresponde exactamente al número de piezas requerido (en su caso, con contactores que verifican la utilización del sistema.
Ajustar una pieza a una estructura utilizando nueve tornillos	 Colocar los tornillos en cajas de nueve o en cartones con nueve orificios

Figura 12: Ejemplos de *poka-yoke* (Beranger, 1988)

Control visual. La producción *just in time* se apoya en el control visual que hace posible que cada trabajador sepa lo que tiene que hacer en cada momento. Para el control visual

se utilizan luces rojas (*andon*) tableros de control, hojas de trabajo y gráficos de calidad, entre otras herramientas. El *andon* (significa linterna en japonés) es una luz que se enciende cuando surge algún problema. Se trata de un instrumento de control visual o de dirección con la vista. Permite el envío rápido y expresivo de la información relativa a un problema desde el lugar en que este surge hasta el supervisor cuya intervención es necesaria para resolverlo. Cuando se producen irregularidades (tales como defectos, falta de piezas o mal funcionamiento de una máquina) en las operaciones de montaje, el operario aprieta un botón para pedir ayuda: se enciende una luz amarilla por encima del puesto de trabajo. Si el remedio no se encuentra a tiempo, hay que detener la cadena y entonces se enciende automáticamente una luz roja (Suzaki, 1987).

Así como las luces se emplean para indicar situaciones anómalas, un tablero de control de la producción sirve para informar visualmente del plan de producción realizado y del previsto, así como su evolución a lo largo del último período.

La hoja de trabajo estándar combina eficazmente materiales, trabajadores y máquinas para que actúen eficientemente. En ella se observan con gran claridad los tres elementos del procedimiento del trabajo estándar, a saber: 1) tiempo del ciclo, 2) secuencia del trabajo y 3) *stock* estándar (Ohno, 1988).

Los gráficos de la calidad recogen la evolución a lo largo del tiempo de los parámetros que se utilizan para medir la calidad. Estos gráficos se colocan en lugares bien visibles en el área de trabajo para que todo el mundo los utilice como referencia.

Mantenimiento productivo total. El mantenimiento productivo total (*Total Productive Maintenance*, TPM) se basa en el seguimiento regular de un equipo durante su funcionamiento, con el fin de identificar su deterioro y predecir las necesidades de intervención en él (Nakajima, 1991).

Las actividades relacionadas con el TPM se derivan de la experiencia real y las observaciones directas realizadas en los puestos de trabajo y son responsabilidad del operario. Éste, al pasar más tiempo que nadie junto a la máquina, si está bien informado acerca de las funciones básicas de la misma, podrá detectar los síntomas iniciales de un problema (Suzaki, 1987). Por otra parte, la asignación de tareas de mantenimiento al operario facilita que dedique más atención al equipo por lo que puede detectar posibles mejoras.

El departamento de mantenimiento debe, pues, formar a los operarios en tareas específicas relacionadas con el mantenimiento productivo total, tales como (Suzaki, 1987):

- Lubricado, limpieza, ajustes e inspecciones para prevenir el deterioro y advertir los fallos potenciales del equipo por razones inesperadas (bajo nivel de aceite o indicadores luminosos que no funcionan, entre otros).
- Normas e instrucciones referentes a los procedimientos adecuados para el manejo del equipo.
- Desarrollo de una capacidad más perfeccionada de detección de los signos de deterioro precoz en las máquinas, llevando a cabo tareas sencillas de mantenimiento, comprobaciones diarias y puestas a punto, entre otras.

En consecuencia, el camino a seguir para corregir negligencias y evitar los despilfarros consiguientes no puede pasar sino por una estrecha colaboración entre los operarios y el departamento de mantenimiento. A su vez, el diseño y fabricación internos de equipos y útiles, además de ayudar a pulir y perfeccionar las técnicas y capacidades de una empresa, proporciona importantes ventajas competitivas y permite incrementar las habilidades técnicas necesarias para un mantenimiento efectivo (Nakajima, 1991).

Paralización de la cadena. En un contexto de fabricación, se necesita una acción decisiva cuando ocurren situaciones anormales de cierta gravedad. Se debe responder con prontitud parando la línea de producción o la máquina y no restableciendo el funcionamiento hasta que la causa de la anomalía ha sido eliminada (Shingo, 1989). La paralización de la cadena se denomina sistema TSS (*tomete* –pare–, *sugu* –inmediatamente–, *shochi* –tome medidas–), que significa: cuando ocurre un problema, T (pare la línea o la máquina), S (inmediatamente), S (tome medidas para corregirlo) (Japan Management Association, 1987).

En general, los directores y trabajadores son reacios a parar las líneas, pero hay tres razones para que se adopten tal medida (Shingo, 1986):

1. Parar una línea posibilita que los supervisores identifiquen rápida y claramente el defecto. Puede entonces ejercitar un liderazgo efectivo para aplicar rápida y eficientemente las mejoras.
2. Cualquier trabajador estará mucho más atento a su tarea en el futuro ante la responsabilidad que siente por las paradas de la línea de montaje.
3. Las pérdidas ocasionadas por la parada de la línea se compensarán en exceso, pues los defectos dejarán de generarse después de una parada temporal (figura 13).

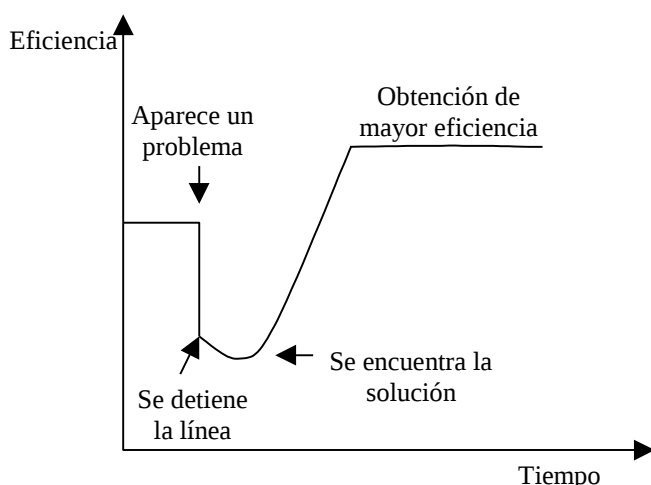


Figura 13: Aumento gradual de la eficiencia (O'Grady, 1988)

7. SUBCONTRATACIÓN AVANZADA

El *just in time* tiene un vínculo muy estrecho con la subcontratación, que presenta una gran diferencia respecto a los fabricantes occidentales (figura 14). En general: a) un

fabricante típico japonés tiene concentrado en las compras el 70 por ciento del coste industrial, mientras que en los Estados Unidos apenas alcanza el 50 por ciento; y b) el número de subcontratistas por fábrica en el Japón es menor que en los Estados Unidos. A continuación, se analizan las características de la subcontratación *just in time*, avanzada o cooperativa: 1) intensificación de las relaciones a largo plazo con los proveedores, 2) reducción del número de subcontratistas o proveedores directos, 3) colaboración en el diseño y la mejora de la calidad de los componentes, 4) recepción de las mercancías de forma frecuente y en pequeños lotes y 5) gestión del transporte por parte del contratista.

Característica	Relación competitiva (occidental)	Relación cooperativa (<i>just in time</i>)	Consecuencia de la relación cooperativa
Evaluación del proveedor	Precio. Se acepta 2 por ciento defectuosos	Énfasis en la calidad del producto, plazo de entrega y precio. No se aceptan porcentajes de defectos	Los proveedores ponen más énfasis en la calidad del producto
Selección del proveedor	Dependencia de múltiples fuentes de suministro para un componente dado	Fuente única de suministros para un componente dado en áreas geográficas próximas con contratos a largo plazo	Frecuentes visitas a la fábrica del proveedor por personal técnico para ayudarle en la mejora de la calidad
Especificación del producto	Especificaciones detalladas y rígidas. El proveedor no tiene libertad para hacer cambios	Se comentan a grandes rasgos las especificaciones finales del producto. Se anima al proveedor a ser innovador	Los proveedores tienen más discrecionalidad en métodos de diseño y fabricación del producto
Negociación y proceso de oferta	Precio más bajo posible. Contratos a corto plazo	Alcanzar calidad del producto. Contratos a largo plazo. Reducir el número de proveedores. Hacer análisis del valor para reducir precios. Precio justo	Los proveedores se comprometen a reducir costes y aumentar calidad
Dimensión del lote de compra	Compra en grandes lotes con pocas entregas	Compra en pequeños lotes con entregas frecuentes	Detección rápida y corrección de defectos. Reducción de <i>stocks</i>
Inspección de recepción	Responsable comprador	Responsable proveedor. Se les otorga un certificado de calidad a los proveedores fiables. Objetivo: eliminar mala calidad	La calidad en la fuente es más efectiva y menos costosa
Transporte	Responsabilidad del vendedor. Localización proveedor lejana	Responsabilidad del comprador. Localización proveedor próxima. Parques de proveedores	Posibles economías de escala
Papeleo	Mucho tiempo en negociación y papeleo formalizado. Cambios en fecha y cantidad requieren nuevas órdenes de compra	Menos formal. Plazos de entrega y cantidad pueden ser acordados por teléfono	Más tiempo libre para dedicarse a los objetivos básicos: calidad, tiempo de entrega

Figura 14: Relaciones cooperativas y competitivas con los proveedores (Schonberger y Ansari, 1984; Lele y Ansari, 1985)

Relaciones intensas a largo plazo con los proveedores. En lugar de lidiar con un gran número de proveedores negociando contratos a corto plazo (aproximadamente 2,3 años

era la duración promedio de los proveedores del sector automovilístico en Estados Unidos en los 90), las alianzas estratégicas con proveedores se basan en un número menor de proveedores con contratos a largo plazo (la duración promedio de los contratos con proveedores del sector automovilístico japonés en los 90 era de 8 años) (Dyer, 1997). Esto ayuda a que los proveedores estén dispuestos a hacer inversiones específicas. Los altos niveles de cooperación requieren intercambios de información particularmente intensos, frecuentes y multilaterales, que, a su vez, constituye la base de una acción colectiva. En este sentido, casi todas las relaciones entre el proveedor y el contratista se desarrollan dentro del contexto de un ‘contrato básico’, que recoge el compromiso adquirido por ambas partes de trabajar juntos a largo plazo y en el que se establecen las reglas para determinar los precios, asegurar la calidad y garantizar el suministro de los materiales contratados.

Reducido número de subcontratistas o proveedores con los que el contratista negocia directamente. Al tener un único subcontratista por componente, el comprador consigue mejores precios al activar las economías de escala del proveedor (le compra solo a él lo que antes compraba a varios), mejora la calidad de las entregas (fuentes distintas provocan entregas de diferente calidad, ya que cada fábrica tiene su propia variabilidad en el proceso de producción), reduce los costes de gestión y disminuye los riesgos de divulgación de información confidencial. Al mismo tiempo, asume el riesgo de los percances que este pueda tener (huelgas y desastres naturales, entre otros), lo que provocará la interrupción del suministro. Ahora bien, el mayor riesgo es que el proveedor acabe controlando la cadena de valor de la industria. Algunos de estos riesgos se pueden mitigar estableciendo relaciones cooperativas con los subcontratistas. Esto le ocurrió a Toyota, cuando en 1997 se incendió la fábrica de Aisin Seiki Co., un suministrador único de una clase de dispositivos denominados válvulas-P, que se utilizan en todos los vehículos Toyota con objeto de contribuir a evitar los derrapes, ya que este tipo de componentes permiten controlar la presión de los frenos de las ruedas traseras. Al faltar esta pieza –las fábricas de Toyota sólo tenían existencias para cuatro horas de trabajo–, Toyota tuvo que cerrar sus veinte fábricas de ensamblaje de coches en Japón, que producían en total 14.000 vehículos diarios. Pero cinco días después, las plantas reanudaron la producción, a pesar de que se calcularon más de dos semanas para que la empresa Aisin pudiera reanudar en pequeña escala su producción. Ello fue posible porque los proveedores de Toyota salieron al rescate de la empresa: en cuestión de horas conocían las principales características de la válvula y comenzaron a montar herramientas y líneas de producción improvisadas. Las empresas del grupo Toyota llevaron a cabo dos esfuerzos de recuperación simultáneamente. En primer lugar, consiguieron que el estrés provocado por un fallo de primera magnitud en una empresa fuera absorbido entre cientos de empresas, minimizando de este modo el daño que podría causar a cualquier miembro del grupo. En segundo lugar, recombinaron los recursos de aquellas mismas empresas en configuraciones diferentes y originales a fin de producir una producción equivalente de válvulas-P. Realizaron todo eso sin generar averías adicionales, con muy poca dirección centralizada y casi sin que hubiera necesidad de contratos formales. Conviene tener presente que muy pocas de las setenta y dos empresas que pasaron a producir por motivos excepcionales válvulas-P, o las más de ciento cincuenta empresas que participaban indirectamente como proveedores, no tenían experiencia anterior en la fabricación de válvulas, ni tampoco acceso al tipo de herramientas especializadas que habían sido destruidas por el fuego. Una empresa, por ejemplo, que participó en el esfuerzo de recuperación, Brother Industries, fabricaba máquinas de coser y nunca había producido componentes para automóviles. Toyota sólo

dejó de fabricar 72.000 vehículos. Depender de una sola fuente y tener unas existencias reducidas es un riesgo calculado, pero hace muy eficiente la producción, al activar las economías de escala del subcontratista (Nishiguchi y Beaudet, 2000).

Colaboración en el diseño y en la mejora de la calidad de los componentes. El contratista únicamente establece las normas básicas que ha de cumplir el componente a fabricar por el proveedor, sin analizar los detalles técnicos. Dado que el subcontratista es el experto en la fabricación de los componentes, parece lógico confiar en sus conocimientos a la hora de configurar los diseños, favoreciendo, así, el logro de una elevada calidad. De este modo, el subcontratista tiene más libertad, asumiendo mayores competencias en el diseño y la fabricación del componente, a la par que libera al contratista para realizar otras tareas de desarrollo. En consecuencia, implicar a los subcontratistas en el diseño de los componentes que suministran, dándoles mayor autonomía, es decir, menos especificaciones para el desarrollo y elaboración de los mismos, favorece la obtención de componentes tecnológicamente más avanzados y de mayor calidad.

Por otra parte, se ha estimado que incluso más del 50 por ciento de los problemas de calidad de una empresa son causados por defectos en los materiales o en los componentes suministrados por los proveedores. En este sentido, uno de los objetivos prioritarios en relación con la subcontratación avanzada es el logro de altos niveles de calidad en los componentes adquiridos. Con este fin, se ponen en práctica una serie de medidas basadas en la colaboración entre la empresa principal y los proveedores, tales como proporcionarles asesoría técnica, la realización de visitas y auditorías periódicas a los proveedores y certificar u homologar la calidad de los mismos. En consecuencia, la subcontratación se convierte en un canal de difusión de la información técnica que generan contratistas y subcontratistas.

Es frecuente que el contratista realice visitas *in situ* (de carácter obligatorio) a los subcontratistas, con el fin de valorar sus capacidades productivas y comprobar si la calidad se ha convertido realmente en parte de la cultura empresarial. Generalmente la empresa cliente envía a las instalaciones del proveedor un equipo interfuncional – formado por personal de operaciones, compras, ingeniería, sistemas de información y contabilidad–, que realiza una evaluación profunda de la capacidad del proveedor para satisfacer los objetivos de coste, calidad, plazo de entrega y flexibilidad de su producción. Mediante estas visitas la empresa contratista examina minuciosamente todos los detalles relacionados con la producción de los materiales, componentes o servicios subcontratados, completando estas observaciones con la revisión de los documentos disponibles en la empresa. Estas visitas se prolongan mientras dura la relación entre ambas empresas.

Con todas estas medidas, la empresa contratista no necesita incurrir en la inspección de cada pedido (figura 15). En consecuencia, se elimina la inspección en recepción, excepto para piezas nuevas o nuevos proveedores, y se eliminan, asimismo, algunos costes indirectos, como los relacionados con la manipulación y el almacenamiento que acontecen cuando se coloca el material en una zona de recepción, zona de retención o almacén para después ser trasladado a la fábrica. Por otra parte, una interacción tan profunda y frecuente permite a las empresas compartir mejor el conocimiento tácito que forma parte del componente.

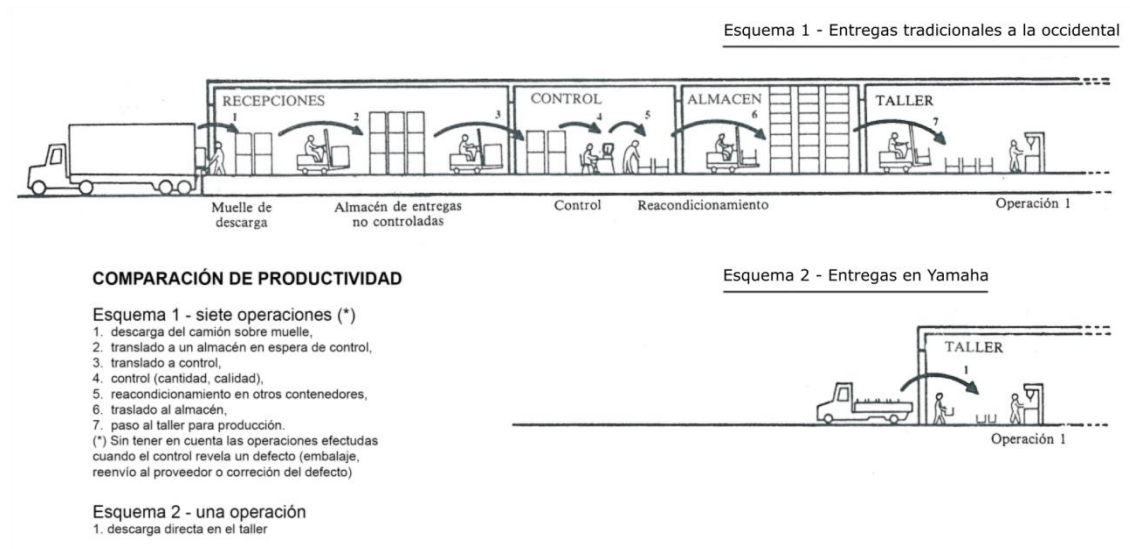


Figura 15: Sistema de entrega tradicional versus cooperativo (Beranger, 1988)

Recepción de suministros frecuente y en pequeños lotes en función de las necesidades de producción de la empresa cliente. De esta manera, el contratista consigue operar sin apenas existencias de materiales, piezas y componentes. La relación de colaboración a largo plazo se traduce en que la empresa pueda disponer en el momento justo de las piezas y componentes en la cantidad necesaria (no más) para incorporar en su proceso de producción. El proveedor se convierte, así, en una parte integrante de la empresa y en el primer eslabón del proceso necesario para conseguir un nivel mínimo de existencias.

La necesidad de realizar un mayor número de pedidos hace imprescindible reducir el trabajo administrativo que se origina con cada pedido. Con este fin se realizan pedidos formales, muy especificados y para largos períodos de tiempo, pero programando envíos diarios o semanales.

Además, esta seguridad de pedidos regulares reduce la complejidad y los costes de compras, por lo que la gestión de órdenes de pedido se simplifica. Al estar pactada la cantidad global a suministrar, cada pedido concreto no requiere formalización burocrática alguna, siendo factible realizarlo vía telefónica, por Internet o cualquier otro medio. Si tampoco se permiten variaciones en la cantidad recibida respecto a la esperada, el recuento de los materiales entrantes no se hace necesario y, a su vez, viene facilitado por la utilización de pequeños contenedores cargados con la cantidad exacta.

Las entregas frecuentes de pequeños lotes permiten detectar rápidamente posibles defectos de calidad, ya que la empresa principal descubrirá inmediatamente las piezas defectuosas, comunicando la incidencia al proveedor para que éste ponga en práctica las medidas correctoras oportunas, evitándose, así, la fabricación de grandes lotes de productos defectuosos.

Dado que las entregas frecuentes y en pequeños lotes originan mayores costes de transporte, se suelen articular una serie de medidas tendentes a evitar que estos costes se disparen. Una forma de minorar los costes de transporte es reducir la distancia entre las fábricas del comprador y del proveedor. El mantenimiento de unas relaciones estables a

largo plazo con un número limitado de suministradores favorece que éstos localicen sus fábricas cerca del contratista. Así, surgen los denominados ‘parques de proveedores’. La proximidad, además de reducir los costes de transporte, facilita la coordinación entre el contratista y subcontratista para la mejora del diseño y el control de calidad de los componentes, pudiendo resolverse con mayor rapidez los problemas que vayan surgiendo.

En la actualidad algunas empresas mantienen unas relaciones tan estrechas con sus proveedores, que los incluyen en sus cadenas de producción. Así ocurre en el sector del automóvil, donde algunos proveedores montan subconjuntos del automóvil directamente en la cadena de producción de los clientes.

Gestión del transporte de los componentes a cargo del contratista. Bajo el sistema de subcontratación avanzada, la gestión del transporte reúne, asimismo, características peculiares. La empresa compradora suele ser la que asume la gestión del transporte de los suministros adquiridos, con la finalidad de aumentar la probabilidad de que se cumplan las fechas de entrega y lograr una mayor eficiencia en el transporte.

Por un lado, con el fin de evitar excesivos costes de transporte derivados de las entregas frecuentes y en pequeñas cantidades, lo que provoca que los camiones (o medios de transporte utilizados) circulen medio vacíos, puede resultar adecuada la elección de un solo transportista responsable de los envíos que se realizan desde una zona determinada. Así, es necesario efectuar las entregas por camiones completos y, en consecuencia, se establecen rutas de transporte, donde un mismo vehículo recoge los suministros de diferentes subcontratistas próximos entre sí (figura 16). Esto significa que se establece un sistema eslabonado de entregas, en contraposición al tradicional sistema de transporte radial bajo el cual cada subcontratista envía por medios diferentes sus propias entregas a la fábrica del contratista.

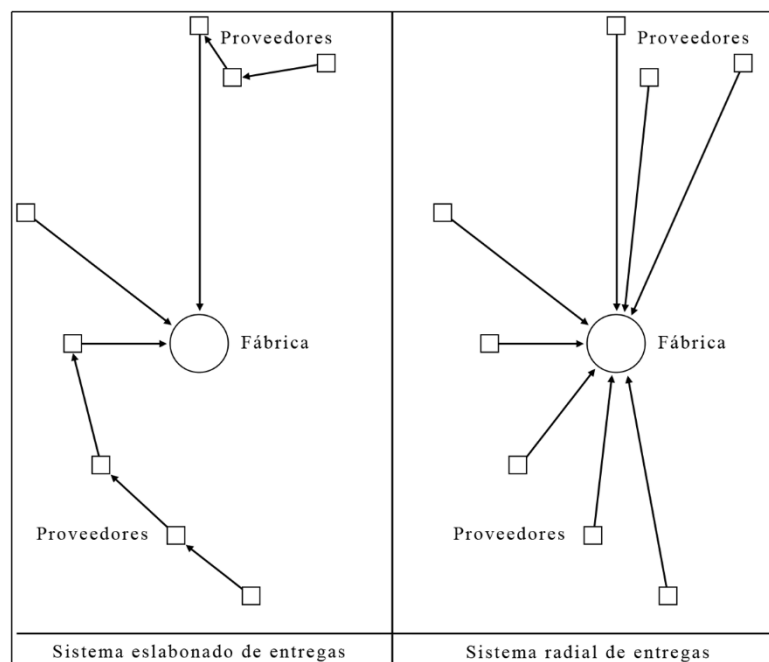


Figura 16: Sistemas de transporte radial versus escalonado

8. KANBAN

El *just in time* es un sistema basado en la demanda. En cada operación se produce tan sólo lo necesario para satisfacer la demanda del producto de que se trate (sistema *pull*), lo cual contrasta con el sistema tradicional en grandes lotes, que siguiendo un programa de producción fijo se adelanta a la demanda del mercado (sistema *push*). Ohno diseñó un sistema en el que el proceso de montaje atraería las partes hacia sí en la cantidad necesaria y en el momento en que las necesitara, inspirándose en el funcionamiento de un hipermercado estadounidense. Para unir el sistema, Toyota emplea tarjetas de papel (*kanban*), que recogen información acerca del proceso de trabajo de cada pieza y dónde debe trasladarse.

El *kanban* es una técnica para implantar el JIT, que constituye el ‘nervio autónomo’ de la línea de producción (Ohno, 1988). El *kanban* se refiere literalmente a un bloque de madera (o una tarjeta en una funda rectangular de plástico). Cada pieza (o contenedor de piezas, si éstas son muy pequeñas) tiene asociada una *kanban*, que describe el origen, destino, identidad y cantidad necesarias de la pieza (o piezas) en cuestión. Estas tarjetas, que se utilizan para poner en marcha el sistema, son de dos clases (Nakane y Hall, 1983):

- Tarjetas de movimiento: Autorizan la transferencia de un contenedor, que contiene un lote de tamaño estándar de una pieza específica o un componente, desde el lugar de almacenamiento de productos terminados de un centro de trabajo hasta el lugar de almacenamiento de materias primas de otro centro de trabajo posterior en el proceso productivo.
- Tarjetas de producción: Autorizan la fabricación de un lote de tamaño estándar de una pieza específica o componente para reemplazar a otro lote recién transferido desde el lugar de almacenamiento de productos terminados de un centro de trabajo a la zona de almacenamiento de materias primas de una sección posterior.

A continuación, se describe el funcionamiento del sistema *kanban* a través de un ejemplo (figura 17). Sean dos centros de trabajo A y B, tales que los outputs del centro A sean, a su vez, inputs del centro B. Ambos talleres o células de trabajo tienen unos niveles de inventarios mínimos de outputs e inputs en sus lugares respectivos de almacenamiento. Los outputs, en condiciones de equilibrio, tienen colocado un *kanban* de producción y los inputs un *kanban* de movimiento. Si el centro de trabajo B realiza una transformación, lógicamente consumirá materiales que están almacenados en su almacén de inputs. Vamos a suponer que consume el equivalente a un lote (un contenedor estándar). Al pasar ese lote de inputs a fabricación se le retira su *kanban* de movimiento, que es colocado en el buzón de las tarjetas de movimiento. Un trabajador recoge la tarjeta del buzón y la coloca en un lote de output (contenedor) del centro A. Este contenedor tiene, a su vez, colocado un *kanban* de producción que, al serle colocado el *kanban* de movimiento, debe retirarse y colocarse en el buzón de tarjetas de producción.

Posteriormente, un trabajador entrega dicho *kanban* de producción al responsable de fabricación del centro A. Asimismo, un trabajador encargado de vigilar la producción y las zonas de almacenamiento, al observar un *kanban* de movimiento situado en uno de los contenedores que están en el lugar correspondiente al almacenamiento de outputs del centro A, será quien transporte ese lote de productos al lugar de almacenamiento asignado para todos aquellos contenedores que tengan colocado un *kanban* de movimiento y que es, en este caso, el lugar de almacenamiento de inputs del centro B. Por su parte, el responsable de producción del centro A, al tener ahora en su poder un

kanban de producción, procederá a fabricar las piezas necesarias para llenar un contenedor con un nuevo lote de productos al que, después de colocarle el *kanban* de producción, trasladará a su almacén de outputs. Para fabricar las piezas, el centro A consumirá los correspondientes inputs de su zona de almacenamiento de inputs y, de esta forma, se vuelve a repetir el proceso con el centro C, que sería el proveedor del centro A. El proceso puede generalizarse para varios centros y una diversidad de productos.

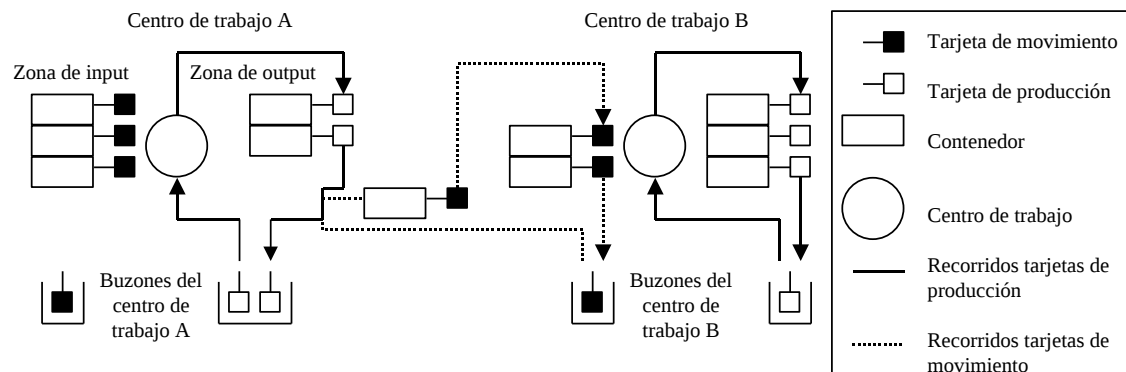


Figura 17: Funcionamiento del sistema kanban

El *kanban* es un sistema de flujos de información directa, muy sencillo y próximo a las personas encargadas de tomar las decisiones correspondientes. Por lo tanto, facilita una retroalimentación inmediata, así como una rápida acción correctora. Las reglas que rigen el empleo de las tarjetas son muy estrictas, y se pueden sintetizar en las siguientes (Monden, 1983):

1. Cada proceso recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas, del lugar adecuado y en el momento oportuno. Esta regla se acompaña de los siguientes corolarios:
 - Deberá prohibirse cualquier retirada de piezas o elementos sin la utilización del *kanban*.
 - Deberá prohibirse cualquier retirada de *kanban*.
 - Un *kanban* deberá siempre adherirse al producto físico o a un contenedor con un lote de productos.
2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente. Esto exige que:
 - Ha de prohibirse una producción mayor que el número de tarjetas o *kanban*.
 - Cuando en un proceso anterior deban producirse varios tipos de piezas, su producción habrá de seguir la secuencia con que se han entregado los diversos tipos de *kanban*.
3. Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.
4. El *kanban* habrá de utilizarse para lograr la adaptación a pequeñas fluctuaciones de la demanda: en la medida en que se incrementa la demanda, aumentaría el número de *kanban*, y viceversa.
5. El número de *kanban* debe minimizarse. Por un lado, el sistema no sería operativo con un número ilimitado de tarjetas. De ahí que, además, cuando las piezas sean muy pequeñas (y numerosas), se asigne un *kanban* a cada contenedor de piezas. Por otro lado, el *kanban* ayuda a sacar a la luz los problemas existentes en las

operaciones de fabricación. Para lograrlo, el número de tarjetas *kanban* tiene que minimizarse, para que disminuyan los niveles de existencias y se pongan de relieve los problemas que hay que mejorar.

Dado que hay solamente una tarjeta por cada lote de productos (contenedor), las existencias de productos en curso se hallan siempre limitadas por el número de tarjetas emitidas para cada pieza. Un medio de control de las existencias tan visible y flexible actúa como estímulo para una reducción deliberada de éstas. En algunas empresas se alcanza el nivel de inventarios y materiales mínimo mediante la experimentación, siguiendo el procedimiento descrito a continuación. Se retiran paulatinamente tarjetas (*kanban*) y se observa cómo evolucionan las existencias, así como sus repercusiones positivas o negativas en el sistema de fabricación. Un programa de esta naturaleza ha de incluir lo siguiente (Nakane y Hall, 1983):

- Retirada de las tarjetas necesarias para reducir los niveles de existencias en los centros de trabajo.
- Retirada de una o más tarjetas adicionales y estudio de los problemas resultantes.
- Observación de la causa real de estos problemas.
- Experimentación: Introducir cambios, empezando por los más simples y menos costosos, hasta que el sistema pueda funcionar sin dificultad.
- Repetición del procedimiento.

También existen expresiones matemáticas que permiten determinar el número ideal de tarjetas. Como ejemplo, una de las fórmulas empleadas para determinar el número de *kanban* necesario entre dos procesos sucesivos es la siguiente:

$$N = \frac{D (TE + TM)(1 + a)}{P}$$

N = número de tarjetas: todas las tarjetas de movimiento más todas las tarjetas de producción

D = nivel de producción diario (número de piezas por día)

TE = tiempo de espera para la primera tarjeta antes de empezar el mecanizado

TM = tiempo de mecanizado

P = número de piezas transferidas en cada contenedor (tamaño del lote)

a = coeficiente de seguridad

El *kanban* es una señal para dar órdenes de producción o transporte. Ahora bien, esta señal puede hacerse por cualquier medio de comunicación, desde un timbre hasta una luz que se enciende, indicando una cantidad determinada a producir (si la calidad está convenida de antemano) o a colocar en una posición definida (Huge y Anderson, 1988).

La puesta en práctica de los principios de gestión promovidos desde la producción JIT ha de ser lenta y cuidadosa, precedida de una concienzuda preparación. A Toyota le llevó veinte años desarrollar plenamente este sistema de producción, y a otros, copiándolo, les puede exigir entre cinco y diez años como mínimo para obtener resultados satisfactorios (Aggarwal, 1985). Con todo, es posible aplicar el método *kanban* con éxito en seis meses (Shingo, 1989). Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todas las operaciones permiten un sistema de tipo *pull*.