

$$Z_{i,j} = \sum_{k=1}^{Np} B_{i,k} * X_{k,j} \quad (8) \text{ para } i=1,2,\dots,Ns \text{ y } j=1,2,\dots,Tp$$

Si adicionalmente se proporciona la disponibilidad de capacidad en horas, entonces es posible responder a la pregunta indicada en el algoritmo de la figura 3.3: ¿Está disponible la capacidad? Los requerimientos de capacidad deben compararse con las disponibilidades de la misma. Para ello, se construyen las matrices O y M. La matriz O (de tamaño Ns x Tp) refleja la capacidad comprometida en otros trabajos ya programados por periodo de tiempo. La matriz M (de tamaño Ns x Tp) muestra las horas de capacidad disponibles por centro de trabajo y por periodo de tiempo. La capacidad de producción neta disponible sería la matriz R la cual se obtiene al calcular:

$$R_{i,j} = M_{i,j} - O_{i,j} \quad (9) \text{ para } i=1,2,\dots,Ns \text{ y } j=1,2,\dots,Tp.$$

Para responder a la pregunta ¿hay capacidad de producción disponible?, es necesario comparar la matriz R –Disponibilidad neta de capacidad con la matriz Z– Requerimientos de capacidad. Esta comparación se debe hacer por cada centro de trabajo y por cada periodo de tiempo. Una manera práctica de hacerlo sería efectuando el cálculo:

$$Y_{i,j} = R_{i,j} - Z_{i,j} \quad (10) \text{ para } i=1,2,\dots,Ns \text{ y } j=1,2,\dots,Tp.$$

Si en esta matriz Y aparecen negativos, significa que no hay capacidad de producción para cumplir con lo indicado en el MPS y por tanto es necesario modificar este o ampliar la capacidad. Si por el contrario no aparece negativo alguno, significa que hay capacidad de producción y por tanto puede seguirse el flujo indicado en el algoritmo.

Siguiendo la lógica de la figura 3.3, se procede a generar órdenes de compra y órdenes de fabricación. Ambas deben lanzarse como órdenes en firme, teniendo en cuenta los tiempos de suministro por componente según la estructura de producto. Las órdenes de compra van al almacén para su gestión con proveedores. Las órdenes de fabricación deberán a corto plazo detallarse en su programación, carga y secuenciación; procesos cuyas técnicas de desarrollo describiremos más adelante en este capítulo.

Otro algoritmo usado frecuentemente para hacer los cálculos MRP se denomina método por niveles. En este los cálculos se hacen directamente desde el árbol de fabricación. Sean los siguientes vectores:

- Necesidades brutas **B**
- Inventario inicial **I**
- Recepciones previstas **H**
- Órdenes planificadas **P**
- Órdenes emitidas **R**

En el siguiente algoritmo (ver figura 3.4) t varía de 1 al número de periodos de planeación y k varía de 0 al número total de niveles del árbol de fabricación. Q es el tamaño de lotificación para la parte del nivel k y periodo t . L denota el tiempo de suministro o de fabricación de la parte del nivel k . El algoritmo mostrado en la figura 3.4 solo efectúa la explosión de partes (MRP) mas no el cálculo de requerimientos de capacidad (CRP).

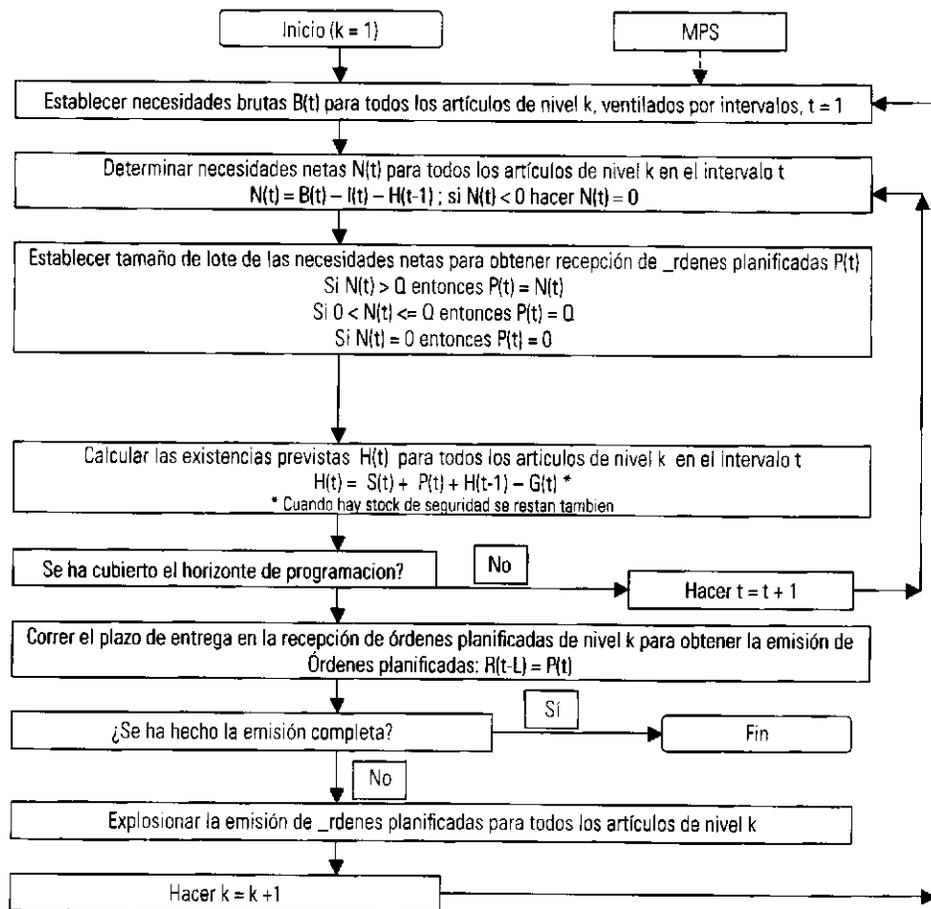


Figura 3.4 Cálculo MRP por niveles.
Fuente: Basada en los aportes de Companys (1989).

Además de los cálculos descritos por los algoritmos de matrices niveles, es importante conceptualizar sobre los siguientes aspectos que se presentan en la práctica y que es necesario definir apropiadamente antes y después de hacer estos cálculos:

- Con relación a los tiempos es conveniente diferenciarlos como lo señala Tersine, (1983).
 - Tiempo de confección del pedido, o sea el tiempo necesario para elaborar la documentación del mismo y enviarla al centro de trabajo (CT).
 - Tiempo de desplazamiento es el requerido para mover las materias primas al CT y/o para mover los componentes entre CT.
 - Tiempo de cola es el gastado por el pedido esperando a que el CT esté disponible.
 - Tiempo de preparación del CT para poder ejecutar el pedido.
 - Tiempo de ejecución del pedido.
 - Tiempo de inspección.

De todos estos tiempos, solo los de preparación y ejecución representan carga en los centros de trabajo a fin de calcular las necesidades de capacidad. El tiempo real de suministro que se produzca dependerá fundamentalmente de los tiempos de cola y del control de prioridades de los pedidos o trabajos. Todo esto implica que el tiempo de suministro resultante se desviará del planificado o no, en función de cómo se gestionen las prioridades y la capacidad.

- En relación con la determinación de la capacidad surge la problemática de establecer la unidad de medida más realista. Esta unidad puede ser medida del lado del *input* o del lado del *output*. Su elección depende del tipo de configuración productiva, número y variedad de productos. En casos en que se trabaja en configuración continua o repetitiva casi sobre el mismo producto, puede establecerse una medida del lado del *output*, por ejemplo carros por semana, cervezas por mes, etc. Este tipo de medida permite además hacer una comparación casi directa con la disponibilidad de la capacidad y el MPS.

Para el caso de empresas que trabajan por funciones y con múltiples productos, una unidad de medida del lado del *output* no es lo más apropiado. En general para la programación y control de capacidad a corto plazo es mejor emplear una medida del lado del *input* que centrada en los recursos productivos clave tenga las siguientes características, según Domínguez Machuca et ál. (1995):

- Estable, es decir que no se esté revisando continuamente, porque ello afectaría las disponibilidades y planes de capacidad.
- Representativa del factor productivo cuya capacidad se requiere medir.
- Adecuada a su objeto, es decir que permita el cálculo de la capacidad disponible y su comparación con la necesaria (por ejemplo, horas-hombre).
- Que incluya un factor de utilización real y un factor de eficiencia. El primero se refiere al cociente entre el número de horas productivas desarrolladas y el

de horas reales. El segundo, al cociente entre el número de horas estándar y el de horas productivas desarrolladas en el mismo periodo.

- Determinada la unidad de medida, el cálculo de la capacidad disponible deberá tener en cuenta ciertas condiciones normales de producción considerando número de turnos, horas por turno, días por semana, trabajadores por turno, etc., y reflejará el volumen de *output* que podría ser logrado por periodo de tiempo en condiciones normales de producción en horas reales para los factores de eficiencia y utilización dados.
- Algunas alternativas para adecuar la capacidad disponible a corto plazo son:
 - Contrataciones o despidos, que es la opción más drástica.
 - Programación de vacaciones, haciendo coincidir las vacaciones del personal con los periodos de menor demanda.
 - Horas extras o mantener tiempos ociosos en determinados periodos.
 - Mover el personal a otras actividades
 - Emplear rutas de producción alternativas
 - Subcontratar con otra empresa del sector
 - Mediante variaciones de inventarios
 - Reajustar el tamaño de los lotes de pedidos
- En relación con los tamaños de lote tanto de compra como de fabricación obtenidos a partir de las necesidades netas de la matriz X , se pueden presentar condicionantes impuestos por los proveedores o tiempos de preparación todavía apreciables que impiden que se compren o fabriquen exactamente las cantidades señaladas en dicha matriz. Existen los siguientes procedimientos heurísticos de lotificación, más o menos basados en las propiedades de la conocida fórmula EOQ, que permiten obtener soluciones satisfactorias al problema planteado:
 - Método de Silver-Meal
 - Método EOQ en tiempo
 - Método Lot-period

Tanto el plan de materiales como los requerimientos de capacidad se deben costear a fin de evaluar su factibilidad económica. Una manera de valorar estas órdenes planificadas es mediante el cálculo de costos estándar tomando valores promedio estimados para los próximos periodos en el corto plazo. Para ser consistentes con el enfoque matricial adoptado, se calcula un vector fila CS (costo estándar) en el cual cada elemento se corresponde con uno de los componentes (incluidos los productos terminados). Para el caso, este vector fila tendrá dimensión $1 \times N_p$. Sea PE otro vector fila de $1 \times N_p$ que contendrá el valor medio estimado de cada uno de los componentes de procedencia exterior (materia prima) y cero para los componentes fabricados o ensamblados. Sea PR el vector fila del precio estimado de los recursos productivos, que para el caso tendrá dimensión $1 \times N_s$. Por último, considérese

un escalar denominado CIF que corresponde al porcentaje de aplicación de costos indirectos de fabricación. Según el método matricial puede deducirse que:

$$CS_i = CM + (1 + CIF) \times PR \times TP \quad (11)$$

$$CM_{1,j} = \sum_{k=1}^{Np} PE_k * T_{k,j} \text{ para } i=1,2,\dots,Np \text{ y } j=1,2,\dots,Np \quad (12)$$

$$TP_{1,i} = \sum_{k=1}^{Tp} B_{i,k} * T_{k,j} \text{ para } i=1,2,\dots,Ns \text{ y } j=1,2,\dots,Np \quad (13)$$

A partir del costo estándar (vector CS) por producto y/o componente, podemos proyectar los flujos de caja que implica el aprovisionamiento de partes y el uso de la capacidad requerida por la programación de componentes.

En resumen, la técnica MRP nos entrega los órdenes de aprovisionamiento y las órdenes de producción (ver de nuevo figura 3.3). Las primeras se asimilan a lo que se llama en la figura 3.1 el plan de materiales (acciones de compra). Las segundas, a lo que se llama en la misma figura el plan detallado de requerimientos de capacidad por CT y periodo de tiempo. Siguiendo la figura 3.1 se está listo para la programación de operaciones que en la figura 3.3 corresponde a las actividades de programación, carga y secuenciación.

CARGA, SECUENCIACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES

A partir de que MRP_CRP determina los lotes a obtener de cada parte componente y producto final en cada momento del horizonte de programación, es necesario que cada responsable de los CT conozca las actividades concretas que ha de desarrollar en cada momento para cumplir con el mismo, de modo que se logren los objetivos establecidos en los sucesivos niveles según la figura 3.1.

La función de programación tiene por objeto establecer qué operaciones se van a desarrollar sobre los distintos trabajos, durante cada momento del horizonte de planeación, de forma que, con la capacidad disponible en cada uno de ellos, se cumplan las fechas de entrega programadas, empleando el menor volumen de recursos e inventarios posible.

Las técnicas a emplear varían dependiendo de la configuración productiva. Para producción continua, la programación es sencilla y las únicas actividades a programar serían las orientadas a ajustar el ritmo de producción en caso de que variase. Para una configuración por lotes que use distribuciones en línea para fabricar pocos productos en lotes homogéneos de gran tamaño para inventario, la programación

se refiere al orden de entrada de los pedidos en la primera máquina. En este caso se considera que los diferentes productos fabricados en un CT tienen la misma secuencia de paso por las diferentes máquinas que lo integran.

Si la distribución de las instalaciones es por funciones, se obtienen lotes de pequeño tamaño de una gran variedad de productos y componentes; las máquinas se agrupan en los CT con base en la función que desarrollan y los lotes de los diferentes artículos van de un centro a otro, y puede ser distinta la secuencia de cada lote por los centros de trabajo; así nos encontramos con el caso más complejo de programación denominado *job shop*. Para este se deben desarrollar las actividades de carga (asignar los pedidos a los CT), secuenciación (determinación de la prioridad de paso de los pedidos en los diferentes CT para cumplir las fechas de entrega) y programación detallada (determinación de los momentos de comienzo y fin de las operaciones de cada CT). Según Nahmias (1999), los objetivos más comunes al programar un taller son:

- Cumplir con las fechas (o tiempos) de entrega
- Minimizar el inventario de trabajo en proceso
- Minimizar el tiempo promedio de flujo por el sistema
- Alcanzar una alta utilización de máquinas y trabajadores
- Suministrar información exacta del estado de los trabajos
- Reducir tiempos de reparación
- Minimizar los costos de personal y producción

Es imposible optimizar todos los objetivos en forma simultánea. Los tres primeros objetivos ayudan a tener un alto nivel de servicio al cliente y con los demás se obtiene un gran nivel de eficiencia en la planta. Igualmente Nahmias (1999) considera que los asuntos importantes para determinar las reglas óptimas o aproximadamente óptimas de programación son los siguientes:

1. *El patrón de llegada de los trabajos.* Con frecuencia se considera que el problema del taller es estático, en el que se toma una "instantánea" del sistema en un punto en el tiempo y se procede a resolver el problema con base en el valor del estado actual. Sin embargo, la cantidad de trabajos que esperan ser procesados cambia constantemente. Por consiguiente, aunque muchos de los algoritmos de solución consideran que el problema es estático, la mayor parte de los problemas prácticos de programación de máquinas son de naturaleza dinámica.
2. *Cantidad y variedad de las máquinas en el taller.* Determinado taller puede tener propiedades únicas que podrían hacer difícil la implementación de una solución que se obtuvo con un algoritmo de programación. Por ejemplo, se supone que todas las máquinas de determinado tipo son idénticas. Sin embargo, no siempre es así. La capacidad de determinada máquina podría depender de varios factores,

como la condición de la máquina o la destreza del operador. Dependiendo de la distribución del taller y de la naturaleza de los trabajos, podrían existir restricciones que hicieran no factibles las soluciones obtenidas con un procedimiento general.

3. *Cantidad de trabajadores en el taller.* Tanto el número de trabajadores en el taller como la diversidad y la cantidad de las máquinas determinan su capacidad. El planeamiento de la capacidad es un aspecto importante de la planeación de la producción. Hay muchos sistemas de control, como la CEP, que no incorporan las consideraciones de capacidad en forma explícita. Además, la capacidad es dinámica. Un daño en una máquina importante o la pérdida de un empleado clave podría originar un cuello de botella y una reducción en la capacidad del taller.
4. *Patrones de flujo especiales.* Se requiere que los trabajos se concluyan en determinado orden.
5. *Evaluación de reglas alternativas.* La elección del objetivo determinará la adecuación y eficacia de una regla de secuenciación.

Asignación de carga

Según Domínguez Machuca et ál. (1995), el objetivo de la carga es asignar los pedidos a los centros de trabajo, indicando qué operaciones se realizarán en cada uno de ellos. La asignación suele hacerse de forma que el tiempo total de carga empleado o costo a asumir sea el mínimo posible. Esta carga tiene en cuenta la capacidad disponible en cada CT pero no tiene en cuenta el orden de procesamiento. Algunas técnicas son:

- **Gráficos de carga:** En función del objetivo perseguido (menor tiempo o menor costo), se comenzaría asignando cada uno de los trabajos al CT que menor tiempo o costo requiera para su elaboración, calculando la carga generada en cada centro y comparándola con su capacidad disponible para el periodo considerado. De esta comparación se obtienen sobrecargas y subcargas que implicarían reasignaciones de los trabajos desde los CT sobrecargados a otros con subcargas; se intenta mover siempre el trabajo que menor tiempo o costo implique. Esta técnica se apoya en un gráfico cuyas abscisas denotan el tiempo y las ordenadas los centros de trabajo.
- **Métodos optimizadores:** Se basan en modelos de programación matemática que pueden proporcionar una solución óptima teórica. Uno de los métodos más usados es el algoritmo de asignación de Kuhn, el cual, con base en el criterio costo, pretende asignar n operaciones a otras tantas máquinas de tal manera que cada operación se ejecute solo en una máquina, y viceversa¹.

¹ Una descripción detallada de los métodos optimizadores y de los heurísticos puede verse en Domínguez Machuca et ál. (1995).

- **Métodos heurísticos:** Estos no garantizan la consecución de una solución óptima, pero sí satisfactoria; el más usado es el método de los índices, en el cual se formalizan los criterios de costo y tiempo de duración empleados en los gráficos de carga. Su meta es lograr cero centros sobrecargados.

En los métodos anteriores se maneja el tipo de carga finita bajo la cual las operaciones se programan sin asignar carga por encima de la capacidad disponible.

Secuenciación

Según Nahmias (1999), en este paso se trata de secuenciar un conjunto de trabajos en un conjunto de máquinas de tal manera que se optimice algún criterio especificado. Domínguez Machuca et ál. (1995) afirma que la forma de desarrollar la secuenciación depende del tipo de configuración productiva de que se trate. Vollman (2004) define un programa de producción como un plan con referencia a la secuencia de tiempo asignada para la operación necesaria de completar un artículo. Esto permite pensar en un programa que tiene una serie de pasos sucesivos, o una secuencia en la que se especifican las operaciones, las restricciones secuenciales necesarias, los estimados de tiempo para cada operación y las capacidades requeridas de recursos para cada operación; estas son las entradas para desarrollar el plan o programa detallado.

Con base en los anteriores conceptos se desarrollará el tema de secuenciación, teniendo en cuenta la configuración productiva: fabricación en línea de grandes lotes y fabricación *job shop*. Se ha hecho una recopilación de Domínguez Machuca et ál. (1995), y el detalle de la secuenciación a partir de Vollman (2004) y Nahmias (1999).

Fabricación en línea de grandes lotes

Tiene como objetivo la obtención de grandes lotes de pocos artículos muy homogéneos. Cuando las unidades van pasando una a una por cada máquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo, se tiene el caso de máquina única. Cuando el paso por cada máquina se realiza de forma que hasta que no se ejecuta la operación sobre todas las unidades del lote no pasa este a la siguiente, se tiene el caso de secuenciación en varias máquinas. La tabla 3.3 resume los diferentes casos que aplican a este tipo de secuenciación.

Tabla 3.3 Casos de secuenciación.

Caso	Descripción
Máquina única	<p>La investigación sobre la programación de máquina única ha estado basada en el problema estático de cómo programar mejor un conjunto fijo de trabajos, a través de una sola máquina, cuando todos ellos están disponibles al inicio del periodo de programación y los tiempos de preparación se suponen independientes de la secuencia. Se ha supuesto que los tiempos de preparación son independientes de la secuencia. Si el objetivo es minimizar el tiempo total requerido para correr el conjunto completo de trabajos (es decir, el mínimo lapso de fabricación), no importa el orden en que se corren los trabajos. En este caso, el lapso de fabricación es igual a la suma de todos los tiempos de preparación y de corrida para cualquier secuencia de trabajos. Sin embargo, si el objetivo es minimizar el tiempo promedio que cada trabajo pasa en la máquina (tiempos de corrida, preparación y espera), entonces puede mostrarse que esto se logrará secuenciando los trabajos en orden ascendente de acuerdo con su tiempo total de proceso (preparación más corrida).</p>
Dos máquinas	<p>Este caso es un poco más complejo, aquí deben programarse ambas máquinas para satisfacer mejor cualquier criterio que se seleccione, además de considerar la secuencia de los trabajos. Se supone que cada trabajo siempre va de una máquina particular a otra. Para la investigación con base analítica, se hacen suposiciones adicionales, tales como que todos los trabajos están disponibles al inicio del programa y que todos los tiempos de preparación son independientes. Adicionalmente, si el tiempo total para correr el lote entero de trabajos ha de minimizarse, esto no asegura que el tiempo promedio que cada trabajo pase en el sistema o que el número promedio de trabajos en el sistema sean también minimizados.</p>
Tres máquinas o más	<p>Para ejercicios de tres máquinas o más se emplean algunos algoritmos ramificados, pero las soluciones son buenas solo para algunos casos sencillos. En la actualidad los métodos heurísticos, como el algoritmo de Campbell, Dudek y Smith, son el único medio para la solución de problemas de programación de flujo de taller a gran escala.</p>
Conclusiones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El tamaño de los problemas que pueden tratarse con métodos analíticos es pequeño y de aplicación limitada para el mundo real. 2. El tiempo de computadora para estos casos crece exponencialmente con el número de máquinas que tienen que programarse. 3. La medida de desempeño, la minimización del lapso de fabricación, no es la misma que minimizar el tiempo promedio en el sistema o el número promedio de trabajos en el sistema. 4. Las suposiciones de programación estática (comenzar con las máquinas ociosas y todos los trabajos disponibles) claramente influyen en el resultado. 5. Los tiempos de proceso de máquina no reflejan aleatoriedad, lo que reduciría la aplicación de las técnicas. <p>Los enfoques de despacho tratan con el problema dinámico, más que con el estático, se considera la aleatoriedad en los tiempos entre llegadas y de servicio y se brindan resultados de estado estable para el tiempo promedio de flujo, el trabajo en proceso promedio, la utilización esperada del centro de trabajo y el tiempo promedio de espera. Este método emplea reglas lógicas que guían la priorización de trabajos en una estación de trabajo.</p>

Caso	Descripción
Conclusiones	Para la programación dinámica se emplean modelos de simulación, donde se pueden examinar los desempeños de algunas reglas contra varios criterios. Se puede expandir el tamaño de los problemas estudiados, considerar los efectos de las condiciones de arranque y paro y acomodar cualquier clase de estructura de producto, patrones de tiempo entre llegadas o capacidad del taller. Los estudios de simulación atacan preguntas primarias de investigación tales como: ¿qué enfoque de despacho para la secuencia de trabajos en los centros de trabajo funciona mejor?, ¿para qué criterios?, ¿son algunas clases de reglas mejores que otras para algunas clases de criterios o clases de problemas?

Fuente: Basada en los aportes de Gaither y Frazier (1999).

Fabricación en job shop

Se presenta en empresas que trabajan sobre pequeños pedidos de artículos muy diferentes, cada uno de los cuales tiene distinta secuencia de paso por las máquinas. En general el problema consiste en secuenciar el paso de N pedidos por M máquinas, donde cada pedido tiene una ruta de producción específica. Hasta el momento no existe un método que permita optimizar esta ordenación en términos de respeto a las rutas, capacidad disponible, volumen de producción y fechas de entrega. Según A. Díaz (1994), la cantidad de soluciones a probar sería $(N!)^M$, lo que implica que a nivel práctico se empleen técnicas consistentes en reglas de envío o de prueba y error. Ninguna de las técnicas contempla simultáneamente los múltiples objetivos del problema. Generalmente se basa en el que sea prioritario para la empresa en cuestión. La tabla 3.4 expone los criterios básicos que han de satisfacer los objetivos en el problema de secuenciación en *job shop*:

Tabla 3.4 Criterios usados en estudios de programación *job shop*.

Objetivo basado en	Criterio de rendimiento
Tiempo de terminación de las órdenes	Promedio variación tiempo de flujo (Tiempo flujo = Momento terminación – Momento inicio) Promedio variación tiempo de espera (Tiempo espera = Momento terminación – Momento inicio-Tiempo proceso) Media del tiempo de flujo por operador Factor de permanencia Variación del tiempo de flujo por operación Distribución de los tiempos de flujo
Procesamiento de las órdenes	Número de órdenes en cola Número de órdenes en el taller Número de órdenes completadas Total contenido de trabajo (Total tiempo procesamiento para todas las operaciones de todas las órdenes)

Objetivo basado en	Criterio de rendimiento
Datos del procesador	Utilización de la máquina Tiempo que la máquina permanece desocupada Total tiempo de preparación
Fechas de entrega	Tiempo de retardo Porcentaje de órdenes que se entregaron a tiempo Porcentaje de órdenes retardadas Número de órdenes retardadas en cola Número de órdenes retardadas en operación
Costo	Total costo por orden Inversión en productos terminados Costo de almacenamiento de productos terminados Costo de penalización por órdenes retardadas Costos de preparación

Fuente: Traducida y recopilada de Kiran (1999).

El gráfico de Gantt es una técnica de prueba y error que permite visualizar el desarrollo en el tiempo de las operaciones de cada lote en cada centro de trabajo; para varias alternativas propuestas se pueden apreciar la coordinación de secuencias, las colas de espera y los tiempos ociosos. Esta técnica es impracticable en ambientes *job shop* en los cuales el número de pedidos, operaciones y máquinas es grande.

En las reglas de despacho (o envío) se tiene como premisa básica seleccionar una orden o trabajo para una máquina disponible moviéndose hacia adelante o hacia atrás en una escala de tiempo. La regla de envío da prioridad a una orden entre varias disponibles y no considera un criterio de programación explícito. Las principales reglas de envío se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Reglas de prioridad en la secuenciación.

Regla	Descripción
Aleatoria	Elegir cualquier trabajo en la cola con igual probabilidad. Esta regla se utiliza con frecuencia como punto de comparación de otras reglas.
PEPS	<i>Primeras en entrar, primeras en salir</i> : Esta regla se considera en ocasiones justa cuando los trabajos se procesan en el orden en que llegan al centro de trabajo
TCP	<i>Tiempo más corto de proceso</i> : Esta regla tiende a disminuir el inventario de trabajo en proceso, el tiempo promedio de terminación de los trabajos y la tardanza promedio de los trabajos.
FTE	<i>Fecha más temprana de entrega</i> : Esta regla parece trabajar bien para criterios asociados con tardanza de los trabajos.

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

RC	<i>Razón crítica:</i> Esta regla se emplea ampliamente en la práctica. Calcule el índice de prioridad utilizando (fecha de entrega - hoy)/(tiempo restante de entrega).
MTR	<i>Mínimo trabajo remanente:</i> Esta regla es una extensión de TCP que considera todo el tiempo de proceso que queda antes de que se complete el trabajo.
MOR	<i>Mínimas operaciones remanentes:</i> Otra variación de TCP que considera el número de operaciones sucesivas.
TH	<i>Tiempo de holgura:</i> Una variación del FTE que resta la suma de los tiempos de preparación y de corrida del tiempo restante antes de la fecha de entrega. El valor resultante se llama holgura. Los trabajos se corren en el orden de la cantidad más pequeña de holgura.
TH/O	<i>Tiempo de holgura por operación:</i> Una variante del TH que divide el tiempo de holgura por el número de operaciones restantes; de nuevo se secuencian los trabajos en orden con el valor más pequeño primero.
SC	<i>Siguiente cola:</i> La SC se basa en la utilización de las máquinas. La idea es considerar colas en cada uno de los centros a los que irán los trabajos y seleccionar para su proceso el trabajo que vaya a la cola más pequeña (sea medida en horas o tal vez en trabajos).
MPP	<i>Mínima preparación:</i> Consiste en elegir el trabajo que minimice el tiempo de cambio en la máquina. De esa manera se maximiza la utilización de la capacidad. Note que esta regla reconoce las dependencias entre la preparación y la secuencia de trabajos.

Fuente: Recopilada de Nahmias (1999).

Otra técnica importante para la programación *job shop* es la de producción optimizada (OPT) propuesta por Eli Goldratt, modelo de gestión de operaciones que surge de la teoría de restricciones (TOC) enunciada por este mismo autor en 1994 y que considera como eje de la programación el o los centros de trabajo que presenten limitaciones. En la tabla 3.6 se indican los pasos propuestos en pro de mejorar la programación y en la tabla 3.7 se presentan las reglas que le dan esencia a la OPT.

Tabla 3.6 Pasos para programación según OPT.

Paso	Descripción
Identificar las limitaciones	Una vez localizados aquellos recursos que, por su escasa disponibilidad, limitan el rendimiento global del sistema, estos deben explotarse al máximo, aprovechando toda su capacidad.
Decidir cómo explotar las restricciones	Si la limitación se encuentra en un determinado centro de trabajo, explotarla significaría obtener el máximo rendimiento de la maquinaria de dicho CT. Ello implicaría eliminar cualquier causa de tiempo improductivo.

Paso	Descripción
Subordinar la programación a la operación restricción	Una determinada operación restricción puede verse obligada a parar su trabajo si los recursos no limitados no le suministran los componentes que precisa. En sentido inverso, también será perjudicial que recursos no limitados y, por tanto, con exceso de capacidad, suministren a la operación restricción más componentes de los que esta pueda procesar.
Elevar la restricción	Esto significa superar las restricciones marcadas por falta de capacidad en la operación restricción. Una vez realizados los cuatro pasos anteriores, es posible que, a fuerza de mejorar la utilización de la operación limitación o de incrementar su capacidad, esta haya desaparecido. Puesto que es posible que aparezca una nueva limitación en algún otro lugar del proceso, es necesario dar el siguiente paso.
Si en los pasos anteriores se ha roto una restricción, volver al primer paso	Goldratt et ál. (1994) considera que las restricciones impactan en todas las áreas de la empresa, por lo que todo se debe subordinar a la consecución de su máximo aprovechamiento. Este comportamiento da lugar a que surjan nuevas limitaciones en este proceso de explotación y en tal sentido enuncia que: <i>Si se ha roto una limitación en los pasos anteriores, hay que volver al primer paso, pero no hay que permitir que la inercia provoque una limitación al sistema.</i>

Fuente: Domínguez Machuca et ál. (1995b).

Tabla 3.7 Reglas de programación según OPT.

Regla	Descripción
1. No se debe equilibrar la capacidad productiva, sino el flujo de producción.	No hay que preocuparse de equilibrar la capacidad de la planta, sino de intentar equilibrar el ritmo de producción de los recursos no cuello de botella (NCB) al ritmo que marca la limitación del cuello de botella (CB) y, en segundo lugar, debe intentarse elevar la capacidad de este hasta que se logre un equilibrio con la demanda del mercado.
2. La utilización de un recurso no cuello de botella no viene determinada por su propia capacidad, sino por alguna otra limitación del sistema.	En ningún caso son los recursos NCB los que determinan la facturación (o los ingresos netos) del sistema; si, además, estos trabajan por encima de la capacidad de los recursos CB, lo único que se consigue es aumentar los inventarios, no los ingresos netos.
3. La utilización y la activación de un recurso no son la misma cosa.	Goldratt explica la diferencia entre estos dos conceptos de la siguiente forma: <i>"utilizar" un recurso significa hacer uso de él para que el sistema se dirija hacia la meta. "Activar" un recurso sería como apretar el botón de "encendido" de una máquina, que comenzaría a funcionar, se sacase o no beneficio de su trabajo. Así que, activar al máximo un recurso NCB es una estupidez total (Goldratt y Cox, 1994).</i>

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Regla	Descripción
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.	Si hemos convenido que es la capacidad del cuello de botella la que, en definitiva, determina la de todo el sistema, tendremos que estar de acuerdo también en que cualquier tiempo que se pierda o cualquier disminución de su capacidad hará disminuir, en igual medida, la capacidad global del sistema.
5. Una hora ganada en un recurso no cuello de botella es un espejismo.	Si, como aconsejaba la primera regla, equilibramos la utilización de todos los recursos NCB con la capacidad del recurso CB, ello significará, obligatoriamente, que a los primeros les sobrará tiempo. Este tiempo debe permanecer ocioso si no se le da otra utilidad productiva; en caso contrario, cualquier aumento de su producción no se traducirá en un aumento de productos finales para el conjunto del sistema, sino en una acumulación de inventarios innecesarios.
6. Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.	Cuando el cuello de botella se localiza en algún CT de la empresa, la demanda será igual o superior a la capacidad del mismo, por lo que todo lo que se produzca podrá venderse. En relación con la determinación de los inventarios, la explicación puede llegar a ser bastante intuitiva, ya que está claro que estos se acumularán antes o después del cuello de botella, pero siempre debido a la restricción de capacidad que este impone.
7. El lote de transferencia puede o no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso.	La aplicación de esta regla posibilita el acortamiento del tiempo total de fabricación, pues un determinado centro de trabajo no deberá esperar a la terminación de un lote completo para comenzar su traspaso al siguiente, sino que podrá hacerlo de forma gradual a través de lotes de transferencia de menor tamaño. Con ello permite que el CT siguiente pueda comenzar antes el procesamiento de artículos, logrando disminuir, si esto se generaliza, la fecha de entrega de la producción final.
8. El lote en proceso debe ser variable a lo largo de su ruta y también en el tiempo.	En definitiva, los mensajes de la séptima y octava reglas de la teoría OPT dan la opción para acortar, dividir y solapar los lotes, con lo que resulta más fácil adaptarse al comportamiento dinámico de cualquier sistema de producción, donde los cuellos de botella pueden ser flotantes a lo largo del tiempo, dependiendo del programa de producción a realizar.
9. Las prioridades solo se pueden fijar teniendo en cuenta simultáneamente todas las limitaciones del sistema.	Con la novena y última regla, E. Goldratt pretende dejar claro que muchos de los casos en los que los resultados del proceso de fabricación no se corresponden con los esperados, no son achacables a los famosos imprevistos, sino a una deficiente forma de programar la actividad productiva.

Fuente: Domínguez Machuca et ál. (1995b).

Programación

En general los problemas de programación pueden caer dentro de una de las cuatro categorías descritas en la figura 3.5. El cuadrante III refleja el caso de industrias con un *mix* de productos fijo y con cantidades numéricas fijas y conocidas (generalmente

tiempos de operación, cantidades a producir, etc.) que determinan la naturaleza estática-determinística de sus sistemas de producción y en cuya programación de operaciones se pueden emplear técnicas de optimización. El cuadrante II corresponde a empresas con un *mix* fijo de trabajos y cantidades estocásticas, por lo que la programación puede hacerse con herramientas matemáticas-estadísticas. Muy al contrario, en el cuadrante I nos encontramos con industrias (*job shop*) cuyo *mix* de productos varía en el tiempo y cantidades numéricas estocásticas que determinan la naturaleza dinámica-estocástica de sus sistemas de producción y en cuya programación de operaciones debe emplearse la experimentación mediante simulación de eventos discretos.

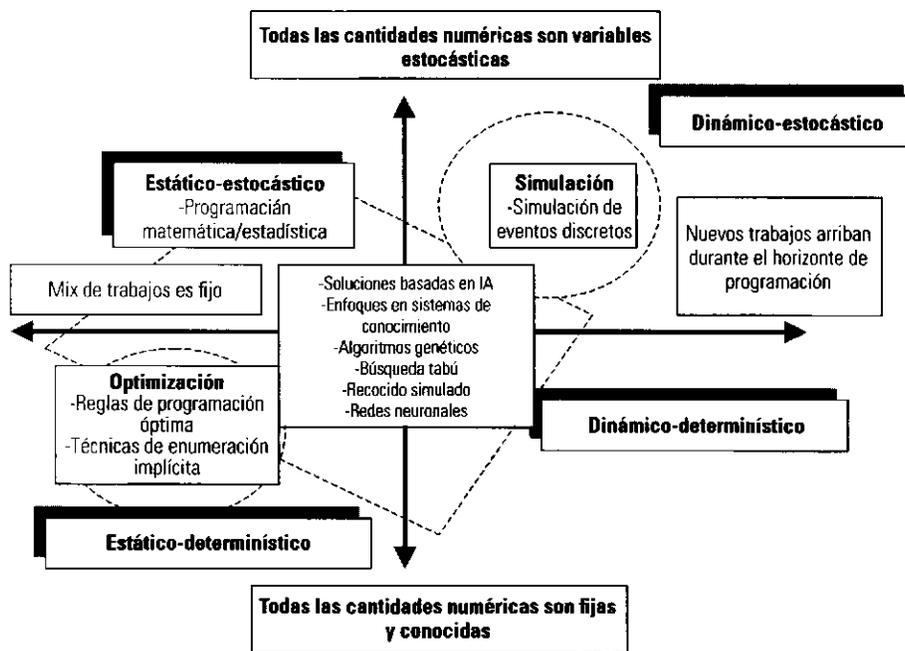


Figura 3.5 Problemas de programación.

Fuente: Traducida de *Hand Book of Simulation*, Ali S. Kiran (1999), y adaptación propia.

Antes de determinar cuál enfoque de programación usar, hay dos importantes consideraciones: los criterios de rendimiento y la disponibilidad de los datos. Un enfoque válido para un conjunto de criterios puede no ser válido para otro; por ejemplo, un enfoque basado en optimización puede fallar en situaciones donde los criterios de programación son vagos o cualitativos. Por el contrario, un enfoque basado en información precisa acerca del estado del piso del taller puede ser desastroso si los datos no son precisos. En general, los criterios de programación pueden clasificarse en tres categorías:

- Basados en el rendimiento del taller: Consideran solamente la información del tiempo acerca del comienzo y terminación de las órdenes. Entre estos están:
 - Trabajo en proceso (WIP)
 - Utilización
 - Partes completadas por día, semana, etc.
- Basados en la fecha prometida: Además de considerar las fechas requeridas por los clientes, también pueden tener en cuenta la fecha de despacho determinada. Estos criterios pueden incluir:
 - Número de despachos tardíos
 - Órdenes retrasadas
 - Otros
- Basados en el costo: Para problemas de programación industrial este criterio puede ser complicado de estimar en razón a la dificultad de obtener estimados precisos de los componentes del costo. En muchos casos, los costos están implícitos en los criterios basados en el rendimiento del taller y en la fecha prometida.

La tabla 3.5 expone los criterios más frecuentes de programación a nivel industrial. Los tres enfoques básicos (Kiran, 1999) en problemas de programación son:

- Reglas de envío y enfoques de simulación
- Enfoques analíticos de optimización
- Inteligencia artificial (IA), redes neuronales, sistemas basados en conocimiento (KB).

El enfoque de reglas de envío aplica a problemas de secuenciación como se trató en 3.3.2. Se dará a continuación una breve descripción de las orientaciones tendientes a la optimización y empleo de IA y KB. Por último nos extenderemos un poco en el enfoque de simulación por ser de amplia aplicación en ambientes *job shop*. Se considera que el 75% de las empresas en el mundo son del tipo *job shop*.

Enfoques basados en optimización

Están diseñados para desarrollar un programa óptimo que minimiza o maximiza un criterio de programación; su ventaja radica en que el criterio de programación es explícitamente considerado durante el desarrollo del programa. Requiere un tiempo considerable para obtener un programa óptimo si el número de alternativas de solución es grande. No obstante, algunos enfoques de optimización sacrifican la optimalidad en pro de la velocidad, de tal manera que una solución rápida puede no considerar todas las posibles alternativas explícitamente, pero puede seleccionar desde un subconjunto de alternativas disponibles y evaluarlas antes de alcanzar la solución. Estos últimos se clasifican como heurísticos. Algunos también pueden

clasificarse de IA y basarse en sistemas de conocimiento. Fundamentalmente se tienen los siguientes enfoques basados en optimización:

Reglas de programación óptima: Este enfoque se funda en la evaluación de un programa usando propiedades matemáticas del problema y empleando características del programa. Los programas en cuestión se generan usando un conjunto de reglas; no obstante, una vez el óptimo del programa es alcanzado por muchos casos del problema de programación que se está considerando, el programa óptimo puede ser aplicado a todos los otros problemas de esa clase. Como ejemplo de este tipo de programación encontramos la regla de Johnson para el caso general del *flow shop* con un número cualquiera de máquinas.

Técnicas de enumeración implícita: Usa análisis matemático (y a menudo programación matemática) para reducir el tamaño de la tarea computacional de obtener una solución óptima. Aquí las relaciones matemáticas se utilizan para evaluar todos los posibles programas y seleccionar los mejores de entre ellos. No obstante, una vez ha sido establecido que algunos de estos programas pueden no contener la solución óptima, se eliminan en consideraciones posteriores.

Soluciones basadas en programación matemática: Son métodos y técnicas desarrollados para solucionar problemas de optimización con restricciones. Se basan en la estructura matemática de la relación entre los componentes del problema. Específicamente son la programación lineal y la programación entera que plantean los problemas de programación de producción en términos de minimizar (o maximizar) una función objetivo sujeta a unas restricciones, donde la función objetivo y las restricciones se refieren como funciones matemáticas. La estructura de este tipo de soluciones es flexible en la representación de muchos tipos de problemas; sin embargo, el tiempo de computación es alto incluso para algunos problemas de tamaño moderado.

Enfoques basados en inteligencia artificial

Este tipo de soluciones son un área de desarrollo que promete mucho en razón al avance de la computación. El enfoque básico es desarrollar programas factibles para satisfacer las restricciones, de allí que algunas veces se le llame programación basada en restricciones. Los sistemas de programación basados en inteligencia artificial están aún en fase de desarrollo y su tiempo de solución puede no ser aceptable donde se presenta un alto número de reglas de secuenciación. Las principales técnicas son:

Enfoque basado en reglas y conocimiento: Confía en la regla que un experto puede utilizar para evaluar y desarrollar un programa. Se compone de:

- Una base de datos que almacena las reglas aplicables en un formato que puede ser procesado por el componente lógico.

- Un módulo de entrada-salida que busca las órdenes a ser programadas, manteniendo la pista de las órdenes programadas y los criterios en que se basa el objetivo; presenta los resultados al usuario.
- Un componente lógico que procesa los datos usando las reglas dadas en la base de datos.

Algoritmos genéticos: Imitan la teoría darwiniana de la selección natural. La idea básica es modificar un conjunto inicial de soluciones alternativas para generar un nuevo conjunto de soluciones, con la esperanza que estas últimas estén cerca de una solución óptima. Las nuevas soluciones han de asemejarse a sus descendientes mediante cruce de los genes de sus soluciones parientes. Después que bastantes alternativas se generan y evalúan, se presenta la mejor solución encontrada.

Búsqueda tabú: Esta técnica intenta evitar parar sobre un óptimo local cuando un mejoramiento inmediato parece ser posible por búsqueda en soluciones vecinas. Para evitar ciclar sobre el mismo hilo de soluciones, todas las soluciones desarrolladas durante las últimas m iteraciones pueden mantenerse y chequearse. Esta técnica de búsqueda aplicada en problemas de programación de producción confía sobre todo en el desarrollo de secuencias vecinas que difieren de la solución actual por un intercambio de dos de los trabajos.

Recocido simulado (simulated annealing): Obtiene su nombre del proceso físico de calentamiento de un sólido hasta que se derrite y que por medio de enfriamiento se torna un sólido con baja liberación de energía. La aplicación de este proceso en problemas de optimización combinatoria, específicamente problemas de programación, es similar a la búsqueda tabú: ya que en lugar de seleccionar el vecino con el mejor valor de la función objetivo, el recocido simulado aleatoriza la selección de la próxima solución inicial. Esta técnica ha sido aplicada a algunos problemas de programación *job shop* exitosamente, según lo expresan Aarts and Korst (1989).

Redes neuronales artificiales: Sistemas de procesamiento de información que son motivados por los objetivos de reproducir los modelos de procesos cognitivos y organizacionales de los sistemas neurobiológicos (Rabelo et ál., 1989). La idea básica es el reconocimiento de patrones y reglas que están embebidas en un buen programa de producción. Esta técnica logra esta tarea a través de una red topográfica bien definida y un patrón de reglas de entrenamiento de las neuronas. La aplicación a la programación incluye la identificación de una heurística basada en despacho (Hopfield, 1988)².

Enfoque de simulación para programación en *job shop*

² Al final de este capítulo, en la tabla 3.9 el lector puede ver el resumen de algunas investigaciones recientes que han aplicado las técnicas mencionadas.

Ampliaremos el tema sobre programación en *job shop*, en razón a que muchas pymes emplean este tipo de configuración productiva. *Job shop* hace referencia a aquella en la cual se producen lotes más o menos pequeños de una amplia variedad de productos de poca o nula estandarización (son "a medida" o con varias opciones personalizadas), empleándose equipos de escasa especialización, que por lo general se agrupan en talleres o centros de trabajo (CT) a partir de las funciones que desarrollan. Estos equipos suelen ser versátiles y permiten ejecutar operaciones diversas, por lo que puede alcanzarse una amplia variedad de *outputs*.

Las configuraciones *job shop* se dividen en *configuraciones tipo batch* en las que se ofrece un catálogo cerrado de productos al cliente, se trabaja bajo pedido y hay una cierta especialización de los empleados (e. g., la industria del mueble, del calzado, de la confección, los talleres para vehículos, los restaurantes, etc.) y *configuraciones en talleres* en las que el catálogo de productos es casi ilimitado y por tanto hay poca homogeneidad en los mismos, pues la producción se adapta a los requerimientos del cliente. Por otra parte, esto exige una gran formación de los trabajadores ya que han de dominar muchos aspectos del proceso productivo. Este tipo de procesos es el menos eficiente en términos de productividad pero el más flexible según el cliente.

En un ambiente *job shop* un conjunto de órdenes a menudo se refiere a trabajos, partes, productos, etc., que pueden requerir una o más operaciones, dadas por un plan de trabajo (enrutamiento de los trabajos a través del sistema). El plan de procesos especifica cada operación y sus requerimientos, como recursos y tiempo requerido, además de la secuencia de las operaciones. En general, pueden presentarse recursos alternativos y las operaciones mismas pueden sustituirse por otras operaciones basadas en consideraciones de disponibilidad y rendimiento. La programación en este caso usualmente se refiere a la determinación de un conjunto de órdenes que serán procesadas por los recursos durante un corto periodo (día, semana, etc.). La selección de este periodo, horizonte de programación, puede ser parte de la decisión. En la figura 3.6 se ilustra de forma básica una configuración *job shop* que muestra en particular los procesos, sus rutas y la distribución del equipo en planta.

En muchos casos los objetivos de programación no pueden establecerse en términos cuantificables. Adicionalmente, se trata de reducir el impacto negativo de eventos aleatorios, como fallas de las máquinas, ausentismo del personal, retrabajos, etc. Aquí el problema de la programación es la determinación del comienzo y el tiempo de terminación para cada operación de cada orden de tal manera que:

- Las restricciones no se violen.
- Alguna función escalar del comienzo y tiempo de terminación se minimice (o maximice).

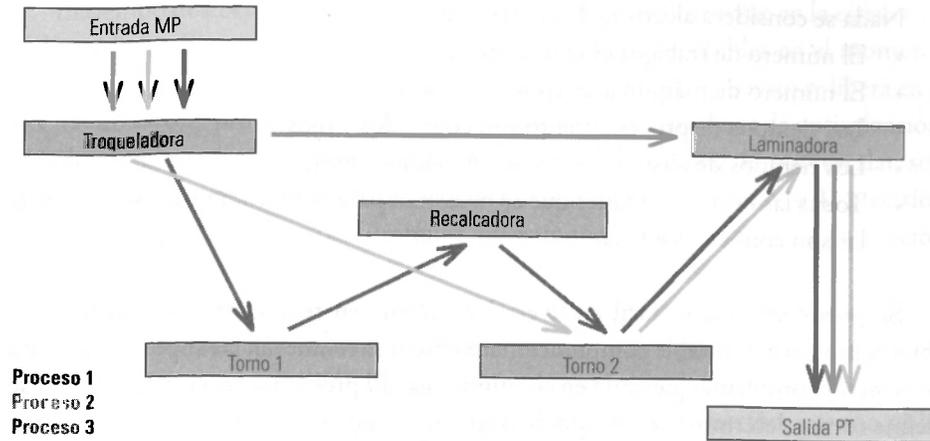


Figura 3.6 Configuración típica de un *job shop*.
Fuente: Elaboración junto con Vladimir Delgado.

La siguiente lista incluye las suposiciones restrictivas de los problemas de programación de talleres:

- Cada trabajo se compone de distintas operaciones. Dos operaciones del mismo trabajo pueden procesarse simultáneamente.
- Cada operación, una vez iniciada, debe completarse antes que otra operación pueda iniciarse en la máquina.
- Cada trabajo tiene m distintas operaciones, una en cada máquina. No se permite la posibilidad que un trabajo pueda requerir procesamiento doble en la misma máquina. Además, cada trabajo se procesa sobre cada máquina; no puede saltar máquinas.
- Cada trabajo debe completarse hasta su terminación.
- Cada tiempo de preparación es una secuencia independiente, es decir, el tiempo tomado para ajustar una máquina para un trabajo es independiente del último trabajo procesado.
- El tiempo para mover un trabajo entre máquinas no se considera.
- Se permite el inventario en proceso. Esto es, los trabajos pueden esperar a que la próxima máquina esté libre.
- No se permiten máquinas opcionales en el procesamiento de un trabajo.
- Las máquinas solo pueden realizar una operación a la vez.
- Las máquinas nunca paran (por ejemplo por fallos) y están disponibles a través del periodo de programación.
- Las restricciones tecnológicas son conocidas e inmutables en el avance del programa.

- Nada se considera aleatorio. En particular:
 - El número de trabajos es conocido y fijo
 - El número de máquinas es conocido y fijo
 - Los tiempos de procesamiento son conocidos y fijos
 - Los tiempos de alistamiento son conocidos y fijos
 - Todas las otras cantidades que se necesitan para definir un problema particular son conocidas y fijas.

Se puede ver que es fácil resolver el problema en teoría, pero se convierte en muy complejo e intratable computacionalmente si se remueven las suposiciones para presentar el problema que se da en el mundo real. El problema general del *job shop* se define como: determinar el tiempo de comienzo y terminación de cada operación de cada trabajo que espera a ser procesado y que satisfaga lo siguiente:

- Las restricciones tecnológicas o procesamiento del orden de cada trabajo sobre todos los recursos.
- Optimizar, minimizando o maximizando una función objetivo; o satisfacer restricciones, obteniendo un rendimiento razonable con respecto a uno o más criterios de programación.

El término criterio de programación define una función de valor escalar, la cual mide el rendimiento o efectividad de un programa particular. El procesamiento de una orden en un recurso se llama operación. Cada trabajo debe procesarse a través de las máquinas en un orden particular y puede no tener relación un trabajo con otro.

Un caso especial del problema de programación *job shop* se define como el problema *flow shop*, en el cual todos los trabajos van a través del mismo orden de procesamiento. Cada operación requiere una longitud de tiempo determinística o estocástica para ser completada, el cual es referido como el tiempo de procesamiento. Este es asumido en la secuencia como una condición independiente, lo que es una suposición bastante cuestionada. Cada operación puede requerir un tiempo de preparación, el cual se asume que es dependiente de la secuencia.

Cada trabajo puede, también, tener asignada una fecha de entrega, que puede ser determinada por circunstancias externas, como demanda estacional o fecha requerida por el cliente. En algunos casos, la fecha de entrega puede establecerse internamente; por ejemplo, al completar componentes para ensamblar un producto (MRP). A cada trabajo se le puede dar una fecha de liberación o el momento del tiempo en que la primera operación puede comenzar. Todas las cantidades numéricas (tiempos de procesamiento, fechas de entrega, etc.) se asumen como conocidas en el problema de programación determinística. En el mundo real, no obstante, muchas de esas cantidades son estocásticas.

El tiempo de liberación de los trabajos influye considerablemente en la estructura del problema. Si se asume que todos los trabajos están disponibles en el momento cero, el problema se llama estático. Si un subconjunto de los trabajos no se libera en el momento cero, el problema se define como dinámico. Los enfoques de optimización, donde se intenta minimizar o maximizar una función objetivo de tipo escalar, son apropiados para problemas estáticos determinísticos. De otro lado, si la precisión y disponibilidad de los datos disminuye, un enfoque basado en reglas y simulación puede ser más apropiado.

Los enfoques basados en simulación se derivan de los enfoques basados en reglas de envío. En un escenario basado en simulación, una o más reglas de despacho pueden usarse para tomar una decisión cuando un recurso se torna disponible. El modelo de simulación representa los detalles de las situaciones de programación, que son útiles en comunicar la dinámica del sistema de producción a varios niveles de personal dentro de la organización gracias a la ayuda visual que ofrece la simulación.

Desde el punto de vista de la simulación, un *job shop* se considera como una red de encolamientos donde un pedido puede requerir varias operaciones en diferentes máquinas y tiene que esperar en varias colas. Si los pedidos arriban a la planta aleatoriamente sobre el tiempo, nos referimos a un *job shop* dinámico. La tabla 3.8 muestra de manera resumida los principales componentes de un modelo de simulación para *job shop*.

Tabla 3.8 Componentes de una simulación para *job shop*.

Componente	Descripción
Arribo de pedidos	Se dan los siguientes casos: <ul style="list-style-type: none"> • Liberación instantánea de los pedidos: Se considera que el tiempo entre arribos es definido como una variable que se genera aleatoriamente. • Liberación periódica de todos los pedidos disponibles al comienzo del periodo de programación. • Reunión de pedidos: Un subconjunto de las órdenes disponibles es liberado al comienzo de cada periodo de programación. La liberación subsecuente puede basarse en la carga del taller y en características de las órdenes.
Procesamiento y tiempos de preparación	Se pueden dar los dos siguientes enfoques: <ul style="list-style-type: none"> • Generar el actual tiempo de procesamiento desde una distribución de probabilidad especificada, como por ejemplo la distribución exponencial. • Cuando el conocimiento del programador sobre los tiempos es no preciso y el tiempo de proceso fluctúa durante la operación del día a día debido a factores no controlables, se genera aleatoriamente una tasa del factor de trabajo y se multiplica por el tiempo estimado para obtener el actual tiempo requerido. Las distribuciones exponencial y uniforme se emplean a menudo para estimar los tiempos; y las distribuciones triangular, normal o uniforme para generar la tasa del factor de trabajo.

Componente	Descripción
Número de máquinas	El número de máquinas usado en modelos de simulación varía ampliamente. En modelos hipotéticos diseñados para evaluar el rendimiento de reglas de programación, el número de máquinas varía de 4 a 15. Parece haber un consenso en que un modelo de 4 máquinas es suficientemente grande para que sus resultados puedan ser extrapolados a sistemas más complejos.
Enrutamiento de trabajos	Determina la secuencia requerida de operaciones para predecir el patrón de viaje de los pedidos entre máquinas. En sistemas reales, algunos o todos los pedidos pueden tener rutas alternativas de tal manera que una operación puede ser ejecutada sobre una de un conjunto de máquinas. Dos enfoques son posibles cuando existe enrutamiento alternativo: <ul style="list-style-type: none"> • Colocar el pedido en todas las colas de operación factibles. Ejecuta la operación sobre la primera máquina disponible, removiendo el pedido desde otras colas cuando este es asignado a la máquina. • Asigna el pedido a una máquina ociosa que es capaz de ejecutar esa operación; si no hay máquina disponible, coloque el pedido en una cola acorde a una regla de envío (longitud de cola más corta, mínimo trabajo en cola, etc.).
Utilización de máquinas	Los efectos combinados de la distribución de los arribos, el enrutamiento de trabajos y los tiempos de procesamiento determinan la utilización de las máquinas. Esta utilización es importante porque afecta la longitud de las colas. Si la longitud promedio de las colas es muy pequeña, las reglas de programación usadas en el modelo pueden no discriminar la selección de pedidos, lo cual dificulta evaluar la efectividad de la regla de programación.
Fecha prometida de entrega	Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones al asignar esta fecha: <ul style="list-style-type: none"> • Asignación estática: no se tiene en cuenta el estado del piso de producción cuando la orden arriba. • Asignación dinámica: tiene en cuenta datos como el nivel de carga del piso de producción. • La asignación de la fecha de entrega y las decisiones de secuenciación pueden ser consideradas conjunta y simultáneamente como dos factores dependientes en el proceso de programación.
Reglas de prioridad, despacho y heurísticas	Una regla de prioridad se define como un método de asignación de un valor escalar a cada pedido en una cola para propósitos de programación. Una regla de envío (o despacho) se define similarmente pero implica que después que las prioridades son asignadas, el trabajo con la más alta prioridad será despachado a una máquina disponible. Finalmente, una heurística implica que reglas matemáticas más complejas son usadas en determinar las prioridades.

Fuente: Recopilada y traducida de *HandBook of Simulation*, Ali S. Kiran (1999).

La tabla 3.9 muestra las medidas de rendimiento, variables de decisión y preguntas que pueden responderse con un estudio de simulación en un ambiente *job shop*. La figura 3.7 presenta un modelo de simulación para un ambiente *job shop* empleando el software de simulación ProModel.

Tabla 3.9 Medidas, variables de decisión y preguntas que se resuelven con un modelo de simulación *Job Shop*

Concepto	Descripción
Medidas de rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo para completar un conjunto de trabajos (<i>makespan</i>) • Número de trabajos tardíos • Retraso promedio de los trabajos terminados • Utilización del equipo
Variables de decisión	<ul style="list-style-type: none"> • Regla de selección de trabajo • Secuencia en que se procesan los trabajos • Enrutamiento de un trabajo particular • Los recursos asignados a los trabajos • Tamaño de lote de transferencia
Preguntas a responder	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el programa óptimo que minimice el <i>makespan</i>? • ¿Cuál es el programa óptimo que minimice el número de trabajos tardíos o la tardanza promedio? • ¿Cuál es el programa óptimo que minimice el tiempo promedio de flujo? • ¿Cuál es el tamaño de lote óptimo que minimice el tiempo efectivo promedio de todas las partes manufacturadas en el sistema?

Fuente: Recopilada y traducida de *HandBook of Simulation*, Ali S. Kiran (1999).

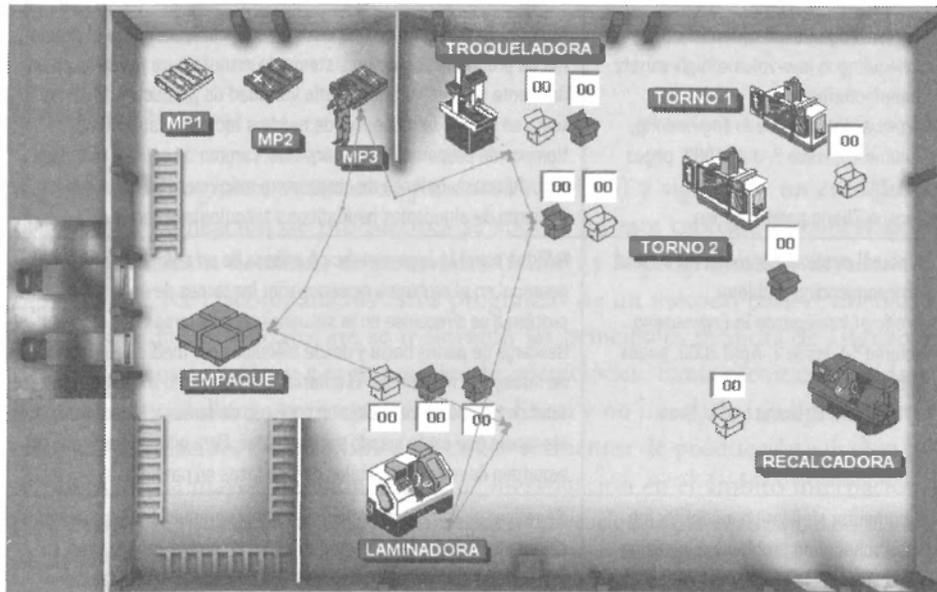


Figura 3.7 Vista de un modelo de simulación *job shop*.
Fuente: Elaboración junto con Vladimir Delgado.

Investigación avanzada en programación de producción

La tabla 3.10 muestra algunos estudios de investigación recientes en programación de producción, empleando técnicas de optimización y simulación.

Tabla 3.10 Estudios de investigación recientes en programación.

Artículo	Resumen
<p>Investigating the use of genetic programming for a classic one-machine scheduling problem <i>Advances in Engineering Software</i>, Volume 32, Issue 6, June 2001, pages 489-498 C. Dimopoulos and A. M. S. Zalzalá</p>	<p>Comentan los autores que la programación genética raramente se emplea en optimización de programas de producción. El artículo aborda el uso potencial de la programación genética en la solución del problema de tardanza total para el caso de una máquina. La programación genética se utiliza para medir la evolución de las políticas de programación en la forma de reglas de envío. Estas reglas son entrenadas para hacer frente a diferentes niveles de tardanza y tirantez de las fechas prometidas de entrega.</p>
<p>A fast tabu search algorithm for the group shop scheduling problem <i>Advances in Engineering Software</i>, Volume 36, Issue 8, August 2005, Pages 533-539 S. Q. Liu, H. L. Ong and K. M. Ng</p>	<p>Aborda el problema de programación de taller mixto: <i>flow shop</i>, <i>job shop</i> y <i>open shop</i>, que se emplea en problemas de <i>benchmarking</i> y recibe el nombre de <i>group shop</i>. Mediante la técnica de búsqueda tabú aseguran que su algoritmo es más eficiente y rápido que otros métodos expuestos en la literatura.</p>
<p>A knowledge-based dynamic job-scheduling in low-volume/high-variety manufacturing <i>Artificial Intelligence in Engineering</i>, Volume 13, Issue 3, July 1999, pages 241-249 Yaoxue Zhang and Hua Chen</p>	<p>Reporta el desarrollo de una base de conocimientos para el problema de programación de un sistema de manufactura <i>job shop</i> en un ambiente de bajo volumen y alta variedad de productos. El sistema toma en cuenta la influencia de muchos factores, tales como tiempos de preparación de máquinas, cambio de celdas, remplazo de máquinas y balance de carga entre máquinas. Se basa en un conjunto de algoritmos heurísticos y tecnología intranet.</p>
<p>A neural network approach for a robot task sequencing problem <i>Artificial Intelligence in Engineering</i>, Volume 14, Issue 2, April 2003, pages 175-189 O. Maimon, D. Braha and V. Seth</p>	<p>Informa sobre la implementación exitosa de un enfoque de red neuronal en el problema de secuenciar las tareas de un robot. El problema se direcciona en la secuenciación de tareas de carga y descarga de partes hacia y desde máquinas por medio de un robot de manejo de materiales. El criterio de rendimiento a minimizar es el total de tiempo de viaje para un conjunto de tareas y la tardanza de las tareas que están siendo secuenciadas. Para ello se desarrolló un algoritmo de redes neuronales de tres fases en paralelo.</p>
<p>A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan <i>Computers & Industrial Engineering</i>, Volume 48, Issue 4, June 2005, pages 811-823 R. Tavakkoli-Moghaddam and M. Daneshmand-Mehr</p>	<p>Se refiere el artículo al problema de la programación y secuenciación de trabajos sobre las máquinas en un ambiente <i>job shop</i>. La idea es secuenciar los trabajos en las diferentes máquinas persiguiendo el objetivo de minimizar el tiempo total de procesamiento. Para lograr esto los autores desarrollaron un modelo de simulación mediante el software SLAM.</p>

<p>Maintenance scheduling and production control of multiple-machine manufacturing systems <i>Computers & Industrial Engineering</i>, Volume 48, Issue 4, June 2005, pages 693-707 A. Gharbi and J.-P. Kenné</p>	<p>El objetivo de esta investigación es encontrar las tasas de producción y mantenimiento preventivo para las máquinas a fin de minimizar el costo total de inventario, reparación y mantenimiento preventivo. Se presenta un modelo de control jerárquico a dos niveles y se describe la estructura de la política de control para sistemas de manufactura idénticos y no idénticos usando parámetros referidos como factores de entrada. Por combinación de formalismos analíticos con herramientas estadísticas basadas en simulación, tal como el diseño experimental y la metodología de superficies de respuesta, se determina una aproximación de la política de control óptima.</p>
<p>Optimisation-based scheduling: A discrete manufacturing case study <i>Computers & Industrial Engineering</i>, Volume 49, Issue 1, August 2005, pages 118-145 Michael C. Georgiadis, Aaron A. Levis, Panagiotis Tsiakis, Ioannis Sanidiotis, Constantinos C. Pantelides and Lazaros G. Papageorgiou</p>	<p>Este trabajo presenta el desarrollo e implementación de un sistema de programación de producción para una empresa del sector eléctrico. Basándose en recientes avances de enfoques de programación optimizada, se presentan dos arquitecturas de software para dos formulaciones de programación llamadas RTN y STN, que se proponen para integrar la información disponible en diferentes unidades de producción con sus estados mediante herramientas algorítmicas formales.</p>

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN

A partir del programa maestro de producción (MPS) y siguiendo un enfoque jerárquico de planeación de producción, se abordó en este capítulo lo concerniente a la programación detallada de materiales (MRP) y la programación detallada de capacidad (CRP), acompañados estos programas de un método para el cálculo de costos estándar. Seguidamente se mostraron las principales técnicas de asignación de carga, secuenciación y programación de operaciones. Estas técnicas consideran herramientas analíticas como programación lineal y no lineal, de inteligencia artificial y de simulación. Se hizo hincapié en los ambientes de producción *job shop* por ser estos los de mayor atención a nivel de investigación en el ámbito internacional. Finalmente, se muestran algunos resúmenes de investigaciones realizadas en el campo de la programación de producción.

REFERENCIAS

1. Gharbi, A. and Kenné, J.-P. (2005). "Maintenance scheduling and production control of multiple-machine manufacturing systems", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, Issue 4, June 2005, pp. 693-707.
2. Aarts, E. & Korst, J. (1989). *Simulating Annealing and Boltzman Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing*. Wiley, New York.
3. Adam, E. & Ebert, R. (1991). *Administración de la producción y de las operaciones*, cuarta ed. Prentice Hall, México D. F.
4. Barriga Manrique (1998). "La gestión de la pequeña y mediana industria en los países miembros del grupo andino. Informe global". Documento de investigación. Universidad Eafit, Medellín, Colombia.
5. Dimopoulos, C. and Zalzalá, A. M. S. (2001). "Investigating the use of genetic programming for a classic one-machine scheduling problem". *Advances in Engineering Software*, vol. 32, Issue 6, June 2001, pp. 489-498.
6. Chase, R. B.; Aquilano, N. J. & Jacobs, F. R. (2000). *Administración de la producción y las operaciones*, 8ª ed. McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
7. Companys Pascual, R. (1989). *Planificación y programación de la producción*. Editorial Marcombo, Barcelona, España.
8. Domínguez Machuca, J. A.; Álvarez Gil, M. J.; Domínguez Machuca, M. A.; García González, S. & Ruiz Jiménez, A. (1995a). *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. McGraw-Hill, Madrid, España.
9. Domínguez Machuca, J. A.; Álvarez Gil, M. J.; Domínguez Machuca, M. A.; García González, S. & Ruiz Jiménez, A. (1995b). *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. McGraw-Hill, Madrid, España.
10. Gaither, N. & Frazier, G. (2000). *Administración de la producción y operaciones*. 8ª ed. Thompson Editores, México, D. F.
11. Goldratt, E. M. & Cox, J. (1994). *La meta. Un proceso de mejora continua*. Ediciones Castillo, México, D. F.
12. Hopfield, J. J. (1988). *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. *Neural networks. Theory and application*, pp. 2554-2558.
13. Martinich, J. S. (1997). "Production and operations management", John Wiley, New York.
14. Michael C. Georgiadis, Aaron A. Levis, Panagiotis Tsiakis, Ioannis Sanidiotis, Constantinos C. Pantelides and Lazaros G. Papageorgiou. (2005). "Optimisation-based scheduling: a discrete manufacturing case study". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 49, Issue 1, August 2005, pp. 118-145.
15. Nahmias, S. (1999). *Production and Operations Analysis*, third edition, ed. Irwin, Chicago, USA.
16. O. Maimon, D. Braha and V. Seth (2003). "A neural network approach for a robot task sequencing problem". *Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 14, Issue 2, April 2003, pp. 175-189.
17. Oimsby & Tinsby (1991).

18. Rabelo, L.; Alptekin & A. S. Kiran (1989). *Synergy of artificial neural networks and knowledge-based expert systems for intelligent FMS scheduling*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 361-366.
19. Russell, R. & Taylor, B. [1998]: *Operations Management. Focusing on Quality and Competitiveness*. Second Edition, Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.
20. R. Tavakkoli-Moghaddam and M. Daneshmand-Mehr. (2005). A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 48, Issue 4, June 2005, pp. 811-823.
21. Schroeder, R. (2003). *Administración de operaciones. Toma de decisiones en la función de operaciones*. 4ª ed. McGraw-Hill. México, D. F.
22. S. Q. Liu, H. I. Ong and K. M. Ng. (2005). A fast tabu search algorithm for the group shop scheduling problem. *Advances in Engineering Software*, vol. 36, Issue 8, August 2005, pp. 533-539.
23. Vollmann, T.; Berry, W. & Whybark, C. (2004). *Sistemas de planificación y control de la fabricación*. 4ª ed. McGraw-Hill/Irwin. Santa Fe de Bogotá D. C. Colombia.
24. Yaoxue Zhang and Hua Chen. (1999). A knowledge-based dynamic job-scheduling in low-volume/high-variety manufacturing. *Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 13, Issue 3, July 1999, pp. 241-249.

4. ESTUDIO DEL TRABAJO¹: HERRAMIENTAS PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EMPRESARIAL

Fredy Becerra Rodríguez
Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

INTRODUCCIÓN

Ya se ha expresado ampliamente el imperativo que las organizaciones de hoy tienen en un ambiente altamente competitivo y al cual deben responder mediante la definición de estrategias de orden general, organizacional y funcional, y su aplicación metódica en todos los niveles, donde la meta fundamental está constituida por la productividad como elemento base en la construcción de la competitividad empresarial. La productividad se refleja en la eficiencia y efectividad en la interacción de los elementos que componen el sistema de producción y operaciones² en las empresas productoras de bienes y servicios. En general, implica aumentar el número de unidades producidas por hora o tiempo utilizado; además, el análisis que determina la eliminación de funciones y procesos que no le dan rentabilidad a las organizaciones (Niebel et ál., 2004). En esencia, lo que está en juego hoy es la reducción de costos sin detrimento de la calidad de los productos y servicios ofertados por las empresas.

La productividad es la preocupación fundamental del estudio del trabajo, (ET) que, aunque tradicionalmente se ha enfocado al área de producción de las empresas, hoy se reconoce su importancia en otras funciones (administrativas, logística, diseño, entre otras) y se ha ampliado su actuación a la industria de los servicios. En ambos casos, el ET toma mayor relevancia en la medida en que, gracias a las nuevas tecnologías de fabricación e información, ha habido un desplazamiento del trabajo humano de un sinnúmero de operaciones de transformación, especialmente en las de alto riesgo o de extremada repetibilidad; por otro lado, la creciente terciarización

¹ Otros conceptos utilizados como sinónimos del estudio del trabajo son: análisis de operaciones, ingeniería de métodos y tiempos, simplificación del trabajo.

² El término "operación" se concibe para denotar no solo actividades de transformación de bienes materiales, sino también todas aquellas realizadas en empresas de servicios, actividades de orden administrativo y de control (oficina).

de la economía que ha posibilitado la aparición de nuevos sistemas de negocios basados en el *outsourcing*, donde las exigencias para realizar procesos eficientes hacen necesaria la aplicación de metodologías y técnicas como las que provee el ET.

Este capítulo aborda, en primer lugar, una breve historia del ET teniendo en cuenta los hitos principales y los personajes que fueron pioneros en su desarrollo. En segundo lugar se centra en el ET haciendo énfasis en que la aplicación de los conceptos, las herramientas y técnicas que lo componen, son en esencia procesos de innovación y desarrollo tecnológico. Aquí se presentan los tres conceptos que, podría decirse, son fundamentales en esta área de la ingeniería industrial: estudio de las operaciones y procesos –ingeniería/estudio de métodos (*motion study*)–, medición del trabajo (*time study*) y manejo de materiales.

De acuerdo con lo anterior se exponen, en primera instancia, conceptos, técnicas y herramientas de la ingeniería de métodos, para lo cual se toma como unidad de análisis el “puesto de trabajo”, en tanto que este concepto permite, bajo un enfoque sistémico, estudiar los elementos que lo constituyen: ser humano, máquina, material, procedimiento, configuración espacial. Y así mismo interpretar un proceso productivo cualquiera como un conjunto de puestos de trabajo interrelacionados.

En segunda instancia se expone la medición del trabajo, como fundamento para determinar la capacidad de producción en las operaciones y el proceso, y en este sentido la definición, dentro de ciertos límites, de la productividad de todo el sistema de producción de bienes y servicios en la empresa. Aquí se presentan las principales técnicas para el establecimiento del denominado “tiempo estándar”, agrupadas en tres categorías: basadas en la experiencia, observación y medición directa y tiempos predeterminados.

Finalmente se aborda, como un caso especial dentro del estudio del trabajo, el manejo de materiales, que en sí mismo constituye un agregado de operaciones para el flujo de estos, el cual, al no introducir modificaciones en la conformación final del producto o servicio, incide de manera notable en los costos operacionales de todo el sistema productivo y por tanto debe ser sometido al análisis de métodos de manejo y a la disminución de tiempos demandados por estas operaciones.

HISTORIA DEL ESTUDIO DEL TRABAJO

Se puede asegurar que el estudio del trabajo existe desde que existe el *Homo sapiens*; acceder al alimento y al abrigo le planteó problemas suficientes que lo condujeron al desarrollo –probablemente intuitivo– de herramientas y métodos o procedimientos para obtenerlos, y más adelante a la solución de problemas de “ingeniería” más complejos, derivados de la conformación de asentamientos humanos.

Este hecho dificulta encontrar en la cronología un momento exacto para ubicar la preocupación por la productividad y por lo tanto el estudio de los sistemas productivos y de las operaciones. Siglos atrás, ya se ponían en práctica diferentes tipos de producción, pero en sí el análisis básico productivo ha sido una incógnita hasta ahora. No obstante, en los siglos XVIII y XIX, dentro del contexto de la revolución industrial en Inglaterra y su influencia en los Estados Unidos de América, aparecen los trabajos realizados por algunos autores como Adam Smith (1723-1790), John Stuart Mill (1806-1873), Alfred Marshall (1842-1924), Richard Arkwright (1732-1792), Charles Babbage (1792-1871) y William S. Jevons (183-1882), que marcan hitos en el estudio de la eficiencia en las empresas desde perspectivas económicas y técnicas (Dillanés, 2006).

Pero los desarrollos más sistemáticos conducentes al estudio de la eficiencia productiva datan de los comienzos del siglo XX, con los trabajos de Frederick W. Taylor (1856-1915), Henry Gantt (1861-1919), Frank B. Gilbreth (1868-1924) y su esposa la psicóloga Lillian Moller Gilbreth, y Harrington Emerson (1853-1931). Taylor, considerado el padre de la "administración científica"³, da las bases fundamentales para los estudios de tiempos y movimientos mediante el análisis exhaustivo de la "tarea" asignada al trabajador. Daniel A. Wren, en su libro *The Evolution of Management Thought*, citado por Kilgore (1997), describe las aproximaciones de Taylor como analista del trabajo donde intenta identificar, tanto como es posible, movimientos elementales simples. Taylor selecciona el mejor método para cada movimiento, mediante la observación del trabajador más especializado en este.

La noción de tarea lleva a Taylor a la conclusión de que la administración de una empresa debe especificarle por escrito al empleado el método, los medios y el tiempo requerido para su ejecución. La "tarea" que debe ser ejecutada por el trabajador, como la responsabilidad de la administración en la asignación del trabajo, pone de manifiesto su concepción de la productividad empresarial en términos operativos y organizacionales, expresados en sus dos obras principales: *Shop Management* (Administración de la planta) publicada en 1903 y en 1911 *Principles of scientific management* (Principios de la administración científica); en esta obra el autor parte de una premisa fundamental: "El principal propósito de la administración debiera consistir en asegurar el máximo de prosperidad al empleador, unido al máximo de prosperidad para cada empleado", que implícitamente combina la responsabilidad del trabajador y del empleador en la eficiencia productiva de la empresa y determina lo que él mismo establece como deberes fundamentales de la administración:

³ Una síntesis de las ideas planteadas por los ingenieros que postularon la "administración científica" puede verse en Niebel et al., 2004; Dillanés, 2006; Meyers, 2000.

- Reemplazar los métodos empíricos mediante una ciencia que desarrolle cada elemento del trabajo.
- Seleccionar científicamente al obrero, luego enseñarle y entrenarlo en el trabajo.
- Cooperar con los obreros para que el trabajo se realice de acuerdo con los principios científicos.
- Distribuir equitativamente el trabajo y la responsabilidad entre la administración y los obreros.

El estudio sistemático de diferentes operaciones y procesos, realizado por Taylor en compañía de varios de sus colegas, como: manipulación de lingotes, trabajo con pala, trabajo de albañilería, verificación de municiones para bicicletas, fabricación de piezas metálicas, entre otros⁴, sustentan las teorías planteadas en sus dos obras principales y los principios que de ellas se derivan y que pueden resumirse como sigue:

En el nivel operativo (1903):

- Asignar al trabajador la tarea más pesada posible.
- No producir por debajo de un estándar definido.
- Buscar incentivo en la remuneración.
- Disminuir costos en los materiales y eliminar desperdicios.
- Fijar una base para mejorar el trabajo.

En el nivel organizacional (1911):

- Resolver la holgazanería sistemática.
- Eliminar los métodos empíricos ineficientes.
- Eliminar los sistemas imperfectos por la ociosidad en el trabajo.
- Disminuir el desconocimiento por parte de la gerencia de los procedimientos.
- Eliminar la falta de información en las técnicas.

Los trabajos de Taylor fueron aplicados y complementados por sus discípulos y colegas, quienes propusieron nuevas técnicas o herramientas metodológicas para mejorar la eficiencia productiva de las empresas. Gant desarrolla gráficas sencillas para la programación y el control de actividades (gráficas de Gant) mediante las cuales se puede hacer un seguimiento exhaustivo de su ejecución contra el tiempo y determinar de esta manera su nivel de cumplimiento; hoy las gráficas de Gant se utilizan ampliamente en todo tipo de actividad empresarial. Pero este autor también desarrolló un sistema de incentivos salariales con base en un estándar que conside-

⁴ Véase *Principios de la administración científica*, de Taylor; allí él describe con minuciosidad tanto las operaciones como los análisis relativos a la mejora en la eficiencia además del comportamiento de los implicados en las organizaciones donde tales operaciones se realizaban.

raba las condiciones del taller, además se preocupó por las relaciones humanas y, al igual que Taylor, por el adiestramiento de los trabajadores.

Harrington Emerson aplicó sistemáticamente la administración científica, popularizándola en el medio empresarial, y planteó un conjunto de principios para orientar a la administración en los procedimientos para una operación eficiente (Niebel et ál., 2004) que describe en su libro *Twelve Principles of Efficiency* (Doce principios de la eficiencia), obra publicada en 1913 y en la que establece que el trabajo inteligente de las personas, y no el trabajo duro, es el que determina que la eficiencia produzca mejoras para las empresas (Dillanés, 2006). Sus doce principios se pueden enunciar como:

1. Tener un objetivo claro y bien definido, mediante una planificación científica
2. Darle prerrogativas al sentido común
3. Buscar orientación y supervisión de personas competentes
4. Conservar autoridad y disciplina
5. Mantener la rectitud y justicia en el trabajo
6. Guiarse por los hechos, manteniendo registros precisos y adecuados
7. Establecer remuneración de acuerdo con el trabajo
8. Estandarizar métodos y tiempos para el trabajo
9. Estandarizar condiciones ambientales para el trabajo
10. Fijar normas estandarizadas para las operaciones
11. Establecer instrucciones precisas y por escrito
12. Establecer recompensa (incentivos) a la mayor eficiencia

En la misma perspectiva de mejorar la eficiencia productiva de las operaciones, los esposos Gilbreth estudiaron sistemáticamente los movimientos utilizando para ello cámaras de filmación; de esta manera dieron origen a la técnica denominada estudio de micromovimientos. Las investigaciones los condujeron a concluir que cualquier operación contenía diez y siete movimientos básicos entre efectivos y no efectivos, siendo los primeros aquellos que conducen al progreso del trabajo (Niebel et ál., 2004); a estos movimientos se los conoce con el nombre de "THERBLIGS"⁵ (ver tabal 4.1).

Si bien los conceptos "estudio de tiempos" (*time study*) y "estudio de movimientos" (*motion study*) se utilizan indiscriminadamente, producto de su uso frecuente, la realidad es que aluden a concepciones bien diferentes y fueron los Gilbreth quienes introdujeron, estrictamente, el estudio de movimientos cuyo fundamento es la descomposición de movimientos individuales dentro de una tarea o trabajo (Ferguson, 1997) y, de acuerdo con ellos, identificar movimientos repetitivos, innecesarios y los que pudieran descartarse en el desarrollo de la tarea, mejorando así los métodos de trabajo.

⁵ Therblig corresponde al apellido de los esposos Gilbreth leído en sentido inverso.

Tabla 4.1 Movimientos básicos – Therbligs

Movimientos básicos efectivos	Movimientos básicos inefectivos
1. Alcanzar	9. Posicionar (colocar en posición)
2. Mover/Transportar	10. Buscar
3. Tomar/Coger/Asegurar	11. Seleccionar
4. Preposicionar (preparar para colocar en posición)	12. Inspeccionar
5. Soltar/Descargar	13. Sostener
6. Usar/Utilizar	14. Esperar inevitablemente
7. Ensamblar/Reunir	15. Esperar cuando es evitable
8. Desensamblar/Separar	16. Descansar
	17. Planear

Fuente: Adaptada de Niebel et ál. (2004).

Mediante el estudio de movimientos se analiza la relación del hombre con otros elementos como herramientas y partes de tal manera que se establezca su localización adecuada con respecto a la fisiología humana, haciendo más fácil y cómoda la labor (Ferguson, 1997) y logrando, igualmente, modificaciones de herramientas y equipos para acondicionarse a la naturaleza humana. En este sentido y como ejemplo de los resultados obtenidos por el mismo Gilbreth, este inventó, entre muchas otras cosas, un andamio que podía elevarse rápida y sencillamente de acuerdo con las necesidades para la pega de ladrillos que debía realizar un albañil; el andamio estaba equipado con una bandeja para los ladrillos y el mortero, lo que facilitaba la tarea del obrero y minimizaba su fatiga al evitarle doblar el cuerpo para tomar los materiales de pega (Barnes, 1979).

El interés de los Gilbreth por minimizar los movimientos de las tareas y adecuarlos a las condiciones fisiológicas de los individuos, logrando disminuir la fatiga de los trabajadores, menores tiempos de operación, mayor facilidad y satisfacción en su ejecución, y por lo tanto mayores niveles de eficiencia, da origen a la “ergonomía” y a la ingeniería de factores humanos, cuyas preocupaciones básicas se centran en:

- Optimización del trabajo físico.
- Minimización del tiempo requerido para ejecutar las tareas o labores.
- Maximización de la calidad del producto por unidad monetaria de costo.
- Maximización del bienestar del trabajador desde el punto de vista de la retribución, la seguridad en el trabajo, la salud y la comodidad.
- Maximización de las utilidades del negocio o empresa.

Los resultados de las investigaciones hechas por los pioneros de los estudios de tiempos y movimientos pueden resumirse en lo que se conoce como la organización

racional del trabajo (ORT) cuya síntesis establece un conjunto de nueve elementos que deben considerarse en el análisis de las operaciones para lograr mayores niveles de eficiencia productiva; estos son:

1. **Análisis del trabajo y estudio de los tiempos y movimientos:** Dividir la tarea en elementos, identificar movimientos efectivos e inefectivos, estandarizar el método de trabajo y establecer un tiempo para la operación.
2. **Estudio de la fatiga humana:** Adecuar los movimientos de una tarea según la fisiología humana teniendo en cuenta herramientas, equipos y su distribución física en el puesto de trabajo, para disminuir el cansancio producido por la tarea.
3. **División del trabajo y especialización del obrero:** Definidos los movimientos básicos y determinada la repetibilidad de estos en las tareas, hay una asignación especializada de los trabajadores a estas: se crea una adaptación casi "automática" del trabajador a la operación, con mayores niveles de eficiencia⁶.
4. **Diseño de cargos y tareas:** Atendiendo a la lógica de la especialización de las tareas, cargos y puestos de trabajo, estos se diseñan en función de especificar actividades, métodos y procedimientos que deben ser ejecutados y se establecen los tiempos para su cumplimiento. Considera la definición de condiciones ambientales en las que la tarea debe ejecutarse y la relación de esta con otras.
5. **Incentivos salariales y premios por producción:** Estandarizadas las operaciones e identificados los trabajadores según su especialización, se proponen sistemas de incentivos para una productividad mayor que el estándar: "A mayor productividad, mayor salario". En el entendido que el salario es un elemento motivacional⁷.
6. **Concepto de Homo economicus:** Concepto en el que se considera que toda persona está profundamente influenciada por las recompensas salariales, económicas y materiales, que le permitan satisfacer sus necesidades básicas y que por lo tanto está dispuesta a producir al máximo en la medida en que el trabajo incremente sus ingresos. Este argumento determinó el establecimiento de incentivos salariales por producción.
7. **Condiciones ambientales de trabajo:** Además de todo lo anterior, se identifica que la eficiencia de los trabajadores también depende de factores técnicos como: diseño adecuado de equipos y herramientas, racionalización del flujo de materiales

⁶ La especialización del obrero al trabajo ha sido uno de los elementos más criticados en tanto que enajena la capacidad de pensamiento y de creatividad del trabajador (Chiavenato, 1986). Aspecto ampliamente revaluado en la literatura sobre administración de operaciones y producción en las que se valora la capacidad del individuo para transformar su espacio de trabajo y de la misma flexibilización de los sistemas de producción que involucran equipos de trabajo dispuestos en módulos o células de fabricación (Kalpakjian et ál., 2002; Sule, 2001; Vollman et ál., 1995; Schroeder, 1992; Noori et ál., 1997).

⁷ Aspecto revaluado desde estudios como los realizados por Elton Mayo que indicaron que la eficiencia productiva estaba asociada a aspectos de orden ambiental y motivacional en los trabajadores, y los estudios de Abraham Maslow que dieron origen a la jerarquía de necesidades, donde se demostró que el salario es un elemento motivacional transitorio en la medida en que el individuo avanza en la satisfacción de tales necesidades.

y trabajadores y control de condiciones ambientales como ruido, temperatura e iluminación.

8. **Estandarización de métodos y de máquinas:** Otro elemento de preocupación fue la estandarización de métodos y procesos; de máquinas y equipos, herramientas e instrumentos de trabajo; de las materias primas y los componentes.
9. **Supervisión funcional:** Con la ORT se especializa al supervisor en las distintas áreas funcionales, de tal manera que cada obrero tiene contacto directo con su supervisor, quien es el intermediario con la administración central.

Siguiendo los postulados de la administración científica, Henry Ford (1863-1947) dio inicio a la producción en masa mediante el sistema de producción en línea e ideó formas organizativas novedosas para la época, entre las que se pueden mencionar: involucrar a los trabajadores en el control accionario de la compañía, reducir la jornada laboral a ocho horas diarias, integrar la compañía horizontal y verticalmente (*Vertical:* produciendo desde materia prima hasta producto final. *Horizontal:* desde la manufactura hasta la distribución). Ford estableció tres principios básicos para la administración⁸:

- Principio de intensificación: Se fundamenta en la disminución del tiempo de producción mediante el empleo inmediato de los equipos y de la materia prima, así como la agilidad en la puesta del producto en el mercado.
- Principio de economicidad: Consiste en reducir al mínimo el volumen de materia prima en transformación. Con este principio, Ford consiguió que sus productos fuesen pagados a su empresa antes de vencido el plazo de pago de la materia prima adquirida y del pago de salarios.
- Principio de productividad: Radica en aumentar la capacidad de producción del hombre en el mismo periodo (productividad), mediante la especialización y la línea de montaje. Así, el obrero puede ganar más, en un mismo periodo, y el empresario puede tener mayor producción.

ESTUDIO DEL TRABAJO (ET)

El ET comprende la solución de problemas tecnológicos relacionados con las operaciones de fabricación y prestación de servicios; determina el diseño de nuevas operaciones y procesos, o el rediseño de los existentes; y permite estimar los tiempos de ejecución de estos (tiempos estándar), en función de aumentar la productividad

⁸ Algunos de estos elementos son tomados de Pelayo Carmen María en www.ilustrados.com/publicaciones/cpelayo/me.gov.ve

y contribuir a la competitividad de la empresa. Tales problemas tecnológicos están enmarcados en tres grandes acciones (transformación, movimiento y detención) que suceden cuando interactúan los componentes (personas, materiales, máquinas e información) dentro de un puesto de trabajo o un conjunto de estos en un sistema productivo⁹ de una empresa (figura 4.1).



Figura 4.1 Procesos y componentes del estudio del trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, el ET implica tres áreas de diagnóstico e intervención (figura 4.2): ingeniería de métodos, medición del trabajo y manejo de materiales; cuyas metodologías, herramientas y técnicas son base para el desarrollo tecnológico y la introducción de innovaciones graduales continuas y en ocasiones innovaciones radicales¹⁰ tanto en los componentes de los sistemas de producción de manera particular, como en su interrelación; en el entendido de que se actúa sobre sistemas hombre-máquina¹¹ (puestos de trabajo) con una configuración espacial particular, que transforman materiales en productos mediante un procedimiento (método) establecido.

De acuerdo con esto, la *ingeniería de métodos* se preocupa por mejorar la forma como se interrelacionan los componentes de un puesto de trabajo y los componentes en sí mismos; la *medición del trabajo*, por definir un tiempo adecuado (tiempo estándar) para la ejecución de la operación dentro del puesto de trabajo, con base en una interrelación equilibrada de sus componentes; y el *manejo de materiales*, por mejorar los componentes que intervienen en el movimiento de materiales y su interrelación, con el fin de disminuir sus costos.

⁹ Sistema productivo hace referencia aquí a una operación, una línea de ensamble o taller, o a actividades en áreas distintas a las de fabricación o prestación de un servicio en una empresa.

¹⁰ Véase el documento Normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe. Manual de Bogotá. Jaramillo et ál. (2001).

¹¹ Conviene comentar que el ET amplía su radio de acción al análisis de sistemas máquina-máquina, en operaciones automatizadas, en tanto que estos sistemas implican la configuración de puestos de trabajo.



Figura 4.2 Áreas de diagnóstico e intervención del estudio del trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

El diseño y rediseño de las operaciones realizadas en los puestos de trabajo y la medición del tiempo de ejecución de estas tienen como premisa fundamental reducir el tiempo total del trabajo, constituido por tiempos productivos e improductivos (figura 4.3). El tiempo productivo de la operación está definido por el funcionamiento productivo de los componentes del puesto de trabajo y el tiempo improductivo por el funcionamiento improductivo de estos. En la figura se puede observar que el contenido básico del trabajo está constituido por el tiempo que tardaría la fabricación de un producto o la ejecución de una operación en condiciones perfectas de diseño, métodos de trabajo, planificación de la producción y sin pérdidas deliberadas de tiempo por parte del trabajador (Organización Internacional del Trabajo, OIT, 2002).

De la figura 4.3, se deduce también que entre el 75% y el 80% de las causas del tiempo improductivo obedecen a una serie de omisiones en el diseño del producto, en la planificación y control del sistema productivo en su conjunto y en la ejecución inapropiada de la operación por parte de los trabajadores; situaciones que incrementan los costos de fabricación y que se constituyen en el foco más apropiado para la acción del estudio del trabajo.

De acuerdo con la OIT (2002), algunos elementos a tener en cuenta en la aplicación del estudio del trabajo para reducir los tiempos improductivos son:

- ✦ Deficiencia y cambios frecuentes en el diseño
- ✦ Desechos de materiales
- ✦ Normas incorrectas de calidad
- ✦ Mala disposición y utilización del espacio
- ✦ Inadecuada manipulación de los materiales
- ✦ Métodos ineficaces de trabajo
- ✦ Mala planificación de las existencias

- Averías frecuentes en máquinas y equipos
- Interrupciones frecuentes de la producción al cambiar de productos
- Ausentismo y falta de puntualidad
- Mala ejecución del trabajo
- Riesgo de accidentes y lesiones profesionales

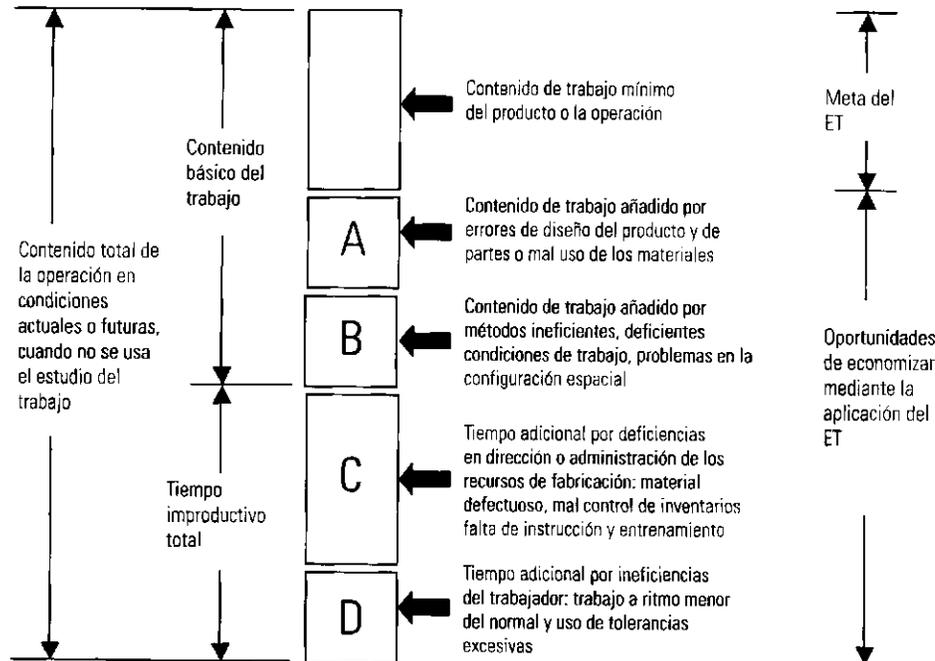


Figura 4.3 Tiempo total de las operaciones y el proceso.
Fuente: Adaptada de OIT (2002) y Niebel et ál. (2001).

Ingeniería de métodos

La estructura de las operaciones y los procesos en las empresas se conciben como elementos dinámicos, en tanto que sobre ellos se realizan cambios permanentes a fin de lograr, de manera sistemática, mayores niveles de productividad. Según Niebel et ál. (2004), estos cambios tienen dos momentos en la transformación del producto o servicio: aquel en el que se hace necesario diseñar y desarrollar las operaciones y estaciones de trabajo para una actividad nueva dentro de la empresa y el momento en el que se estudian las operaciones y estaciones de trabajo existentes, con el objeto de encontrar mejores maneras para ejecutar las actividades que allí se realizan. En síntesis, la ingeniería de métodos se ocupa del diseño y

rediseño de operaciones y como tal implica un proceso constante de innovación tecnológica que se alimenta de la investigación y desarrollo en nuevas tecnologías de fabricación (Niebel et ál., 2004).

La innovación en las operaciones a través de las herramientas y técnicas que provee la ingeniería de métodos busca “*la integración del ser humano dentro del proceso de producción*” (Krick, 1991); ello determina un análisis profundo de la forma como el individuo debe interpretar la información suministrada por la empresa para ejecutar una gran variedad de movimientos que le permitan relacionarse adecuadamente con la maquinaria y equipo que debe utilizar, los materiales usados en la fabricación de un producto o la prestación de un servicio y el entorno productivo. Siguiendo a Krick (1991), “*La tarea consiste en decidir dónde encaja el ser humano en el proceso de convertir materias primas en producto terminado y en decidir cómo puede el hombre desempeñar más efectivamente las tareas que se le asignan*”. No obstante, el grado de aplicación de la ingeniería de métodos se encuentra en toda actividad humana, de ahí que cualquier área de la empresa en cualquier sector de la economía es objeto de estudio de esta disciplina y siempre tiene como fin la operación exitosa de la empresa (Krick, 1991).

La utilización de las herramientas de la ingeniería de métodos conduce a elegir el mejor método para ejecutar una operación dentro de un puesto de trabajo; ello implica, de acuerdo con Barnes (1979), seguir estos pasos:

- Eliminar todo trabajo innecesario
- Combinar operaciones o sus elementos
- Cambiar el orden de las operaciones
- Simplificar las operaciones necesarias

En esta perspectiva, el ingeniero de métodos debe concentrar su atención en ocho etapas sucesivas para realizar el estudio de métodos (OIT, 2002):

1. Seleccionar el trabajo a estudiar.
2. Registrar los hechos relevantes y recolectar datos necesarios relacionados con el trabajo.
3. Examinar críticamente el modo en que se realiza el trabajo, su propósito, el lugar donde se realiza, la secuencia de actividades y los métodos utilizados.
4. Establecer el método más práctico, económico y eficaz que esté de acuerdo con las consideraciones de las personas involucradas.
5. Evaluar diferentes opciones para un nuevo método comparando la relación costo-eficacia entre el método actual y el propuesto.
6. Definir el nuevo método de forma clara y presentarlo a todos los involucrados (dirección, supervisores y trabajadores).

7. Implantar el nuevo método como una práctica normal y capacitar a las personas que deben utilizarlo.
8. Controlar la aplicación del nuevo método teniendo presente correctivos que impidan el uso del método anterior.

El análisis de métodos conduce a la mejora de los puestos de trabajo donde se realizan las operaciones de producción de un bien o servicio. En general está constituido por el ser humano, quien ejecuta las acciones relativas a la operación; los materiales utilizados en la operación; la maquinaria, equipo y herramienta necesaria; un método convenientemente establecido mediante un procedimiento de ejecución (instructivo de método); y la configuración espacial de los componentes anteriores, que definen el ambiente de trabajo de todo el sistema. La definición del puesto de trabajo también implica las áreas necesarias para cada uno de los componentes y las acciones involucradas en la operación. Existe un área definida por las características dimensionales de la máquina, y en relación con aquella deben considerarse: una área de seguridad o protección para evitar accidentes, un área para mantenimiento en el sitio, un área de almacenamiento temporal para materiales (materia prima, producto terminado, desechos, insumos) y un área de operación adecuada para los movimientos que debe realizar el trabajador dentro del puesto de trabajo¹². En la figura 4.4 se muestra un esquema de los componentes del puesto de trabajo y de las áreas que deben establecerse para el correcto funcionamiento de estos.

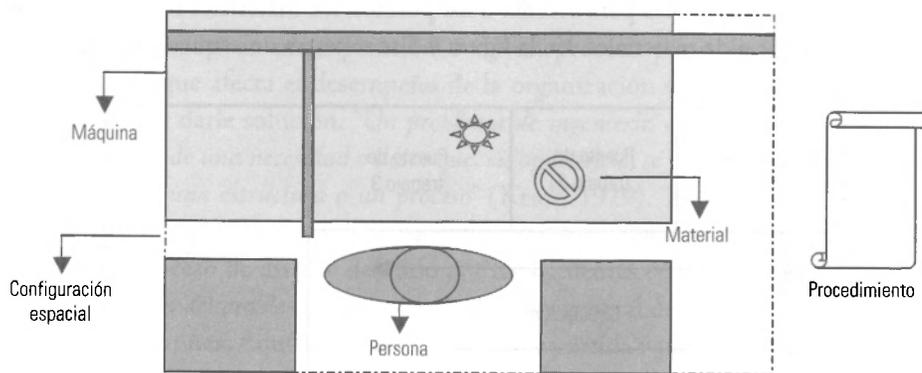


Figura 4.4a Componentes del puesto de trabajo.

¹² En algunos casos tales áreas pueden estar combinadas, por ejemplo cuando el área de mantenimiento coincide con el área de operación.

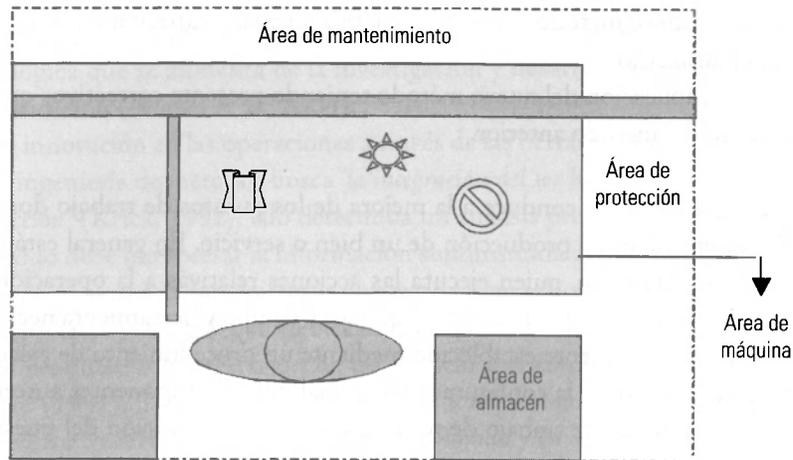


Figura 4.4b Áreas que constituyen el puesto de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

Definidas las áreas de los puestos de trabajo para una eficiente operación, debe considerarse entonces la distribución física de estos de acuerdo con la secuencia del proceso de fabricación del producto o la prestación del servicio, según sea el tipo de distribución utilizada en la empresa (por proyecto, por proceso, en línea, híbrida)¹³. Para ello es necesario tener en cuenta que los límites de un puesto de trabajo están determinados por otro puesto de trabajo o una circulación (pasillo) a través de la cual se transportan las personas para acceder a los puestos, los materiales requeridos y los equipos de manejo de materiales. En la figura 4.5 se muestra un esquema de ello.

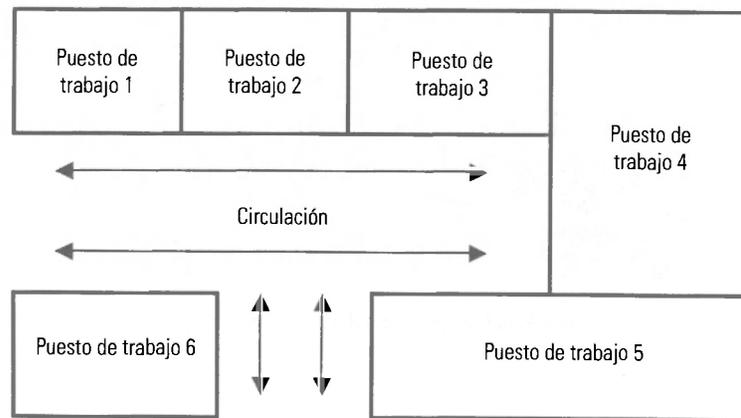


Figura 4.5 Esquema de distribución de puestos de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

¹³ Sobre este tipo de distribuciones se hace alusión en el capítulo 1 de este libro.

Una situación especial la constituyen las células de manufactura¹⁴ que pueden ser operadas por un robot, una persona o un pequeño grupo de trabajadores, en cuyo caso el área de puesto de trabajo se asimila al área de la célula, pero que debe tener las mismas consideraciones de áreas de mantenimiento, seguridad, almacenamiento de materiales, áreas de máquinas; en estas últimas las máquinas aparecen una al lado de la otra y solo se conservan espacios de protección entre ellas. En la célula existe entonces un área de operación común para todas las tareas realizadas en cada una de las máquinas que la componen, lo que reduce ostensiblemente el espacio necesario para la fabricación. En el mismo sentido que con los puestos de trabajo, los límites de una célula de manufactura estarían determinados por otra célula o por una circulación.

En el diseño y rediseño de operaciones realizadas en los puestos de trabajo, así como en el proceso completo de manufactura o prestación de un servicio, el ingeniero de métodos cuenta con diversas herramientas y gráficos que le permiten realizar análisis sistemáticos para encontrar los aspectos relevantes en cuanto a comodidad y seguridad para el trabajador, y eficiencia, costo y calidad del producto o servicio. El conjunto de instrumentos puede agruparse en: métodos para la formulación y análisis de problemas, diagramas para el análisis del proceso y diagramas para el análisis de las operaciones. Algunos de estos diagramas incluyen la cuantificación en términos de tiempo de la operación, establecido mediante técnicas de medición del trabajo que se verán más adelante.

Métodos y técnicas para la formulación y análisis de problemas

Toda modificación de una operación o de un proceso parte de la existencia de un problema que afecta el desempeño de la organización y que como tal debe ser abordado para darle solución. *“Un problema de ingeniería a menudo se inicia por el reconocimiento de una necesidad o deseo que, en apariencia, se puede satisfacer mediante un dispositivo, una estructura o un proceso”* (Krick, 1979). Tanto la búsqueda de la solución como su implantación requieren un proceso, que este mismo autor ha denominado “proceso de diseño” definido por las siguientes etapas (Krick, 1991):

Formulación del problema: Descripción breve y general del problema, libre de detalles y restricciones. Aquí se establecen punto de partida y punto de llegada: estados A y B.

Análisis del problema: Definición de las características del problema, especificaciones de los estados A y B, determinación de restricciones, establecimiento de criterios y su importancia relativa. Es una etapa que implica búsqueda de información e investigación.

¹⁴ El concepto de célula de manufactura es ampliamente tratado en la literatura (Sekini, 1992; Schroeder, 1992; Cheng, et ál., 1995; Vollman et ál., 1995; Doerr & Magazine, 2000; Sule, 2001; Kalpakjian et ál., 2002). En el capítulo 1 de este libro se hace referencia a las células de manufactura y en el capítulo 8 se les da un tratamiento más explícito.

Búsqueda de alternativas: Identificación de soluciones alternativas para ir del estado A al B. Aquí se acude a fuentes de información e investigación que indiquen procesos, estructuras o artefactos que puedan utilizarse para la solución. Las alternativas pueden incluir una solución ideal, una que se pueda llevar a la práctica inmediatamente y una que pueda aplicarse en caso de que desaparezcan ciertas restricciones (Barnes, 1979).

Evaluación de alternativas: Es el sometimiento de las alternativas, en primer lugar, a las restricciones¹⁵, porque estas definen aquellas que deben analizarse frente a criterios¹⁶ (costo, calidad, competitividad, etc.) que permitan la selección de la alternativa que mejor los cumpla con base en una valoración y ponderación prevista con anterioridad.

Especificación de la solución: Descripción en detalle de los aspectos financieros, técnicos, organizacionales, etc., que deben tenerse en cuenta para la implantación de la solución elegida en la etapa anterior.

Otro método para la formulación y análisis de problemas que ha venido cobrando aceptación en el ámbito empresarial, y que se puede denominar metodología para la formulación de proyectos de desarrollo tecnológico¹⁷, está constituido por una serie de herramientas que se describirán brevemente:

Análisis y jerarquización de problemas: En general en las empresas se presenta un conjunto de circunstancias que contienen distintos niveles de intercausalidad a la cual se le puede llamar "situación problemática", en la que no está definido claramente el problema principal a atacar, existe un sinnúmero de problemas que se afectan entre sí y deben jerarquizarse hasta identificar el problema principal; para ello se utilizan las siguientes herramientas:

- Matriz de análisis sistémico (matriz de Vester): es una matriz de doble entrada donde se ubican, en filas y columnas, los problemas identificados como importantes en el sistema analizado. Se evalúa la causalidad de estos en forma pareada, mediante una calificación concertada en el equipo que realiza el análisis, y se obtiene una clasificación de los problemas: *problemas críticos* (es generalmente uno), aquellos que según la calificación son causa apreciable de los otros y son causados por los demás, tienen un total pasivo alto y un total activo alto; *problemas activos*, aquellos que tienen influencia sobre los demás, pero no son causados por los otros, tienen un total pasivo bajo y un total activo alto; *problemas pasivos*, no

¹⁵ Una restricción es una característica de cumplimiento obligatorio de cualquier alternativa analizada (es una condición pasa/no pasa).

¹⁶ Un criterio es una característica sobre la cual se puede establecer una importancia relativa –valoración– para las alternativas analizadas.

¹⁷ Esta metodología, conocida con el nombre genérico de marco lógico, corresponde al módulo "identificación y formulación de proyectos", dictado por el autor en el diplomado "Gerencia de proyectos" que ofrece la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Generalmente la metodología debe aplicarse por un equipo, preferiblemente interdisciplinario.

influyen en los otros pero sí son causados por los demás, tienen un total pasivo alto y un total activo bajo; y *problemas indiferentes*, no tienen influencia sobre los demás y no son causados por los otros, tienen un total pasivo bajo y un total activo bajo. En la tabla 4.2 se muestra cómo utilizar la matriz y en la figura 4.6 la forma de graficar los problemas.

Tabla 4.2 Matriz de análisis sistémico.

Problemas	A	B	C	D	E	Total activo
A	2	1	0	0	1	2
B	2	3	1	3	1	7
C	1	2	3	0	0	6
D	3	2	0	0	0	5
E	3	3	1	0	0	7
Total pasivo	9	8	2	6	2	

Fuente: Elaboración propia.

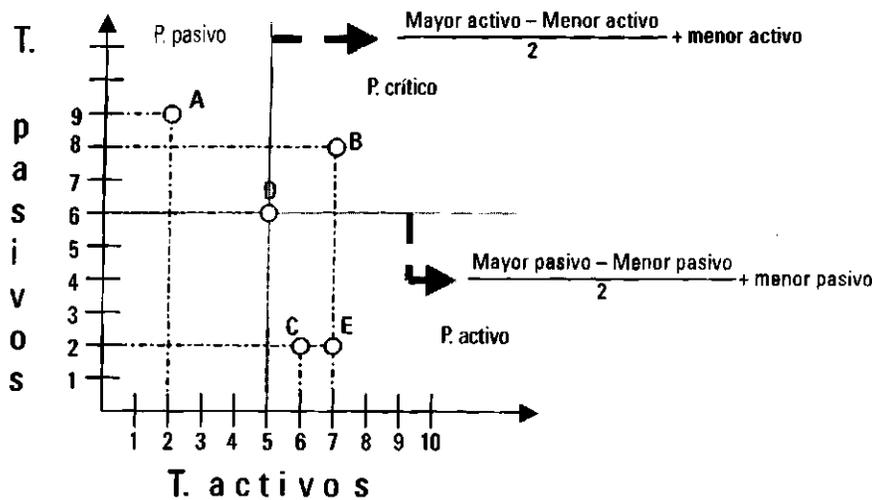


Figura 4.6 Clasificación de problemas.

Fuente: Elaboración propia.

- **Árbol de problemas:** Representa, mediante la analogía del árbol, en un orden de causalidad de abajo hacia arriba, las causas del problema principal (raíces), el problema principal o central (tronco) y los efectos producidos (ramas). Con base en la clasificación de problemas se construye el árbol donde el problema principal

normalmente se corresponde con el problema crítico, las causas con los problemas activos y los efectos con los problemas pasivos. Los problemas indiferentes, en general, no se tienen en cuenta¹⁸. En la figura 4.7 se ilustra el árbol con un ejemplo.

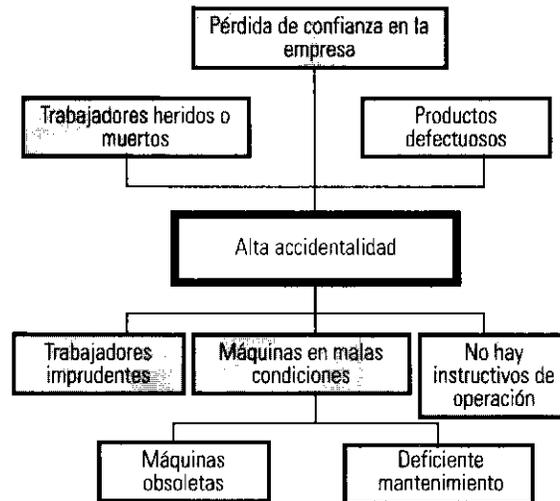


Figura 4.7 Árbol de problemas.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de alternativas: Significa identificar y valorar las posibilidades para resolver el problema principal o, cuando las condiciones no favorezcan, atacar alguna de sus causas para contribuir a la solución del problema. El análisis, tal como aquí se presenta, ayuda al equipo a encontrar la cadena medio-fin que, dadas las condiciones de la empresa, puede acometer. El proceso que debe seguirse es convertir el árbol de problemas en un árbol de objetivos para lo cual se enuncian de manera positiva los problemas (como objetivos) (figura 4.8).

Una cadena medio-fin la constituye un circuito de causalidad; en la figura anterior esto puede ser: vehículos remplazados-máquinas en buen estado-reducción de accidentalidad. En el análisis de alternativas el grupo puede evaluar varias cadenas medio-fin para elegir aquella que mejor contribuya a la solución del problema principal. Las cadenas deben someterse a un juicio riguroso frente a restricciones y criterios, de tal forma que se elija justamente la que más impacte. Esto puede hacerse mediante una matriz de análisis en la que se avalúan las alternativas contra los criterios determinados por el equipo, previa una valoración y ponderación para ellos, establecida por el equipo. Una matriz de este estilo se presenta en la tabla 4.3.

¹⁸ Conviene observar que lo que se logra es una aproximación a una jerarquía de problemas que debe ser sometida a un juicio del equipo de análisis y que gracias a los argumentos que se expongan puede sufrir variaciones.

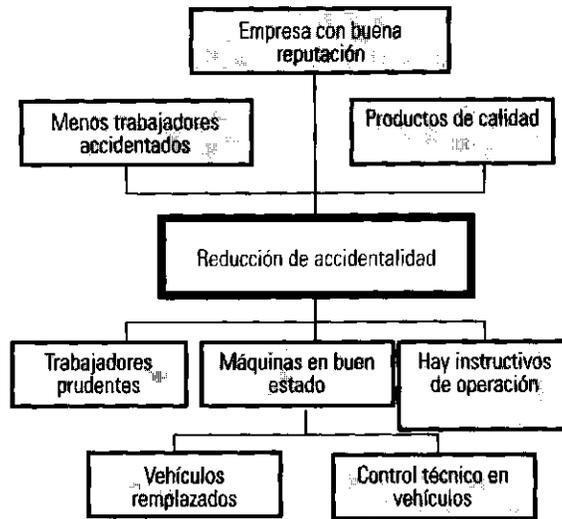


Figura 4.8 Árbol de objetivos.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3 Matriz de análisis de alternativas.

Alternativas	Criterio 1		Criterio 1		Criterio 1		Total
	DES 1	DES 2	DES 1	DES 2	DES 1	DES 2	
Alternativa 1							
Alternativa 2							

Criterio: competitividad (50%), descriptores: dominio de la tecnología (30%) y productividad (20%).

Fuente: Elaboración propia.

Formulación del proyecto: Definida la alternativa, se procede con la formulación de la solución recogiendo los alcances de esta, las actividades y los resultados esperados; para ello se utilizan indicadores de verificación en cada caso. La propuesta se realiza mediante una herramienta denominada matriz de marco lógico que se muestra en la tabla 4.4 y que indica en una lógica vertical (abajo-arriba) que el cumplimiento de las filas inferiores determina el de las superiores.

La aplicación sistemática de estos procesos puede utilizarse de manera independiente o combinarse con otras técnicas de formulación y análisis ampliamente conocidas y difundidas, gracias al uso que se les da en múltiples disciplinas; entre otras, son: análisis de Pareto, diagrama espina de pescado, gráficas de Gantt, gráficas pert (Niebel et ál., 2004).

Tabla 4.4 Matriz de marco lógico.

Objetivo	Indicador	Medio de verificación	Supuesto de desarrollo
Objetivo superior Descripción del objetivo perseguido en este nivel	Indicador para expresar el logro del objetivo superior	Quién, cómo, dónde y cuándo proporcionará el indicador para verificar el logro del objetivo superior	(Esta casilla no se llena)
Objetivo del proyecto Descripción del objetivo perseguido en este nivel	Indicador para expresar el logro del objetivo del proyecto	Quién, cómo, dónde y cuándo proporcionará el indicador para verificar el logro del objetivo del proyecto	Condición necesaria para garantizar el tránsito de objetivo del proyecto a objetivo superior
Resultado-producto Descripción de los resultados principales	Indicador(es) para expresar el logro de los productos principales	Quién, cómo, dónde y cuándo proporcionará el indicador para verificar el logro de los resultados	Condición necesaria para garantizar el tránsito de resultados a objetivo del proyecto
Actividades a realizar por el proyecto	Recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para la realización de las actividades	Quién, cómo, dónde y cuándo proporcionará el indicador para verificar el logro de las actividades y el empleo de los recursos	Condición necesaria para garantizar el tránsito de actividades-insumos a productos

Fuente: Naranjo (2005)¹⁹.

Diagramas para el análisis del proceso

La mejora en operaciones y procesos requiere una recolección y análisis riguroso de la información relativa a estos de tal forma que el ingeniero de métodos comprenda suficientemente las características técnicas y tecnológicas que enfrenta, y que le permitan responder preguntas de cuándo se realizan, cómo, por qué, dónde y quién. Para esto existen técnicas de registro y análisis ampliamente difundidas en la literatura sobre esta materia (Barnes, 1979; Krick, 1991; Meyers, 2000; OIT, 2002; Niebel et ál., 2004, entre otros). En todos los casos hay una aceptación por el uso de un conjunto de convenciones mediante las cuales se describen de manera gráfica las acciones realizadas dentro de un sistema productivo. Ellas son: *operación*, que identifica las fases del proceso en que el material sufre algún tipo de transformación; *transporte*, que indica el movimiento de trabajadores, material o equipo de un lugar a otro; *inspección*, que muestra la verificación de alguna característica (calidad, cantidad); *espera*, que ilustra una demora o suspensión temporal en el desarrollo de las

¹⁹ Tomado del curso de gerencia de proyectos de la profesora Julia C. Naranjo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

acciones productivas; *almacenamiento*, que indica el resguardo de los objetos en un almacén de donde se retiran mediante algún procedimiento formal. Estas convenciones se muestran en la figura 4.9.

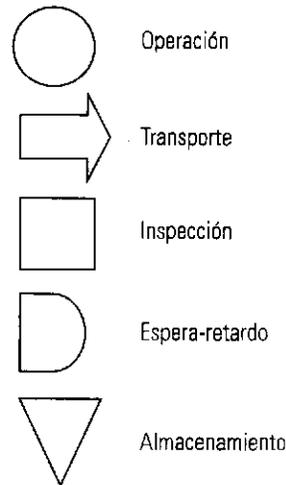


Figura 4.9 Convenciones usadas en los diagramas para el análisis del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de precedencia: Muestra la secuencia de las operaciones principales del proceso y solo usa la convención de operación; su utilidad radica en la mirada inmediata del orden en que ellas se ejecutan, por lo cual se convierten en un medio para aislar, condensar y resumir las condiciones de precedencia que se deben tener en cuenta para modificar la secuencia o equilibrar las cargas de trabajo asignadas en una línea de producción (Krick, 1991).

Diagrama sinóptico de proceso: Permite una observación rápida y total del proceso, está compuesto únicamente por las operaciones principales y las inspecciones de resultado, de tal manera que se puede establecer la secuencia seguida en la fabricación del producto o la prestación del servicio; en este no se tiene en cuenta quién ni dónde se realizan las acciones. Algunos análisis que se pueden hacer con este diagrama estarían relacionados con preguntarse por el orden en que se ejecutan las operaciones, por el número de operaciones e inspecciones y por los puntos donde estas últimas se realizan.

Diagrama analítico de proceso: Conocido también como diagrama de flujo del proceso o cursograma analítico. Utiliza todas las convenciones ya mencionadas, lo que permite una observación más detallada de los sucesos que se dan en el proceso productivo y puede enfocarse en el trabajador, en el material o en el equipo; dado el nivel de detalle que se obtiene con el diagrama, conviene realizarlo mediante observación directa sobre

un conjunto reducido de acciones del proceso analizado (OIT, 2002). Este diagrama incluye información relativa tiempos estimados, equipos utilizados y distancias recorridas. Algunos análisis que se pueden realizar con este diagrama estarían relacionados con la secuencia de todas las acciones y la cantidad de estas, pero en especial se pueden observar aquellas que no generan ningún tipo de transformación (esperas, transportes y almacenamientos) y que por lo tanto no le agregan valor al producto, pero sí inciden en los costos de fabricación (Niebel et ál., 2004).

Diagrama de recorrido: Conocido también como diagrama de flujo o flujograma de proceso. Consiste en una representación del sistema productivo, mediante un plano que contiene la distribución física de los puestos de trabajo y los pasillos; en este también se utilizan todas las convenciones. La dirección del flujo se indica con flechas conectadas a las convenciones de acuerdo con la acción que se quiere representar. Con este diagrama se pueden establecer espacios inutilizados en la planta, tamaño de los pasillos, espacios donde se pueden añadir actividades, alteración en la configuración de la distribución y sus implicaciones; visualización de los recorridos, almacenamientos temporales y puntos de inspección.

Diagrama de frecuencia de viajes: Conocido también como diagrama de hilos. Con frecuencia los desplazamientos de un trabajador en el área de trabajo no corresponden con una secuencia fija de eventos; este fenómeno es perfectamente observable cuando se realizan varios productos con el mismo conjunto de operaciones, lo que determina cierta aleatoriedad en la relación que existe entre las actividades (Krick, 1991) y produce una concentración de desplazamientos para algunos productos. Situación que determinaría un método poco eficiente para el resto de los productos. Este diagrama se desarrolla siguiendo los desplazamientos del trabajador que luego deben representarse en un plano a escala, de tal forma que el ingeniero de métodos pueda establecer la distancia entre lugares y por lo tanto ver la posibilidad de acercarlos (OIT, 2002), la frecuencia de los desplazamientos y la tendencia de estos en relación con los productos fabricados.

Diagramas para el análisis de la operación (puesto de trabajo)

Estos diagramas se centran en el estudio riguroso de las actividades que se presentan dentro de una estación de trabajo y analizan lo que sucede con los componentes del puesto de trabajo; en especial permiten la observación de los movimientos del trabajador dentro de este y con frecuencia incluyen los tiempos de operación.

Diagrama de actividades múltiples: Permite representar las acciones que realiza un trabajador en relación con otros o con máquinas operadas por él (OIT, 2002). Hay básicamente dos tipos: diagrama hombre-máquina y diagrama de proceso de grupo. La utilidad de estos diagramas se centra en que con ellos se puede determinar el tiempo de actividad e inactividad de los elementos, la capacidad que tiene

un trabajador para operar varias máquinas, o la aplicación de varios operarios que trabajan una o varias máquinas. Un caso especial en el cual este tipo de diagramas es particularmente útil lo constituyen las células de manufactura, lo que determina la realización de un diagrama de carga de célula de manufactura (Meyers, 2000).

- **Diagrama hombre-máquina:** Describe un ciclo completo de trabajo cuando el trabajador opera una o varias máquinas. Los puntos de inicio y final de ciclo se pueden elegir arbitrariamente; entre ellos, se grafican las actividades subsecuentes teniendo en cuenta que el ciclo se repite al alcanzar el punto inicial definido (Krick, 1991). Este diagrama muestra la relación de tiempo utilizado por el trabajador y la máquina y por tanto define el tiempo de actividad de uno y otro, elemento que es usado para la asignación de máquinas a un trabajador o para mejorar la utilización de ambos (Niebel, 2004).
- **Diagrama de proceso de grupo:** Se usa para evaluar los ciclos de operación en función de la actividad e inactividad cuando un grupo de trabajadores se requiere para la operación de una máquina.

Diagrama mano izquierda-mano derecha (bimanual): Permite analizar los movimientos que realiza el trabajador al ejecutar una operación en la que hace uso de sus dos manos. Es particularmente útil en operaciones con alto nivel de repetición y ayuda al ingeniero a establecer aquellas acciones donde no se hace un uso adecuado de las manos y en algunos casos de los pies; establece, por ejemplo, la inactividad de alguno de sus miembros, esfuerzos adicionales, movimientos innecesarios; por otro lado, es útil para la comunicación del procedimiento de trabajo y el adiestramiento en la ejecución de la operación (Krick, 1991).

Plano del puesto de trabajo (corte y alzado): La unidad mínima de análisis de un proceso productivo lo constituye el puesto de trabajo (estación) que involucra: trabajador, material, máquina, herramienta y equipo, cuya interrelación, a través de un método, define la ejecución de una operación dentro de un espacio dado. Representar mediante un plano a escala (como se mostró en la figura 4.4) el puesto de trabajo, clarifica los aspectos dimensionales de éste (áreas necesarias), la ubicación precisa de los componentes, los movimientos que debe realizar el trabajador y algunas consideraciones respecto al entorno en el que este se ubica, como relación con otros puestos de trabajo y condiciones ambientales. El plano del puesto de trabajo permite simulaciones gráficas de los movimientos de los distintos componentes, útiles para hacer análisis de alcance de objetos: herramientas, materiales, insumos, entre otros.

Análisis de los componentes: Resulta conveniente para el ingeniero de métodos registrar toda la información relativa a la operación ejecutada (método) en el puesto de trabajo, así como a las características de los materiales, la maquinaria, el trabajador. Todo esto le permite mejoras asociadas a los componentes de este o al puesto en su

conjunto y es muy útil en el diseño de los nuevos puestos de trabajo. El análisis de los componentes facilita, de acuerdo con Niebel (2004), responder preguntas relacionadas con el método utilizado (qué); con el objetivo de la operación (por qué); con el material, la máquina, las herramientas, el equipo (cómo); con el trabajador (quién); con la configuración espacial (dónde); con la secuencia de las actividades (cuándo).

- **Objetivo de la operación:** Es tal vez el aspecto principal en el análisis, ya que de ello depende que aquella se pueda eliminar, combinar o mejorar; la primera opción es la que más impacta favorablemente los costos de la producción.
- **Ser humano:** La ejecución de una operación es materialmente improbable sin la intervención del hombre, aun en los casos de estaciones de trabajo automatizadas. El hombre es quien opera la máquina, manipula los materiales, evalúa el resultado de la operación, pero fundamentalmente es capaz de discernir para tomar decisiones de conveniencia para él y la empresa. De ahí que el elemento más importante y por lo tanto el parámetro de diseño o rediseño del puesto de trabajo sea el hombre; en este sentido es clave establecer lo que el hombre puede hacer y lo que la máquina puede hacer (Krick, 1991). En el caso del hombre esto está determinado por la naturaleza, de ahí la trascendencia de disciplinas como la ergonomía, la antropometría, la psicología y la sociología en las que el ingeniero de métodos se apoya para el diseño de puestos de trabajo, cuyo principio fundamental es que las acciones humanas sean lo más naturales posible, pero además debe garantizar comodidad y confort en su ejecución.

El puesto de trabajo debe responder en términos de la operación o procedimiento de trabajo a unos principios básicos (Krick, 1991):

1. La secuencia de movimientos debe facilitar el aprendizaje y ser los mínimos posibles.
 2. El trabajo debe distribuirse lo más simétricamente posible entre las dos manos y los dos pies.
 3. Los movimientos relativamente no controlados, como los que se dan en funciones mutuamente exclusivas, siempre que sea posible deben realizarse con una acción del pie (encender-apagar, abrir-cerrar).
 4. Los movimientos de transporte deben hacerse con el movimiento natural del antebrazo.
 5. Siempre que sea posible, debe usarse el movimiento "dejar caer".
 6. Deben usarse los movimientos suaves, curvos, balísticos.
- **Material:** Al puesto de trabajo llegan materiales como: materias primas (material en proceso, como piezas para ensamble) e insumos y salen de este: material en proceso, material defectuoso y desechos. En todos los casos conviene considerar en primer lugar la morfología y dimensiones de los materiales ya que ello puede conducir a modificaciones en el diseño de partes, especificaciones y tolerancias

(Niebel, 2004). En segundo lugar, es importante evaluar las características físicas y químicas dado que, de acuerdo con ellas, se puede determinar el cambio o la combinación de materiales que represente mayor economía, mayor facilidad para el proceso, mayor estandarización, entre otros aspectos. En tercer lugar, interesa observar aspectos como estado del material (sólido, líquido, gaseoso); presentación (granular, polvo); unidad de empaque y unidad de embalaje (bultos, cajas, rollos); forma de llegada al puesto de trabajo (a granel, equipo de manejo); elementos que definen, entre otras cosas, áreas y sistemas de almacenamiento y espera en el puesto de trabajo.

- ♦ **Maquinaria, equipo y herramienta:** Una operación dentro de un puesto de trabajo puede requerir un máquina principal (fija o móvil) con la cual se transforman los materiales; de ella es importante conocer: versatilidad (una o varias operaciones), formas de operarla, grado de automatización, dimensiones, forma y peso. Con frecuencia, también se encuentran en los puestos de trabajo equipos adicionales de control (medición de magnitudes como peso, temperatura, longitud), que implican la consideración de acciones por parte del trabajador, espacios para su ubicación y cuidados especiales. Finalmente, están las herramientas (manuales, eléctricas, neumáticas) estandarizadas o elaboradas a la medida de la operación (instrumentos para moldeo en fundición) cuyo uso puede ser frecuente o esporádico; en este sentido es importante tener en cuenta: 1. el volumen de producción, 2. los usos que pueden dársele, 3. la ubicación dentro del puesto de trabajo.
- ♦ **Método:** Es la secuencia estandarizada de acciones, tanto del hombre como de la máquina, que se deben realizar dentro del puesto de trabajo y que definen la operación ejecutada. El ingeniero de métodos toma en cuenta los componentes anteriores y establece el método de trabajo para la operación, que puede incluir preparación de materiales y máquina, ubicación de equipos y herramientas, orden de los movimientos que se deben hacer.
- ♦ **Configuración espacial:** Es la materialización de la operación dentro del puesto de trabajo; indica la distribución física de los componentes, con sus correspondientes áreas; necesidades de servicios como energía eléctrica, aire comprimido, vapor, gas; incluye además características de orden ambiental relacionadas con ventilación, ruido, iluminación.

Medición del trabajo

En la figura 4.3 se indicaron los elementos que constituyen el tiempo total de una operación y quedó claro que existe un conjunto de aspectos de diferente naturaleza que permiten reducir los tiempos improductivos. Esto se logra mediante la mejora sucesiva de operaciones y procesos en el que la ingeniería de métodos es el medio más adecuado (OIT, 2002). Obtenidos puestos de trabajo bien diseñados, opera-

ciones estandarizadas y ejecutándose con normalidad en la empresa, queda conocer la capacidad productiva del sistema. Ella se obtiene a través de la medición del trabajo, que es de utilidad para: planeación, programación y control de la producción; cálculo del tiempo total de la manufactura; cálculo de costos de mano de obra de manufactura; planeación y programación de la logística de materiales y productos terminados; identificación de puntos de ineficiencia; evaluación del desempeño y planes de incentivos para los trabajadores, entre otros aspectos (Barnes, 1979; Krick, 1991; Meyers, 2000; OIT, 2002; Niebel, 2004).

La medición del trabajo consiste en definir un tiempo adecuado (mediado por las características propias de la organización) para la ejecución de las operaciones, de acuerdo con una interrelación equilibrada (sinergia) de los componentes del puesto de trabajo. Este es el denominado “tiempo estándar”, cuyo valor está constituido por un tiempo efectivo de operación, unas consideraciones relacionadas con la velocidad de trabajo en la operación y con tiempos requeridos para disminuir la fatiga de los trabajadores. Algunos de los inconvenientes que se le atribuyen a la medición del trabajo consisten en que: no tiene bases científicas, los resultados son particulares y no cuentan con aplicación universal, tiene un alto componente de subjetividad, su ejecución es costosa, los tiempos estándar deben corregirse con regularidad, genera fricciones entre la dirección y los empleados, entre otros (Barnes, 1979; Krick, 1991; Meyers, 2000; OIT, 2002; Niebel, 2004). Existen varias técnicas de medición del trabajo que se pueden agrupar en: basadas en la experiencia, en la observación y medición directa, y en tiempos de movimientos predeterminados.

Mediciones basadas en la experiencia: Tienen como fundamento la acumulación de conocimiento e información sobre la duración de las operaciones.

- Estimación directa del analista: Tiene como fundamento la experiencia acumulada del analista sobre las operaciones objeto de estimación o el conocimiento de operaciones similares; también la información sobre datos estándar establecidos para operaciones parecidas. Si bien esta resulta ser una técnica ágil al momento de determinar un tiempo estándar, tiene inconvenientes como: la subjetividad del analista, la probabilidad de que el analista no considere cambios en los métodos, la probabilidad de que el estándar sea controlado por los trabajadores (Krick, 1991), la presión constante de la competencia que obliga a obtener el estándar basado en hechos y no en el juicio (Niebel, 2004).
- Registros históricos: Tienen como base la información sobre la producción obtenida en la empresa durante varios periodos de tiempo. Esta técnica presenta algunos inconvenientes como la presencia de variaciones fuertes en los datos y cuyas causas no están perfectamente definidas; al igual que la anterior, no tiene en cuenta cambios sucedidos en los métodos de trabajo, su confiabilidad está determinada por el volumen de datos acumulado (a mayor volumen, mayor

confiabilidad). Según Niebel (2004), “los datos históricos contienen desviaciones consistentes hasta de 50% en la misma operación del mismo trabajo”. Es posible introducir ajustes a los datos históricos basándose en el criterio del analista, de tal manera que el tiempo estándar estimado sea representativo del desempeño normal (Krick, 1991).

Las técnicas anteriores son rápidas para el establecimiento del tiempo estándar, los costos asociados a ellas son bajos y resultan confiables para la planeación de la producción. Sin embargo, no proveen suficiente confiabilidad para determinar los costos de mano de obra y para definir políticas de incentivos. El uso de estas técnicas resulta competitivo en los casos en que no se requiera demasiada exactitud y precisión en los tiempos estándar, como en trabajos de corta duración o pequeños volúmenes de producción (Krick, 1991).

Mediciones basadas en la observación y medición directas: Estas técnicas se basan en la observación de los hechos que acontecen en la operación a medida que se establece el tiempo estándar, cuyo cálculo está determinado por el tiempo de ejecución observado y por lo que se denomina la valoración o calificación del ritmo, además de otros elementos involucrados de acuerdo con la técnica utilizada. La calificación del ritmo se relaciona con el ritmo normal de trabajo que, de acuerdo con la literatura consultada, está definido por “el trabajo que puede realizar un trabajador calificado cuando ejecuta sus acciones a un paso normal, mediante un método claramente establecido y usa de manera efectiva su tiempo”.

En general, al ritmo normal se le da una valoración del 100%, de tal manera que el analista, al observar a un trabajador ejecutando una operación, pueda calificarlo por encima o por debajo de este valor. La calificación del ritmo requiere, de acuerdo con Krick (1991): 1. que el observador visualice cuál es la velocidad normal para el trabajo en cuestión y 2. que estime la relación entre la velocidad observada y su imagen mental de la velocidad normal.

- Estudio de tiempos con cronómetro: Desde Taylor, es la técnica de observación directa más conocida para establecer estándares de tiempo y también la que ha generado mayores fricciones. Existen básicamente dos métodos: de regreso a cero y método continuo (Barnes, 1979; Krick, 1991; Meyers, 2000; OIT, 2002; Niebel, 2004) y para realizarlo se requiere: un analista experimentado en la técnica y con conocimiento suficiente de la operación a estudiar, un cronómetro²⁰ (digital o análogo), un tablero o formulario para el registro de la información y en algunos casos videocámaras. En general, para un estudio de esta naturaleza se

²⁰ Existen estudios de tiempo con cronómetro que utilizan más de uno. Véase Meyers (2000).

deben tener en cuenta los siguientes pasos²¹: definir claramente la operación, es decir, su punto de inicio y final (ciclo de la operación); seleccionar el trabajador cuando más de uno realiza el trabajo; dividir la operación en elementos y verificar que estos se den en el orden establecido; registrar los datos de tiempos observados, la calificación del ritmo y sucesos no normales; y procesar los datos y calcular el tiempo estándar.

- Muestreo del trabajo: Es una técnica que utiliza la observación de las operaciones en porciones de tiempo relativamente pequeñas y cuyo criterio de selección es la aleatoriedad para definir las observaciones. Tiene como fundamento la teoría de las probabilidades y en este caso permite, mediante la observación, determinar en qué porcentaje del tiempo la operación se está ejecutando (probabilidad de ejecución de la operación), dato clave para establecer el tiempo estándar. Esta técnica permite observar simultáneamente varios trabajos, pero es importante tener en cuenta una muestra relativamente grande y que las observaciones sean realmente al azar. Ello le da confiabilidad al tiempo estándar obtenido.
- Tiempos agregados²²: Hay varias circunstancias que dificultan la medición de tiempos en las empresas; por un lado, se encuentran los esfuerzos en tiempo y dinero requeridos para establecer estándares de producción, independientemente de la técnica, y que deben ser corregidos con regularidad. Por otro lado, está el hecho de que muchas empresas han logrado importantes niveles de mecanización y automatización de operaciones y procesos, donde el tiempo de producción prácticamente está determinado por la velocidad de la máquina; pero aun en estos casos conviene recordar que las máquinas no trabajan a un ritmo constante siempre, hay que cargarlas y descargarlas, se presentan averías, problemas con los materiales, problemas de planificación y en muchos casos están limitadas por operaciones precedentes o que les suceden y que marcan variaciones en el ritmo total de producción de la planta. Además de lo mencionado, existen otros elementos que hacen, en muchos casos, complejo el establecimiento de estándares, por ejemplo:
 - No siempre es posible estandarizar el método de trabajo para una operación realizada en distintos puestos de trabajo, y en los casos en que se hace, lograr que la ejecución se realice exactamente de la misma manera por los trabajadores no es algo que se pueda garantizar absolutamente.
 - En las empresas, sobre todo pequeñas y medianas empresas (pymes), existen operaciones asociadas a un solo puesto de trabajo y por lo tanto a un solo trabajador, quien normalmente tiene establecido un método de trabajo.

²¹ Detalles sobre los pasos y otras características y condiciones del estudio de tiempos, así como para el muestreo del trabajo, pueden verse ampliamente en la literatura consultada y ya referenciada.

²² Esta es una técnica no ilustrada en la literatura. Es resultado de las experiencias y discusiones del autor con colegas (profesores y analistas de métodos y tiempos) y por lo tanto será descrita en detalle.

- Las condiciones actuales de mercado exigen alta flexibilidad empresarial, lo que determina en muchos casos la capacidad de las empresas de fabricar pequeños lotes de un producto con determinada regularidad o justo cuando es solicitado por el cliente; a esto se agrega la necesidad de tener la capacidad de cambiar rápidamente de producto a fabricar.

El método de tiempos agregados tiene como base aspectos considerados en las técnicas de estudio con cronómetro y muestreo del trabajo. De la primera, el uso de un instrumento de medición de tiempo (cronómetro) y la valoración del ritmo del trabajador; de la segunda, la posibilidad de que el analista pueda observar simultáneamente varias operaciones y el criterio de aleatoriedad de las observaciones. Por otro lado, la aplicación de la técnica con regularidad en el sistema productivo permitiría ir acumulando una base de datos histórica de tiempos estándar para la empresa. La aplicación de este método requiere los siguientes pasos:

1. El analista debe elegir, de acuerdo con las circunstancias de la empresa y de la producción, uno de los siguientes criterios de observación: el lote de unidades a fabricar o el periodo de fabricación:
 - El lote de unidades a fabricar, lo que quiere decir que el analista conoce de antemano el número de unidades que se van a fabricar (por ejemplo: 1000 unidades), pero desconoce el tiempo estándar de fabricación por unidad. De acuerdo con esto, el ciclo de fabricación corresponde a la cantidad de unidades y se debe establecer el número de observaciones a realizar para dicho lote; estas observaciones corresponden a sublotes homogéneos que se distribuyen aleatoriamente para garantizar distintos momentos de observación por parte del analista (distintos intervalos de tiempo).
 - El periodo de fabricación; en este caso el analista desconoce el número de unidades a producir y el tiempo estándar de fabricación. El analista define entonces un periodo de observación, preferiblemente que considere jornadas completas de trabajo de tal manera que se incluyan periodos crecientes y decrecientes del ritmo de trabajo del trabajador²³. El periodo total de observación se divide en intervalos de tiempo que incluyan diferentes jornadas y horarios, para garantizar que las observaciones coincidan con diferentes ritmos de trabajo. Luego se procede a establecer de forma aleatoria los intervalos que debe observar el analista.
2. Definido el criterio de observación (lote o periodo de tiempo) y establecidos los intervalos de observación, el analista define el número de observaciones que

²³ El periodo de observación debe considerar una jornada, un día o una semana, incluso más; no obstante, el mínimo periodo que se sugiere para hacer observaciones es el de media jornada de trabajo.

va a realizar durante dichos intervalos de tiempo (por ejemplo, si los intervalos corresponden a jornadas de 4 horas, en cada una de ellas pueden hacerse tres observaciones). Cada observación debe tener como mínimo un ciclo completo de trabajo²⁴. Al final del intervalo de tiempo se anota la cantidad de unidades producidas.

3. En cada observación, el analista hace la valoración del ritmo del trabajador y está atento a elementos casuales y extraños, que se presenten durante el trabajo, con su correspondiente duración. Los elementos casuales son los que se presentan con regularidad durante la operación y los elementos extraños son los que no están considerados dentro de la ejecución normal de la operación.
4. Obtenidos y registrados todos los datos (ver tabla 4.5), se procede a hacer el cálculo del tiempo estándar.

Tabla 4.5 Matriz de datos para tiempos agregados.

Hora inicio Hi	Hora final Hf	Tiempo observ.	Valoración del ritmo	Tiempo elementos casuales	Tiempo elementos extraños	Unidades producidas
		T1	VR11 VR12 VR1m	TC1	TE1	N1
		T2	VR21 VR22 VR2m	TC2	TE2	N2
		T3	VR31 VR32 VR3m	TC3	TE3	N3
		Tn	VRn1 VRn2 VRnm	TCn	TEn	Nn
Promedios		$\Sigma T/n$	$\Sigma VR/n$	$\Sigma TC/n$	$\Sigma TE/n$	$\Sigma N/n$

Fuente: Elaboración propia.

- Hi y Hf corresponden a las horas reales en que se inicia la observación; aquí se entiende que en el caso de usar el periodo de observación como criterio, Hi y Hf no necesariamente coinciden con los horarios de trabajo establecidos por la empresa. Estos datos puede registrarlos el trabajador.

²⁴ Un ciclo de trabajo corresponde a todas las actividades que comprende la operación y que dan como resultado la fabricación de al menos un producto.

- T_n es el tiempo total del intervalo establecido en minutos preferiblemente ($H_f - H_i$).
- VR es la valoración del ritmo hecha por el analista durante las observaciones dentro del intervalo de tiempo.
- TC es el tiempo de los elementos casuales que se presenten durante las observaciones; estos debe medirlos el analista usando el cronómetro.
- TE^{25} es el tiempo de los elementos extraños que se presenten durante las observaciones; estos debe medirlos el analista usando el cronómetro.
- N es la cantidad de unidades producidas en cada intervalo de tiempo observado.
- n es el número de observaciones realizadas, que en el caso de los elementos casuales y extraños corresponde al número de veces que estos se presenten.

El tiempo estándar se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$TS = (((\Sigma T/n + \Sigma TC/n) / \Sigma N/n) * \Sigma VR/n) - \Sigma TE/n$$

Algunas ventajas del método de tiempos agregados son:

- No exige alto nivel de estandarización de las operaciones, pero sí requiere una secuencia de actividades claramente definida por parte del analista de tiempos y del trabajador. Aquí se considera que la técnica absorbe los ligeros cambios que normalmente se dan en la ejecución de la tarea.
- Es posible evaluar varios operarios que realizan la misma operación en distintos puestos de trabajo, por lo tanto no se requiere el operario normal. No obstante, se debe partir del principio de que todos los trabajadores observados conocen la operación y cuentan con los recursos adecuados para ejecutarla.
- De igual manera se puede utilizar para la medición simultánea de operaciones distintas, realizadas en diferentes puestos de trabajo.
- Un solo analista puede ocuparse de varias operaciones e incluso puede hacer la observación de una sección completa, una línea de ensamble, o todo un proceso productivo. Sin embargo, lo recomendable es realizarlo en operaciones.
- La técnica permite involucrar a los trabajadores en la medición en tanto que ellos participan de la recolección de los datos.
- No requiere desagregación de la operación en elementos; el analista debe preocuparse específicamente por la operación y la valoración del ritmo del trabajador.
- No requiere el uso de suplementos por fatiga o descanso del trabajador.

²⁵ Los elementos extraños no siempre aparecen en las observaciones y cuando estos se den conviene que, además de medir el tiempo, se establezcan las causas de estos ya que son aspectos a corregir del trabajo.

Mediciones basadas en tiempos de movimientos predeterminados: Denominadas también normas de tiempo predeterminadas (NTPD) (OIT, 2002). Se basan en un conjunto de movimientos específicos que se ejecutan para realizar una operación independientemente de su naturaleza; tales movimientos tienen como fundamento los trabajos de los esposos Gilbreth (ver tabla 4.1). De acuerdo con la OIT (2002), los componentes de un NTPD básico son: estirar el brazo, agarrar, trasladar, colocar, soltar y movimientos del cuerpo. Esta técnica es muy útil para establecer el tiempo estándar en operaciones manuales altamente repetitivas y dado que se basa estrictamente en los movimientos resulta potente en el diseño de nuevas operaciones; esto significa una ventaja sobre la medición con cronómetro porque no requiere la valoración del ritmo y tampoco es necesaria la observación directa del trabajador (Krick, 1991; Meyers, 2000; OIT, 2002; Niebel, 2004).

No obstante, no eliminan el uso de las técnicas de observación y medición directas. Tiempos de máquina y de proceso, tiempos de espera, no pueden medirse con NTPD (OIT, 2002). De acuerdo con la OIT, una de las desventajas de estas técnicas la constituye su proliferación: hoy en día existen más de doscientas, lo que hace materialmente imposible conocerlas todas e incluso genera desconfianza en su utilidad real. Algunas de las más aceptadas son:

- El factor de trabajo (*work factor*): Este fue uno de los primeros sistemas de tiempos predeterminados y tiene como base cuatro variables que afectan la ejecución de tareas manuales (Barnes, 1979): 1. miembro del cuerpo empleado, 2. distancia del movimiento en centímetros, 3. control manual necesario medido en factores de trabajo, y 4. peso o resistencia a vencer medido en kilogramos y convertido en factores de trabajo. El factor de trabajo es una unidad empleada como un índice del tiempo que se añade al tiempo básico cuando en los movimientos intervienen control manual y peso o resistencia.
- Sistemas de medición del tiempo de los movimientos (MTM): De acuerdo con Barnes (1979), este es un procedimiento mediante el cual se analiza la operación según los movimientos básicos requeridos para realizarla, asignándole a cada movimiento un tiempo predeterminado. Esta técnica utilizó la filmación de una variedad de operaciones industriales; con base en ello se establecieron los tiempos tipo para los movimientos básicos y la unidad de medida utilizada fue el TMU (*time-measurement unit*), que equivale a una cienmilésima de una hora (0,00001) o 0,0006 minutos. Existen varios niveles en estos sistemas: MTM-1, MTM-2 y MTM-3; ello depende del grado de agregación que se dé en los movimientos básicos; así, para MTM-1 los movimientos son: *soltar, estirar brazo, asir, trasladar, colocar y soltar*. En MTM-2, por ejemplo, los tres primeros movimientos en el sistema anterior se combinan en *recoger* y para MTM-3 todos los movimientos se agrupan en *manipular* (OIT, 2002). Existen otros sistemas en la

familia MTM que han ido apareciendo para adecuarse a sistemas de producción particulares y para el sector de servicios, como el MTM-C²⁶.

- La distribución modular de estándares de tiempos predeterminados MODAPST: Este es un sistema de tiempos predeterminados desarrollado para tareas manuales durante los años sesenta; utiliza como unidad de medida el MOD que equivale a 0,00215 minutos. La base fundamental de este sistema está determinada por la parte del cuerpo que es usada para realizar el movimiento; las actividades utilizadas para describir los movimientos básicos del cuerpo se agrupan en (Noori et ál., 1997): actividades de movimiento, actividades finales y actividades auxiliares.
- Datos estándar: Aunque esta no es una técnica propiamente basada en movimientos predeterminados, sí lo es de tiempos predeterminados. Consiste en la acumulación de registros de tiempos estándar obtenidos mediante técnicas de medición como las explicadas en los apartados anteriores y su utilización para calcular tiempos en las mismas operaciones en momentos distintos o en operaciones similares. Tiene como fundamento establecer las características que determinan el tiempo normal de la operación, por ejemplo: tamaño de la pieza, forma, peso, dureza, etc. De acuerdo con ello, el tiempo normal estará en función de tales características (variables independientes). Así, cualquier otra operación que considere estas mismas variables, aunque sus valores sean distintos, permitirá el cálculo del tiempo estándar mediante una fórmula que relacione el tiempo normal en función de dichas variables (Krick, 1979). Los datos estándar pueden desarrollarse para movimiento, elemento o tarea; el primero es el de mayor refinamiento (Niebel et ál., 2004).

Manejo de materiales

Ya se mencionaron las tres grandes acciones del estudio del trabajo: transformación, movimiento y detención de los componentes del puesto de trabajo, y son las dos últimas las que en esencia definen el manejo de materiales dentro de una empresa, y que aquí se considera como un caso especial para ser abordado por el ingeniero de métodos. Según el Instituto de Manejo de Materiales (MHI, Material Handling Institute), citado por Sule (2001), "*El manejo de material comprende todas las operaciones básicas relacionadas con el movimiento de los productos a granel, empacados y unitarios, en estado semisólido o sólido por medio de maquinaria, y dentro de los límites de un lugar de comercio*"; definición que no considera en explícito el problema relacionado con las esperas y los almacenamientos definitivos que tienen los materiales durante el proceso productivo. En este sentido, Immer (1971) ofrece un concepto

²⁶ Una descripción de estos sistemas se encuentra en Niebel et ál. (2004).

más amplio en el que manifiesta: *“El manejo de materiales es la preparación y colocación de los mismos para facilitar su movimiento y almacenamiento. Comprende todas las operaciones a que se somete el producto, excepto el trabajo de elaboración propiamente dicho...”*.

Atender las características propias del manejo de materiales para mejorar su eficiencia, implica incidir de manera directa en los costos de fabricación, en tanto que ninguna de las acciones realizadas dentro de él le agrega valor al producto; por el contrario, cualquier actividad de manejo de materiales siempre representa un costo para la empresa y de esta manera puede constituirse en un problema mayor para la producción. Niebel et ál. (2004) mencionan que un estudio del MHI reveló que entre el 30 y el 85% del costo de llevar un producto al mercado está asociado con el manejo de materiales. Por otro lado, el manejo de materiales afecta a la operación y diseño de las instalaciones fabriles; de ahí que los objetivos de un buen sistema de manejo de materiales deben considerar (Sule, 2001):

- Aumentar la eficiencia del flujo de material asegurando la disponibilidad de materiales cuando y donde se necesitan.
- Reducir el costo del manejo del material.
- Mejorar la utilización de las instalaciones.
- Mejorar las condiciones de seguridad y de trabajo.
- Facilitar el proceso de manufactura.
- Incrementar la productividad.

Para lograr los objetivos anteriores el ingeniero de métodos debe centrar su análisis en el conjunto de operaciones involucradas en el manejo de materiales, haciendo uso de los diagramas para el análisis del proceso y para el análisis de la operación, especialmente los primeros ya que son herramientas que le permiten observar las esperas, los transportes y los almacenamientos que suceden durante el proceso productivo, y encontrar los métodos que conduzcan a eliminar o combinar operaciones de manejo de materiales, o a simplificar o cambiar el orden en que se ejecutan. Aquí el ingeniero de métodos dirige la observación hacia los componentes de las operaciones teniendo en cuenta, en cada uno de ellos, aspectos como:

- En los materiales que van a someterse a movimiento dentro del proceso productivo resulta fundamental estar atentos al tipo de material a manejar, sus características físicas y químicas, la forma como está unitarizado y las dimensiones de las unidades de manejo. Todos estos aspectos son determinantes para elegir la maquinaria y equipo de manejo y para el diseño o rediseño de las instalaciones fabriles (pasillos y almacenes).

- En la maquinaria y equipo utilizado para mover y almacenar los materiales, es bueno considerar que:
 - Cada equipo está diseñado para unos usos específicos, y por lo tanto ofrece ventajas en cuanto al material que puede mover, las características propias de su funcionamiento, entre otras.
 - En la medida de lo posible, se deben normalizar los equipos y métodos de manejo, ya que ello redundaría en facilidades de uso, mantenimiento y reparación, adaptación rápida y fácil del personal al equipo.
 - Combinado con lo anterior, se debe buscar el equipo que ofrezca una mayor gama de usos, así como la adaptación de accesorios que amplíen la variedad de materiales a manejar.
- En el ser humano, quien interviene en el movimiento y almacenamiento de materiales manipulándolos directamente, o a través de la operación de la maquinaria y equipo, es importante analizar los aspectos relativos con la comodidad y seguridad en el trabajo.
- En el procedimiento (método) que indica el orden en que deben ejecutarse las acciones para un correcto movimiento y almacenamiento de materiales. Resultan de vital importancia las técnicas de inventarios utilizadas por las organizaciones, así como la tecnología para el registro de la información de los materiales en proceso y en bodegas (sobre estos elementos se hace amplia alusión en el capítulo 5).
- En la configuración espacial donde se definen los requerimientos espaciales, condiciones ambientales y características físicas de los pasillos y lugares de almacenamiento que debe tener la empresa. Es fundamental considerar principios como los que plantea Muther (1981):
 - De la integración de conjunto: *“La mejor distribución es la que integra a los hombres los materiales, la maquinaria, las actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes”.*
 - De la mínima distancia recorrida: *“A igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea la más corta”.*
 - Del espacio cúbico: *“La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en vertical como en horizontal”.*

En síntesis, el ingeniero de métodos, que enfrenta el diseño o rediseño de operaciones de manejo de materiales, puede acudir de manera sistémica a la aplicación de una o varias estrategias como las siguientes:

- Eliminación del transporte y almacenamiento de materiales entre operaciones del proceso y bodegaje.
- Disminución en las distancias y frecuencia de los recorridos entre operaciones y áreas de almacenamiento.

- Incremento de la eficiencia en los sistemas de transporte y almacenamiento, expresada en volúmenes de carga y capacidad de almacenamiento.
- Elección del equipo que presenta un menor costo en función de las condiciones particulares que la empresa exige.

RESUMEN

El estudio del trabajo es la disciplina que ofrece metodologías, técnicas y herramientas para la productividad empresarial, en la medida en que centra sus objetivos precisamente en la eficiencia y efectividad en la ejecución de las operaciones de fabricación de un producto o la prestación de un servicio. Es fundamento para tareas como planificación, programación y control de la producción. Para el estudio del trabajo se define como unidad de análisis el puesto de trabajo en tanto que en él se interrelacionan un conjunto de componentes (ser humano, material, máquina, procedimiento y configuración espacial) para la ejecución de una operación. Este concepto es asimilable a una estación de trabajo.

El estudio del trabajo, tal como aquí se presentó, diferencia tres áreas de intervención: la *ingeniería de métodos*, que se preocupa por mejorar la forma como se interrelacionan los componentes de un puesto de trabajo y los componentes en sí mismos. La *medición del trabajo*, mediante la cual se define un tiempo adecuado (tiempo estándar) para la ejecución de la operación dentro del puesto de trabajo, de acuerdo con una interrelación equilibrada de sus componentes. Y el *manejo de materiales*, cuya preocupación se fundamenta en la mejora de los componentes que intervienen en el movimiento de materiales y su interrelación, con el fin de disminuir sus costos.

REFERENCIAS

1. Barnes, R. (1979). *Estudio de movimientos y tiempos*, 5ª edición. Aguilar.
2. Cheng, C.H., Kumar, A. & Morwani, J. (1995). «A comparative examination of selected cellular manufacturing clustering algorithms». *International Journal of Operations and Production Management*. Vol. 15, No. 12. pp. 86-97.
3. Chiavenato, I. (1986). *Introducción a la teoría general de la administración*. Mc.Graw-Hill. México.
4. Dillanés, M. (2006). La gerencia racional científica: en busca de la eficiencia. *Gestión y Estrategia en* www.azc.uam.mx/publicaciones/gestion/num6
5. Doerr, K. & Magazine, M. J. (2000). «Design, coordination and control of hybrid factories. Research issues from an exploratory field study». *International Journal of Operations and Production Management*. Vol. 20, No. 1. pp. 85-102.
6. Ferguson, David S. (1997). "Don't call it 'time and motion study'". *IIE Solutions* 29.n5 (May 1997): 22(2). *Ciencia y Tecnología*. Thomson Gale. UAM Iztapalapa - Mexico. 3 Aug. 2006.
7. Immer, J. R. (1971). *Manejo de materiales*, 2ª edición. Editorial Hispano europea. Barcelona, España.
8. Kalpakjian, C. & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 4ª ed. Prentice Hall.
9. Kilgore, James T. (1997). "Standard data: developing an effective predetermined time system". *IIE Solutions* 29.6 (June 1997): 40(3). *Ciencia y Tecnología*. Thomson Gale. UAM Iztapalapa - Mexico. 2 Aug. 2006.
10. Krick, E. (1979). *Fundamentos de ingeniería: métodos, conceptos y resultados*, 1ª edición. Limusa
11. Krick, E. (1991). *Ingeniería de métodos*, 10ª edición. Noriega-Limusa.
12. Meyers, F. (2000). *Estudios de tiempos y movimientos*, 2ª edición. Prentice Hall.
13. Muther, R. (1981). *Distribución en planta. Ordenación racional de los elementos de producción industrial*, 4ª edición. Editorial Hispano europea. Barcelona, España.
14. Niebel, B. & Freivalds, A. (2001). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 10ª edición. Alfaomega.
15. Niebel, B. & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 11ª edición. Alfaomega.
16. Noori, H. & Radford, R. (1997). *Administración de operaciones y producción: calidad total y respuesta sensible rápida*. McGraw-Hill.
17. Organización Internacional del Trabajo (2002). *Introducción al estudio del trabajo*, 4ª edición. Limusa.
18. Schroeder, R. (1992). *Administración de operaciones*, 3ª edición. McGraw-Hill.
19. Sekini, K. (1992). *One Piece Flow*. Productivity Press Inc. Cambridge Massachussets. USA.
20. Sule, D. R. (2001). *Instalaciones de manufactura*, 2ª edición. Thompson Learning.
21. Taylor, F. (1972). *Principios de la administración científica*. El Ateneo.
22. Vollman, T.; Berry, W. & Whybark, D. (1995). *Sistemas de planificación y control de la fabricación*, 3ª edición. Irwin.

5. LOGÍSTICA Y GESTIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

William Sarache

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Johnny Tamayo

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Andrea García

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de estudio que en la actualidad revisten gran importancia en la dirección de operaciones es la logística empresarial y, por extensión, la gestión de cadenas de abastecimiento (SCM, *supply chain management*). El creciente interés por el estudio de la logística se ha dado de manera paralela con los cambios en el contexto socioeconómico mundial. Dentro de dicho contexto, las prácticas administrativas de las empresas se enfocan en la búsqueda de nuevos mercados en aras de lograr mejores ventajas económicas. En consecuencia, actualmente las empresas de éxito internacional se abastecen en cualquier lugar del mundo que les ofrezca mejores ventajas comparativas, fabrican sus productos en países en los cuales puedan lograr bajos costos de operación y venden en múltiples mercados en busca de maximizar sus ingresos.

Para una empresa contemporánea, que desee acceder a las ventajas que le puede ofrecer el fenómeno de globalización económica, surge la necesidad apremiante de lograr mejoras significativas en múltiples factores clave para asegurar su éxito en el mercado, pues si bien el costo y la calidad mantienen su importancia, las presiones de los clientes los convierten hoy en meras premisas competitivas que las obligan a desarrollar capacidades en otros factores, como el plazo de entrega, la flexibilidad, el servicio y la innovación. Tales exigencias presionan el desarrollo de estrategias competitivas en las cuales la agregación de valor y la reducción simultánea de costos son objetivos ineludibles.

Bajo esta perspectiva, la simplificación e integración de procesos, la adopción de prácticas de gestión colaborativas y de tecnologías de vanguardia que favorezcan la visibilidad y el control de las operaciones de abastecimiento-fabricación-distribución, y la integración efectiva en redes de abastecimiento internacionales, son aspectos que llevan, necesariamente, a la adopción de enfoques administrativos orientados al estudio e incorporación de actividades y estrategias relacionadas con la gestión logística y la gestión de cadenas de abastecimiento.

En este sentido, el presente capítulo aborda el tratamiento del tema en 6 partes principales: primero se expone una breve reseña histórica del campo de estudio que tiene como fin aclarar la terminología y la evolución del concepto de logística y SCM hasta su concepción actual. Seguidamente, se analizan las 10 megatendencias que forman parte de la gestión logística y, principalmente, de la gestión integrada de cadenas de abastecimiento. El tercer apartado se enfoca en el estudio de la logística como campo gerencial generador de ventaja competitiva. En el cuarto se expone un análisis detallado de las actividades predominantes de la gestión logística. Posteriormente, se abordan los nuevos conceptos relacionados con el comercio electrónico y el concepto *e-logistics*. Para finalizar, se presentan brevemente algunas consideraciones que, a juicio de los autores de la presente contribución, es necesario resaltar.

LOGÍSTICA Y SCM: BREVE RESEÑA HISTÓRICA

Los conceptos de gestión logística y de gestión de cadenas de abastecimiento, aunque están altamente relacionados, no significan lo mismo. Para entender su diferencia conceptual, es preciso entender la evolución del campo de estudio en las últimas décadas, pues la logística, al igual que la ciencia administrativa, ha sido el resultado de los cambios económicos, tecnológicos y culturales que han caracterizado a la humanidad y, por ende, al desarrollo empresarial (Gutiérrez Casas & Prida Romero, 1998). En realidad, a pesar de que la logística ha existido siempre como actividad, toda vez que el hombre siempre ha tenido la necesidad de transportarse, almacenar alimentos y comunicarse, entre otras necesidades, y ha sido a lo largo de la historia uno de los pilares fundamentales de la estrategia militar, solo durante la Segunda Guerra Mundial empezó a surgir como campo de estudio.

Desde el punto de vista militar, la logística se refiere al “... estudio de problemas relativos al suministro en tiempo, lugar y forma requeridos de todos aquellos bienes y servicios necesarios para asegurar la eficacia de las actividades encomendadas a los ejércitos, tanto en tiempo de guerra como en tiempo de paz” (Carrasco, 2002). Según Comas Pulles (1996), aunque a principios del siglo XX en las pequeñas y medianas empresas ya

existía un jefe de abastecimiento y distribución, fue solo a partir de los años cincuenta, como resultado de la expansión industrial de la posguerra y su consecuente proceso de internacionalización, que la complejidad de las operaciones exigió fortalecer la gestión empresarial en la función logística. Para Carrasco (2000), es a partir de este momento que el mundo empresarial se empieza a interesar en los enfoques y técnicas de logística, al darse cuenta de la ineficiencia de los enfoques tradicionales de gestión.

Durante el periodo de 1945 hasta la crisis del petróleo en 1973, caracterizado por un crecimiento sostenido en la demanda, estabilidad en los mercados, bajos costos y un dominio de los productores sobre el comprador, la logística se orientó específicamente al problema de distribución física, limitándola a un conjunto de operaciones de transporte y almacenaje desde el proveedor hacia la empresa y desde esta hacia el cliente. En 1963, el National Council of Physical Distribution Management definió la logística como un *“conjunto de actividades que se encargan del movimiento eficiente de los productos terminados desde el final de la línea de producción hasta el consumidor y que, en algunos casos, incluye el movimiento de materias primas desde la fuente hasta la línea”*.

Después de 1973, como consecuencia de la crisis del petróleo, el contexto económico cambia de manera drástica: los costos de operación se incrementaron, la demanda se estancó y en consecuencia los inventarios aumentaron, los clientes empezaron a elevar sus exigencias en términos de costo y otras variables importantes como la calidad. Era claro para los fabricantes y comerciantes que el enfoque de negocio debería evolucionar hacia el desarrollo de nuevas ventajas competitivas. Para ese entonces, se entendió el papel estratégico que una gestión adecuada de los inventarios representaba, no solo en la reducción de costos sino en el aumento de la liquidez y en la rentabilidad de la empresa (Carrasco, 2000). El enfoque requería una gestión integrada de los materiales en el aprovisionamiento, en la fabricación y en la distribución. Surge así el concepto de logística como un proceso de gestión de materiales.

El mismo National Council of Physical Distribution Management, en 1979, redefinió la logística como *“... el conjunto de actividades encaminadas a la planificación, implementación y control de un flujo eficiente de materias primas, recursos de producción y productos finales desde el punto de origen hasta el de consumo”*. Dicho enfoque ya daba los primeros pasos hacia la comprensión de la logística como un problema empresarial que debía mirarse desde el punto de vista sistémico. Según Domínguez Machuca et ál. (1995), *“la aplicación del enfoque sistémico (ES) al estudio y resolución de los problemas empresariales, supone un avance indiscutible en el progreso del conocimiento científico sobre la firma”*.

Para estos autores, el enfoque sistémico en las organizaciones reconoce la complejidad de las interacciones, tanto a nivel interno entre sus áreas funcionales, como con el contexto que las rodea, reconociéndose en el ámbito organizacional que: 1. los distintos elementos están interconectados entre sí por relaciones causales; 2.

existen retrasos e inercia entre los flujos de materia e información; 3. los objetivos empresariales son múltiples y frecuentemente en conflicto; 4. se da una constante interacción con un entorno cambiante, lo cual exige una adaptación continua, y 5. el comportamiento de la empresa es provocado por la estructura interna y por la interacción con el entorno (Domínguez Machuca et ál., 1995).

El enfoque sistémico marcó un hito importante en el concepto moderno de logística, con especial énfasis en la interacción del flujo de materiales, del flujo de información, del flujo de dinero y del flujo de decisiones; que gracias a los avances de las tecnologías de la información, a la necesidad de integrar procesos (internos y externos), a las mayores presiones del mercado (costo, calidad, plazo, flexibilidad, servicio, responsabilidad ambiental) y a la globalización de operaciones, ha generado lo que hoy se conoce como logística integrada o gestión de la cadena de suministro (*supply chain management*, SCM).

La cadena de suministro se define como "... la red de organizaciones que se hallan implicadas a través de una serie de eslabones, 'corriente arriba y corriente abajo' en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios depositados en las manos del consumidor último". (Christopher, 1994). La figura 5.1, expone un esquema simplificado que refleja los elementos componentes de este concepto.

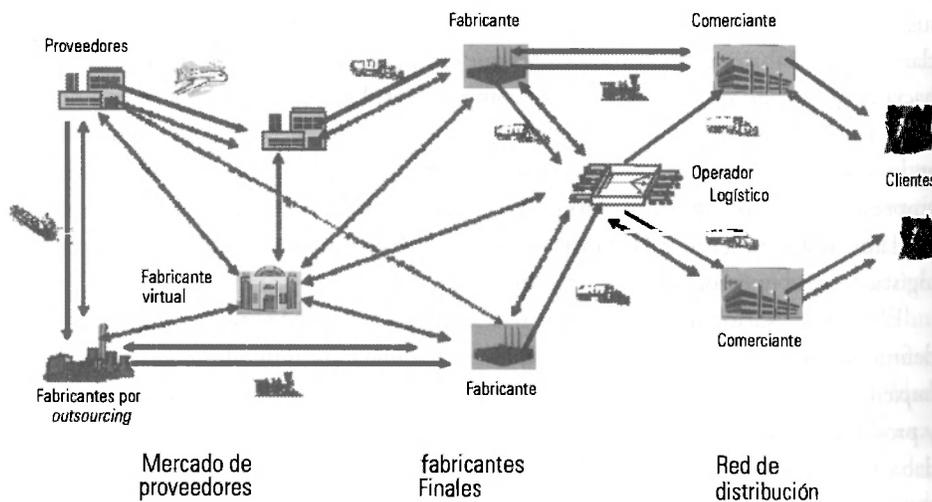


Figura 5.1 Cadena de abastecimiento.

Fuente: Elaboración propia.

El concepto moderno de logística se plantea como "... esa parte de la gestión de la cadena de abastecimiento que planea, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales hacia delante y hacia atrás, el almacenaje de bienes, la prestación de servicios y la información relacionada entre un punto de origen y un punto de consumo con el fin de

satisfacer los requerimientos de los clientes” (Council of Logistic Management¹, 2003). Esta definición sugiere un proceso de gestión que aborda integralmente las operaciones de compras, transporte, almacenaje, producción, comercialización, retorno de productos y embalajes (logística en reversa de posventa) y manejo ambiental de residuos (logística en reversa de posconsumo).

TENDENCIAS EN LA GESTIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO

Según Bowersox et ál., (2000), las 10 megatendencias en la gestión de las cadenas de abastecimiento que se impondrán en las primeras décadas del siglo XXI son: 1. administración de las relaciones con el cliente; 2. colaboración competitiva; 3. planeación con base en información real; 4. estrategia empresarial basada en el cambio y las tendencias; 5. medición del desempeño basado en la mezcla valor-costo; 6. integración de procesos; 7. *outsourcing* e integración virtual; 8. intercambio de información con los socios de la cadena; 9. aprendizaje basado en el conocimiento, y 10. administración del valor agregado. A continuación se expone una breve conceptualización de cada una.

Administración de las relaciones con el cliente. Las presiones competitivas actuales y la imposición de los clientes sobre los fabricantes en los procesos de negociación implican pasar de las meras políticas genéricas de servicio hacia una estrategia orientada a satisfacer eficaz y efectivamente las necesidades particulares de cada segmento de clientes, de manera personalizada, manteniendo un alto nivel de contacto y desarrollando la capacidad de anticiparse a sus demandas. Esto requiere una empresa con habilidades para insertarse adecuadamente en varias cadenas de abastecimiento, identificar nichos estratégicos de mercado, caracterizar los perfiles de clientes en cada mercado y desarrollar estrategias logísticas y de fabricación diferenciada, y el emplear tecnologías que faciliten un alto nivel de contacto con el mercado final. Para Greenberg (2002), la gestión de relaciones con el cliente o *customer relationship management* (CRM) se centra en un propósito fundamental: la captación, la fidelización y la conservación de los clientes.

Colaboración competitiva. En la actualidad, las relaciones de colaboración se imponen como parte de una estrategia sólida de éxito en la cadena de abastecimiento. La colaboración competitiva implica el desarrollo de sinergias y la celebración de acuerdos y alianzas de colaboración entre los miembros de la cadena de abastecimiento (Rosenzweig et ál., 2003). Según Ibarra Núñez (1998), las alianzas estratégicas se deben construir con base en la sinceridad de propósitos y orientarse a

¹ Antes denominado National Council of Physical Distribution Management.

compartir habilidades que permitan fortalecer los eslabones de la cadena de valor, y al alcance de resultados positivos en la reducción del riesgo, economías de escala, avance tecnológico, integración vertical, expansión internacional y protección o reducción de competencia.

Para Ernst (1993): "... las alianzas son el instrumento más utilizado por las multinacionales para penetrar mercados emergentes y cada vez más empresas locales están obligadas a encontrar aliados globales para poder sobrevivir"². Por tanto, es necesario que una empresa seleccione adecuadamente el tipo de alianza que más le conviene, de tal forma que pueda negociar en una posición que, en verdad, le permita mejorar su ventaja competitiva. Las formas de asociación más comunes son: la subcontratación (*outsourcing*), la compra de empresas, la franquicia, la fusión y los negocios de riesgo compartido (*joint-venture*), entre otras.

Planeación soportada en información real. Los esfuerzos orientados hacia la colaboración competitiva han desarrollado dos nuevos conceptos de gestión denominados CPFPR (*collaborative planning, forecasting and replenishment*) y CCRM (*collaborative customer relationship management*). Según Seifert (2003), el primero representa una nueva generación de los enfoques ECR (*efficient consumer response*) y el segundo, una evolución del concepto CM (*category management*). Ambos persiguen un alto nivel de integración externa de las operaciones y de los sistemas de información en toda la cadena de abastecimiento. Bajo un esquema de colaboración CPFPR-CCRM, es posible, con la ayuda de tecnologías de captura de información y de sistemas de información integrados, detectar el comportamiento real de los productos en el eslabón final de la cadena y orientar las actividades de planeación de los abastecimientos, la planeación de la producción y la planeación de entregas, de tal forma que se maximicen los niveles de servicio (reducción de agotados y entregas certificadas), a la vez que se reducen los costos logísticos.

Estrategia empresarial basada en el cambio. El contexto socioeconómico, socio-cultural y ambiental actual ha puesto de manifiesto que lo único constante es el cambio; en esta perspectiva el gerente de hoy debe ser hábil administrándolo. Para Bowersox et ál. (2000), los gerentes deben trabajar en tres frentes principales para construir estrategias flexibles basadas en el cambio: 1. visualizar integralmente las actividades y recursos de la organización en función de los escenarios futuros de actuación, 2. desarrollar habilidades para resolver situaciones que no responden a su experiencia pasada y 3. desarrollar habilidades para usar e interpretar herramientas de apoyo a las decisiones (*decision support systems, DSS*), que les permitan evaluar diferentes alternativas en la gestión de las cadenas de abastecimiento.

² De esta afirmación existen importantes evidencias en los aportes de Dawar & Frost (1999), Magretta (1998), Prahalad & Lieberthal (1998), Hastings (1999), Ghemawat (2001) y Karhu et ál. (2002), entre otras experiencias empresariales y estudios empíricos.

Medición del desempeño en función de la mezcla valor-costo. Dadas las tendencias actuales en la gestión de la cadena de abastecimiento y su propia complejidad, es necesario generar indicadores de desempeño que midan los ingresos y la reducción de costos obtenidos en la operación logística, y que permitan establecer la percepción de valor por parte del cliente. Para Christopher (1994), el éxito en la gestión logística es el resultado de una mezcla adecuada entre valor y costo. Este mismo autor agrega que las empresas que se destacan por ser de clase mundial basan su estrategia no solo en un producto de bajo costo o de costo aceptable, sino en una alta dosis de servicios agregados que aumentan la percepción de valor por parte del cliente. Hoy en día se plantea que un cliente está dispuesto a pagar más por un producto si con este percibe un alto nivel de valor agregado. En este sentido, el desempeño organizacional debe medirse, a partir de un conjunto de indicadores integrales que permitan valorar, en cada decisión, el nivel de agregación de valor y la reducción de costos.

Integración de procesos. Una de las tendencias presentes en la gestión de cadenas de abastecimiento, de mayor prioridad, se centra en el rompimiento de las “murallas” de las áreas funcionales, hacia una integración de sus procesos, tanto a nivel interno entre áreas clave y de soporte en la organización como a nivel externo con los proveedores, canales de distribución y consumidor final. Para Christopher (1994), existen cuatro estadios de integración de procesos: estadio 1, donde la integración es inexistente, aun entre áreas y procesos altamente relacionados como compras y gestión de materiales. Estadio 2, en el que los procesos se integran a nivel interno en cada área funcional; por ejemplo, en este nivel, las empresas se caracterizan por tener organizados los procesos internos del área de producción, soportados, inclusive, en herramientas informáticas para la planeación y el control; no obstante, aún no tienen integrados sus procesos con compras, ventas, recursos humanos, etc. Estadio 3, aquí la empresa se caracteriza por tener integradas sus áreas funcionales, apoyándose en el uso de tecnología informática que permite administrar todas las operaciones en red y el acceso simultáneo e integrado a las bases de datos; es frecuente que en este nivel las empresas logren un buen aprovechamiento de sistemas de apoyo como los ERP (*enterprise resourcing planning*). Estadio 4, el más alto; las empresas logran integrar sus procesos internos con los procesos de sus proveedores y su canal de distribución a través de esfuerzos organizativos e inversiones en tecnologías de información de alto desempeño. En este es normal que las empresas adopten buenas prácticas logísticas, como sincronización de bases de datos, entregas paletizadas, *outsourcing*, operaciones de *cross-docking*, rastreo automático de mercancías (códigos de barras, codificación electrónica de productos, EPC, identificación por radiofrecuencia, RFID), transmisión electrónica de documentos (EDI, *electronic data interchange*), comercio electrónico, entre otros. Todo lo anterior se centra en la búsqueda de una real integración interempresarial.

Outsourcing e integración virtual. En el pasado, el enfoque de negocios a nivel de la industria se centró en la reducción de costos a través de las economías de escala. Para tal fin, las empresas controlaban una buena cantidad de operaciones que, en algunos casos, como en la industria textil, abordaban desde las operaciones de recolección de fibras hasta la fabricación y comercialización de prendas de vestir. Dicha estrategia de fabricación fue adecuada quizá hasta finales de los años setenta ya que en ese contexto primaba la oferta sobre la demanda y, por tanto, otras prioridades competitivas, como la entrega, la flexibilidad y el servicio, aún no eran exigibles por el mercado. En los tiempos de hoy una estrategia centrada en altos niveles de integración vertical es insostenible.

De acuerdo con lo anterior, hoy las empresas de clase mundial se enfocan en sus operaciones clave (*core business*) y lo demás lo subcontratan (Mentzer et ál., 2004). De esta manera, pueden centrar sus esfuerzos en la competencia en la cual son imbatibles, alcanzando importantes reducciones en sus costos logísticos o mayor valor agregado; por otro lado, apoyadas en una buena base de proveedores de servicios (*third party logistic*, 3PL), mantienen alto desempeño en un conjunto amplio de prioridades competitivas. La estrategia de tercerización o *outsourcing* se convierte en una de las prácticas de clase mundial más aceptadas. No obstante, en algunos países, aún se ve limitada por la ausencia de buenos proveedores de servicios logísticos o por la dificultad de las empresas de ceder el control de algunas operaciones, ya sea por razones organizativas, culturales o tecnológicas. Actualmente, el transporte, el control de inventarios, el mantenimiento, la administración de los sistemas de información, las operaciones de logística en reversa, la contratación y capacitación de personal, la vigilancia y seguridad, entre otras, son operaciones tercerizables.

Intercambio de información con los socios de la cadena. Como consecuencia lógica de las tendencias descritas, surge la necesidad de que los integrantes de una cadena de abastecimiento, a partir de sólidas relaciones y confianza, compartan la información relevante que permita una mejor gestión. El intercambio de información, preferiblemente en tiempo real, es uno de los pilares fundamentales de la colaboración competitiva. Sin embargo, en algunas organizaciones, no solo existen dificultades para compartir la información y tomar decisiones conjuntas con sus proveedores y distribuidores, sino que además se dificultan en su interior.

La capacidad de los miembros de la cadena de compartir información relevante en torno al comportamiento de las ventas, promociones, temporadas, inventarios, tendencias del consumidor, posibilidades de mejora en los diseños, formas de reducir costos de fabricación, aprovechamiento de nuevas tecnologías, etc., es un factor relevante para los objetivos estratégicos de reducción de costos logísticos y aumento en la generación de valor. Dos de las buenas prácticas que adoptan las empresas de alto desempeño son: 1. la ingeniería concurrente (*concurrent engineering*), para mejorar la integración y la toma de decisiones conjuntas en el diseño, manufactura y comercialización del

producto dentro de la organización y 2. el antes mencionado CPFR, para mejorar la planeación, los pronósticos y el reabastecimiento en toda la cadena.

Aprendizaje basado en el conocimiento. Los rápidos cambios de la tecnología, las nuevas formas de organización y los cambios permanentes en el contexto socioeconómico, como resultado de los negocios globalizados, exigen mayores esfuerzos en la administración del recurso humano, por ser este, en últimas, la base fundamental para el éxito competitivo empresarial. Para Bowersox et ál. (2002), los procesos logísticos dependen principalmente de las habilidades y capacidades del recurso humano. En este sentido, dada la diversidad de personas que intervienen en la cadena de abastecimiento (directivos, ingenieros, almacenistas, conductores de camión, operarios de manufactura, supervisores de línea, vendedores, etc.), el entrenamiento de un empleado, más allá de centrarse en su actividad específica, debe permitirle tener un amplio conocimiento del proceso logístico y, en mayor o menor nivel de detalle, una visión integral de la cadena, sin importar su posición en la jerarquía de la empresa. Por otro lado, el entrenamiento de los altos ejecutivos y gerentes debe darse en función del desarrollo de habilidades para la gestión estratégica, que mejore su capacidad de evaluación de los riesgos y oportunidades de negocio en diversos contextos competitivos.

Administración del valor agregado. Tradicionalmente, hasta principios de los años noventa, las empresas basaban las decisiones en un conjunto de indicadores contruidos a partir de los procedimientos contables clásicos, que si bien pudieron ser adecuados para aquellos tiempos en los cuales la gestión e integración de cadenas de abastecimiento no era un tema relevante ni necesario, hoy en día resultan limitados. Los sistemas tradicionales de contabilidad de costos han sido ampliamente criticados por su tendencia a establecer indicadores de medición local, por ejemplo, la productividad del área de producción sin tomar en consideración los impactos en la cadena de abastecimiento. Son clásicos los problemas de generación de inventarios en la bodega de productos terminados, como consecuencia de una planta de manufactura centrada en lograr la eficiencia de sus recursos. También son notorios los problemas de muchas plantas de producción, como resultado de una política de ventas centrada en un alto surtido de productos difícilmente manufacturables. En ambos casos, el problema radica en que cada área funcional (producción y ventas) está tratando de mejorar su desempeño local.

En respuesta a esta situación, desde principios de los años noventa se ha impuesto un nuevo sistema de costeo denominado ABC (*activity-based costing*). Según Bowersox et ál. (2002), este método permite a los administradores mejorar su comprensión de la dinámica de integración interna y externa de actividades funcionales, facilitando las métricas o indicadores adecuados para tomar decisiones de tipo estratégico y táctico. Los recientes desarrollos en la gestión del valor han llevado a la aparición del concepto de valor económico agregado (EVA) y de

valor agregado de mercado (MVA). El EVA mide el nivel de agregación de valor de la compañía. Gracias al uso del EVA y el MVA, actualmente las decisiones que se toman en torno a la cadena de abastecimiento pueden ser evaluadas en función de su capacidad de agregar valor o de reducir costos. En cualquier caso, la gestión basada en el valor permite detectar decisiones que son favorables para la sanidad financiera de la empresa.

LA LOGÍSTICA COMO FUENTE DE VENTAJA COMPETITIVA

En la perspectiva actual y las nuevas exigencias de integración en cadenas de abastecimiento, la logística ha dejado de ser un proceso o una mera área funcional de corte operativo, para convertirse en una estrategia gerencial del flujo de recursos productivos, que involucra las responsabilidades que se extienden desde los proveedores hasta el consumidor final. La logística surge como una disciplina que tiene un carácter integrador de las áreas más importantes y funcionales de las empresas; y además, con sus atributos, interviene en todos los procesos y actividades. Para Christopher (1994), *“Logística es el proceso de administrar estratégicamente el abastecimiento, movimiento y almacenaje de materiales, partes y producto terminado (y todos los flujos de información relacionados) a través de las organizaciones y sus canales de distribución de una manera que la rentabilidad actual y futura sea maximizada a través del cumplimiento efectivo y económico de las órdenes de pedido a los clientes”*.

En la actualidad, el énfasis en la logística como sistema es un enfoque vigente que promueve la exploración de mejores formas de administrar las organizaciones. Como actividad gerencial, interviene en los tres subsistemas fundamentales del sistema logístico: el subsistema de aprovisionamiento, que comprende todas las actividades necesarias para colocar los materiales a disposición de la empresa; el subsistema de producción/operaciones, responsable de la transformación de los materiales y/o servicios; y el subsistema de distribución, que atiende las entregas a los clientes, por diversos medios (Arbones Malisani, 1999).

Una de las ventajas competitivas que persigue la gestión logística es ofrecer precios acordes con el valor percibido por el cliente y para dar cumplimiento a este objetivo optimiza procedimientos, amplía la cobertura de los mercados, implementa sistemas de información y comunicación, y mejora la relación con los proveedores. Lograr estos progresos logísticos en las empresas es hallar las fórmulas y los medios que les permiten estar a la altura del ritmo de cambios impuestos por un mundo globalizado, en el cual la información es el eje de un eficiente flujo logístico, que de hecho garantiza la supervivencia empresarial. La figura 5.2 expone el campo de acción de la logística.

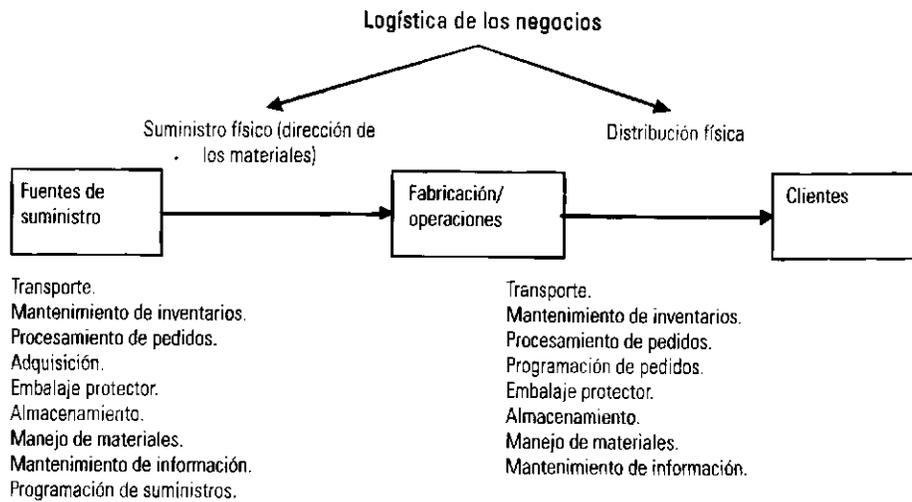


Figura 5.2 Campo de acción de la gestión logística.

Fuente: Ballou (1999)

Fuente: Modificada a partir de Ballou (1999).

Por otro lado, el ambiente de la economía global está causando profundos cambios en la administración de las operaciones y actividades logísticas: cambios en el comercio, la cobertura y modernización de infraestructuras de transporte y la intensificación de la competencia que son de gran importancia para la gestión de una cadena de abastecimiento mundial (Dornier et ál., 1998). En este sentido, el logro de ventajas competitivas se enmarca en la capacidad que tienen las organizaciones de beneficiarse de este nuevo escenario; así, presiones generadas por la introducción de nuevos productos, los cortos ciclos de vida del producto, los cambios de requisitos del cliente y los avances en tecnología de fabricación e información, han conducido a especificaciones más difíciles del diseño y mayores expectativas sobre el valor añadido (Yusuf et ál., 2004).

Hoy resulta claro que las prioridades competitivas de las organizaciones se centran en las entregas, la flexibilidad y la excelencia en el servicio al cliente, sin restarle valor a las relaciones clásicas de reducción de costos y aumento de la calidad (Chen et ál., 2004; Yusuf, 2004). De hecho, el costo y la calidad, más que una prioridad competitiva, se consideran como una premisa de competitividad, sin la cual es imposible entrar en un mercado de alta exigencia. De esta manera, la estrategia logística, en armonía con la estrategia empresarial, debe buscar un equilibrio entre las diferentes metas a alcanzar; tarea compleja dado el posible conflicto que puede existir entre la reducción de costos y la reducción de plazos, debido a la existencia de los denominados *trade-offs*³.

³ Los *trade-offs* implican dejar de hacer algo a fin de ejecutar de manera óptima otra actividad. Por ejemplo, entre las alternativas más comunes está aumentar el tamaño del lote para reducir costos de producción, pero generando inventarios.

De acuerdo con lo anterior, la logística se convierte en una disciplina indispensable para generar mayor valor agregado a sus clientes, con menores costos, a partir de la articulación de todas las actividades de la cadena de abastecimiento; la base sobre la cual se formulan los objetivos de la gestión logística es la estrategia corporativa de la empresa. Por tanto, el primer paso para garantizar el alcance de una ventaja competitiva es tener claridad acerca de los aspectos en los que tiene o desea obtener una verdadera superioridad; para Porter (2000), "*Las empresas están obligadas a crear una posición única y exclusiva, una manera singular de competir que les permita destacarse y diferenciarse*". Es decir, se requiere una estrategia que genere ventajas de manera permanente y sostenible, mediante un mejoramiento del *know-how* en cualquier área o especialidad de la empresa.

La determinación de la estrategia corporativa que direccionará todos los subsistemas de la empresa puede ser de seis categorías: innovación de tecnología, explotación de tecnología, tecnología de servicio, individualización o fabricación bajo especificaciones del cliente, modularización y economía (Meredith, 1999); sin embargo, la adopción de una estrategia empresarial, según estas categorías, debe tener en cuenta las oportunidades y fortalezas que se detecten en el análisis estratégico. Para Porter (1990), la estrategia empresarial puede centrarse en alcanzar un liderazgo en costos, un liderazgo en la diferenciación o una mezcla de ambos. En cualquier caso, es necesaria una estrategia logística acorde con el rumbo estratégico de la organización que permita armonizar objetivos o prioridades competitivas contrapuestas⁴. Una vez la empresa ha definido el enfoque global de la organización, podrá entonces proceder a formular estrategias logísticas, para lo que una alternativa es el análisis del ciclo de vida del producto. La tabla 5.1 expone las prioridades competitivas a fortalecer en cada etapa de este ciclo.

En la tabla 5.1 se observa que el servicio al cliente alcanza un carácter estratégico en el desempeño logístico de la empresa. En este sentido, indicadores relacionados con las entregas certificadas, la disponibilidad, el plazo de entrega y la reducción de agotados en punto de venta, forman parte integral del concepto de servicio. Para Ballou (1999) y Chen et ál. (2004), un buen servicio al cliente es el resultado de la buena ejecución de todas las actividades logísticas, y las empresas podrán superar a sus competidores solo si exceden las expectativas de respuesta al cliente. Esto, según Bovee & Thiagarajan (1999), exige una adecuada segmentación del mercado. Identificar la mezcla adecuada valor-costo que requiere un segmento de mercado facilita el desarrollo de operaciones logísticas y de producción con mayor valor agregado, a la vez que se optimiza la rentabilidad y el crecimiento de la empresa (Bovee & Thiagarajan, 1999; Miller et ál., 2000).

⁴ Por ejemplo, una ventaja competitiva centrada en entregas rápidas puede exigir la introducción de tecnologías de fabricación y selección de medios de transporte que afecten de manera sustancial el costo logístico. Por tanto, la gestión logística debe entrar a equilibrar los objetivos de reducción de plazos de entrega y reducción de costos.

Tabla 5.1 Prioridades competitivas en el ciclo de vida del producto.

Etapa	Introducción	Crecimiento	Madurez	Declive
Estrategia	Innovación y servicio	Servicio	Servicio /coste	Liderazgo en coste
Prioridades competitivas	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Flexibilidad • Innovación 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Fiabilidad • Calidad • Flexibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Fiabilidad • Compromiso entre servicio al cliente y coste • Calidad total del suministro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste mínimo • Nivel de servicio aceptable • Calidad conforme

Fuente: Adaptado de Casanovas (2001).

Así mismo, la alineación entre las necesidades del cliente y la toma de decisiones en cada uno de los niveles de la cadena de abastecimiento tienen implícita una estructura *build to order* (BTO) (Prasad et ál., 2004), que sumada a la incorporación de características de *producción esbelta*⁵ y ágiles estrategias de negocio dan paso al concepto *build-to-order supply chain* (BOSC). Para Gunasekaran (2004), BOSC se define como una configuración de firmas con capacidad dentro de la cadena de abastecimiento para crear una mayor proporción de flexibilidad y reacción al cambio del mercado dentro de un manejo efectivo de los costos.

En la búsqueda de ventajas competitivas, el problema consiste entonces en lograr un adecuado encadenamiento de los diferentes actores involucrados con la generación de valor. La integración funcional y externa lleva a la conformación de la cadena de abastecimiento. El objeto perseguido es la maximización de las metas de forma integral y no de manera aislada en cada eslabón o empresa de la cadena; para Mendoza & Velásquez (2002), la maximización de beneficios solo se alcanza cuando la cadena es capaz de lograr los objetivos económicos y a la vez generar resultados favorables para su cliente en términos de tiempo, valor, modo y lugar. Dicho planteamiento obliga entonces a la incorporación de prácticas de colaboración competitiva bajo un enfoque SCM.

Shin & Collier (2000) proponen como características más relevantes de la SCM las siguientes: 1. relaciones de largo plazo con los proveedores, 2. involucrar al proveedor en el desarrollo de productos, 3. reducción del número de proveedores y 4. enfoque a la calidad. El establecimiento adecuado de una estrategia SCM es coherente con los enfoques de gestión JIT (*just in time*) y TQM (*total quality management*). Según Kannana & Choon (2004), la integración de los conceptos JIT-TQM-SCM mejora los resultados en términos de reducción de costos e incremento en los niveles

⁵ Manufactura esbelta, o *lean manufacturing*, es una filosofía para estructurar, operar, controlar, manejar y mejorar continuamente los sistemas de producción industriales. Los principios fundamentales de esta filosofía son: estabilidad en el proceso, trabajo estandarizado, producción nivelada, justo a tiempo, calidad en la fuente, control visual y mejoramiento continuo.

de servicio en la cadena de abastecimiento. No obstante, para alcanzar una verdadera integración de los procesos interempresariales, la introducción de tecnologías de información resulta imprescindible (Prida & Gutiérrez, 1996; Trent et ál., 2000).

ACTIVIDADES FUNDAMENTALES DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA

Para Christopher (1994), la gestión logística es un "... conjunto de acciones encaminadas a la planificación y coordinación de todas las actividades necesarias para conseguir los deseados niveles de servicio y calidad al menor costo posible", y es el medio por el cual "... se satisfacen las necesidades de los clientes a través de la coordinación de las materias primas y el flujo de la información que se extiende desde el mercado a través de la firma y sus operaciones y más allá de ésta hasta los proveedores".

En este sentido, y para lograr los deseados niveles de desempeño, Ballou (1999) clasifica las actividades de la logística en dos grandes grupos: actividades clave y actividades de soporte. Las actividades clave son: el servicio al cliente, el transporte, la gestión de inventarios y el flujo de información y procesamiento de pedidos. Las actividades de soporte son: almacenaje, manejo de materiales, compras, empaquetado, cooperación con producción/operaciones y mantenimiento de la información. A continuación se exponen las tendencias y conceptos relacionados con algunas de las actividades clave y de soporte más relevantes.

Compras y desarrollo de proveedores

Según Burt et ál., (2002), la función de aprovisionamiento hasta los años ochenta fue relegada a las operaciones de compra y administración del inventario. No obstante, las exigencias del medio competitivo han llevado a reconocer la importancia estratégica de la gestión de compras y la gestión de proveedores. Hoy se concibe la gestión de compras como una función integral que forma parte de un concepto más amplio llamado *procurement*, que aborda todas las actividades necesarias relacionadas con la obtención de artículos, servicios y cualquier otro material desde el proveedor. *Procurement* incluye la selección de proveedores, negociación, expedición, monitoreo del desarrollo del proveedor, manejo de materiales, transporte, almacenamiento y recepción de materiales. Para Chase et ál. (2000), la función de compras es una de las más importantes para la gestión logística, en razón a que su desempeño determina la capacidad de respuesta a los requerimientos internos y externos de la empresa.

De igual manera, la función de compras adquiere hoy mayor importancia ante la incursión de los negocios por medios electrónicos, que implican órdenes de compra más frecuentes y pequeñas, exigiendo a su vez procesos logísticos más eficientes

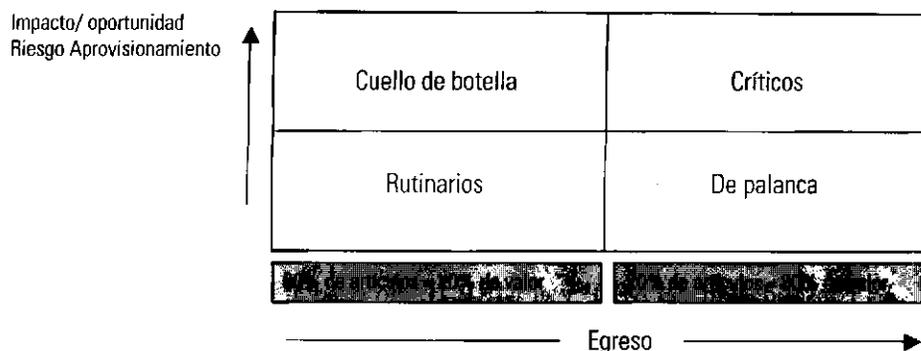
(Hintlian & Mann, 2001); la optimización de los procesos de compra proporciona una verdadera ventaja competitiva. Por tal razón, la estrategia de compras debe ir alineada con la estrategia empresarial y con los objetivos generales de competitividad, y las metas de aprovisionamiento se deben fijar en función de un conjunto amplio de criterios, como costo, calidad, disponibilidad, plazos de entrega y servicio, que son la base fundamental para la selección y evaluación de proveedores. Las metas de aprovisionamiento pueden ser similares para la mayoría de los artículos; sin embargo, es necesario fijar objetivos específicos en aquellos casos en que pueden tener un impacto significativo en la empresa.

La atención que adquiere cada artículo que compra la empresa depende de su importancia o posición jerárquica en el inventario; para valorar la importancia relativa de cada uno de los diferentes productos y servicios que compra la empresa, la Cámara de Comercio Internacional de Barcelona (2000) propone una guía de trabajo denominada Modelo de Posición de Aprovisionamiento, el cual evalúa los siguientes factores:

1. Nivel de gasto anual en el artículo, para el cual se utiliza la ley de Pareto, que estipulará en cuáles de los artículos hay posibilidades potenciales de ahorro en costes.
2. Impacto sobre la empresa en términos de beneficios perdidos, si no se consigue cumplir con los objetivos de aprovisionamiento para el artículo.
3. Análisis de oportunidad y riesgo para medir hasta qué punto las condiciones de aprovisionamiento del mercado le exigirán a la empresa un esfuerzo especial, para evitar el riesgo de no alcanzar los objetivos de abastecimiento o para aprovechar las oportunidades que pueden darse.

La figura 5.3 expone un esquema de clasificación de los productos que compra la empresa a partir del principio de Pareto.

Figura 5.3 Modelo de posición del aprovisionamiento: 4 tipos de artículos de compra.



Fuente: Cámara de Comercio Internacional de Barcelona, España (2000).

En la figura 5.3 la posición ideal está en el cuadrante “de palanca”, en el cual se dispone de un poder negociador relativamente fuerte y a muchos proveedores que compiten entre sí les puede interesar hacer negocios con la empresa. El objetivo de la empresa siempre debe ser acercar las compras hacia esta posición, en razón a que puede lograr negocios competitivos que satisfagan sus requerimientos, con poco riesgo a partir de procesos de compras inteligentes.

La práctica logística en la gestión de compras clasifica los productos bajo dos tipos de demanda: los productos de demanda independiente y los productos de demanda dependiente. La *demanda independiente* “es la que proviene directamente del mercado y que por tanto no puede ser controlada ni determinada por la empresa, sino sólo prevista” (Cuatrecasas, 2000). La *demanda dependiente* es la que se deriva de las necesidades del proceso productivo una vez establecido el plan maestro de producción. En ambientes de fabricación, donde el tipo de demanda es dependiente, el sistema de administración de los materiales más utilizado es el MRP (*material requeriment planning*), que interviene como una herramienta que relaciona el abastecimiento de materiales directamente con la demanda; dicho enlace genera beneficios como el bajo nivel de inventarios con ahorro en capital, espacio y almacenamiento, mejor servicio al cliente, dado que se evitan los retrasos causados por escasez de materiales, y mayor fiabilidad y rapidez en los tiempos de entrega (Waters, 2003).

Una significativa extensión del MRP es que adicionalmente retroalimenta la planeación. El MRP usa la programación maestra, pero usualmente presenta algunas variaciones y desviaciones que se manifiestan en la cadena de abastecimiento, haciendo que estas se amplíen “aguas arriba” hacia los proveedores. Ante estos problemas, la situación ideal es anticiparse a las variaciones desde la fase de planeación, para lo cual se introduce la llamada planeación de la capacidad que funciona como un circuito cerrado MRP (Waters, 2003), también conocida como MRP II o MRP de bucle cerrado (Luber, 1998).

El MRP II (*manufacturing resources planning*) no solo permite apoyar el proceso de compras; es un sistema integrado que gestiona *stocks*, órdenes de fabricación y programación de recursos y capacidades industriales; este sistema nació durante los años ochenta como una versión mejorada del MRP originario, al integrar en su sistema operativo la gestión de manufactura, la planeación de la capacidad de las líneas de producción y las actividades relacionadas con la distribución de artículos terminados (Escobar, 2004). El MRP II hace más eficiente la logística, porque permite entregas oportunas, evita la escasez, impide que haya acumulación de inventarios y permite que los productos se muevan fácilmente a través de todo el proceso (Waters, 2003).

La consolidación del MRP y el MRP II, dio paso al ERP (*enterprise resource planning*) o MRP III, el cual integra la planeación y ejecución de la producción con los procesos financieros, de abastecimiento, ventas, distribución y recursos humanos. Las transacciones basadas en los procesos de integración suministran diferentes

herramientas que sirven de soporte a la integración de la cadena de abastecimiento y a la integración de socios externos. Los beneficios logísticos más importantes que suministra el ERP son la integración interna de los procesos y el seguimiento de las transacciones en tiempo real (Kellea, 2004). Así mismo, la premura en el ambiente empresarial por hacer mejor las cosas ha hecho que se introduzcan sistemas APS (*advanced planning and scheduling*), que superan las funciones ofrecidas por el ERP, integrando diferentes métodos de planeación que operan a su vez, con diferentes horizontes de tiempo, generando una mayor exactitud en la planeación, además de extender los enlaces entre órdenes de clientes, producción, compras y transporte (Knolmayer et ál., 2002).

Por otro lado, hoy se acepta que la fiabilidad, la calidad y el buen desempeño de una empresa dependen en gran parte del desempeño de su base de proveedores. La selección de proveedores debe tener como principal criterio la capacidad del proveedor para mejorar y trabajar bajo políticas de cofabricación, sin prescindir de las características valoradas tradicionalmente de calidad, servicio, precio y planes de pago (Schonberger, 2002; Anaya Tejero, 2000; Soret de los Santos, 2001). La selección de proveedores implica una decisión que, en algunos casos, puede resultar bastante difícil, debido a la naturaleza y diversidad de los productos y servicios que se compran y de las variaciones cualitativas y cuantitativas en la demanda de los productos. En este sentido, en la literatura especializada de los últimos 10 años han proliferado los aportes de múltiples autores que proponen la aplicación de diversas técnicas y modelos para la selección y calificación de proveedores a partir de varios criterios de desempeño⁶.

Para Vollmann et ál. (2005), el proceso de desarrollo de proveedores se sustenta en la incorporación de prácticas de clase mundial, como: participación del proveedor en el diseño de nuevos productos y procesos, promoción de programas de entrenamiento para los proveedores complementado con educación *offline*, brindar asistencia en técnicas y herramientas, creación de centros de apoyo al proveedor, asistencia profesional por parte de ingenieros en proceso y auditores de calidad, ampliación de metas para estimular cambios radicales y de mejoramiento continuo, compartir los ahorros a partir de las mejoras de desarrollo y acompañar el proceso de optimización de la administración de aprovisionamiento del proveedor. La gestión de proveedores tiene como propósito construir confianza entre proveedores y compradores, aumentando el alcance de la planeación y el nivel de actividad cooperativa. El establecimiento de sociedades y alianzas entre las empresas y sus proveedores es una manifestación importante de la capacidad para adquirir ventajas competitivas (Johnston et ál., 2004).

⁶ Se destacan los trabajos de Modi & Mabert (2006), Chen et ál. (2004), Bevilacqua et ál. (2006), Ghodsypour & O'Brien (1998), Ghodsypour & O'Brien (2001), Vokurka et ál. (1996), De Boer & Van Der Wegen (2003); Morlacchi, (1999) y Karpak et ál., (2001), entre otros.

Gestión de inventarios

Goldratt (1994) define el inventario como “todo el dinero que el sistema invierte en la compra de cosas que el sistema pretende vender”. La gestión de inventarios es uno de los frentes de trabajo más importantes y complejos en la logística, toda vez que están presentes en toda la cadena de abastecimiento. Así mismo, los inventarios presentan un alto impacto en tres indicadores globales de gestión: la utilidad neta, el rendimiento sobre la inversión (ROI) y la liquidez financiera (Goldratt, 1994). Aunque las tendencias actuales se han dirigido a desarrollar enfoques de gestión integrales para la reducción de los inventarios (JIT, MRP, DBR), es importante recalcar que el objetivo fundamental en los inventarios no se debe orientar a una reducción a ultranza, sino a establecer los niveles adecuados para mantener la operación eficaz de la cadena de abastecimiento.

La gestión de inventarios exige un equilibrio entre el nivel de *stock* y la política de servicio. La reducción de inventarios favorece los niveles de rotación y esto, a su vez, impacta positivamente en la liquidez financiera de la empresa, amén de la reducción de gastos que se logra por menores costos de almacenaje. No obstante, reducir los inventarios trae consigo el aumento del riesgo de ruptura de *stock*, es decir, el aumento de inexistencias, lo cual impacta negativamente la percepción del cliente en términos de fiabilidad en la entrega. El reto consiste, entonces, en alcanzar la máxima rapidez en la entrega con mínimos costos. En este sentido, el diseño de los niveles adecuados de servicio exige una solución integral que se sustenta en tres decisiones estratégicas de alto impacto logístico: 1. la ubicación de las instalaciones, 2. los sistemas de transporte y 3. la política de inventarios (Ballou, 1999).

De acuerdo con Ballou (1999) y Anaya Tejero (2000), se puede establecer que el papel de los inventarios en el logro de los objetivos de una organización se resume en: mantener la continuidad operativa del sistema, responder al nivel de servicio y disponibilidad requerido por el mercado, reducir costos de transporte-producción, coordinar el abastecimiento y la demanda y asistir el proceso de producción y de mercadeo. Para Casanovas (2000) y Arbones Malisani (1999), los inventarios son un elemento vital en la gestión de la cadena de abastecimiento, en virtud a que previene cualquier fluctuación en alguna fase del proceso, lo cual permite neutralizar los desequilibrios que se puedan producir entre abastecimiento y producción, o entre producción y distribución, por causas propias de fenómenos aleatorios asociados al comportamiento del mercado, los procesos de transporte y la capacidad de producción, entre otros.

La etapa inicial de la gestión de inventario corresponde a la clasificación de los *stocks*; desde el punto de vista funcional se clasifican en *stock* industrial y *stock* comercial. En el *stock* industrial se encuentran las materias primas y componentes, materiales en proceso y productos terminados; en el *stock* comercial están el *stock* de base, *stock* de seguridad, *stock* de anticipación, *stock* especulativo y *stock* de transporte

(Anaya, 2000). Posteriormente, se debe establecer un rango de inventario que determine el nivel mínimo y máximo de existencias para cada artículo y un inventario de seguridad que garantice el normal funcionamiento de la empresa.

En la administración del *stock* comercial existen diferentes métodos que permiten establecer el tamaño de lote de compra, tales como EOQ (*economic order quantity*), POQ (*production order quantity*), PPB (*part period balancing*), el modelo con descuento por cantidad y diversos algoritmos y aplicaciones cuantitativas⁷; no obstante, la aplicación real de muchos de los modelos existentes se ve limitada por su imposibilidad de abordar un conjunto amplio de variables, casi siempre de carácter aleatorio, propias de las complejidades de la cadena de abastecimiento. La determinación de un tamaño de lote adecuado debe tener en cuenta, como mínimo, la dinámica y limitaciones de la empresa, de sus proveedores y del sistema de transporte. En este caso, las herramientas de simulación permiten encontrar una mejor solución que las técnicas tradicionales de loteo (Vollmann et ál., 2005). No obstante, en la práctica, generalmente el tamaño de lote es el resultado de una negociación cliente-proveedor.

Gestión de almacenaje

Un almacén es un espacio autorizado, calculado y diseñado para la espera de materiales hasta su posterior utilización o expedición. No obstante, el problema del diseño, ubicación y gestión de almacenes exige mantener una visión estratégica del almacenaje. Según Bowersox (1996), la gestión de almacenaje aborda los centros de distribución, los centros de consolidación y las instalaciones de *cross docking*⁸.

El problema estratégico de los almacenes se funda en su alto impacto en los costos logísticos y en los plazos de entrega. En el diseño del almacén, tres aspectos básicos deben tomarse en consideración: la variedad de productos, la capacidad requerida y el sistema de almacenaje. Por su parte, en el problema de localización debe analizarse un conjunto de factores influyentes relacionados con el costo de la tierra, las vías de acceso, la infraestructura en telecomunicaciones y servicios, las condiciones geográficas y climáticas y los costos de transporte desde los proveedores hasta los centros de consumo. La decisión de construir un solo almacén de alta capacidad o varios almacenes de menor capacidad debe ser el resultado del equilibrio entre los costos logísticos y los plazos de entrega. También debe evaluarse una estrategia mixta que permita mantener almacenes propios con capacidad para absorber una parte de las operaciones en

⁷ Son de amplia difusión el método de Silver-Meal, el algoritmo de Wagner-Whitin, el método POQ y EOQ múltiple, entre otros.

⁸ Una instalación de *cross docking* es un punto de la cadena de abastecimiento que tiene como fin primordial apoyar las actividades de abastecimiento y/o distribución. Sus actividades, apoyadas en tecnologías de información y uso intensivo de sistemas de manejo de materiales, se centran en la consolidación y desconsolidación de mercancías. Una instalación de *cross docking* no tiene como fin el almacenaje de mercancías.

condiciones de estabilidad y almacenes en arrendamiento u *outsourcing* de almacenaje, en las altas temporadas (Ballou, 1999; Pau i & Navasques, 1998).

Según Anaya (2000), el diseño y localización de un almacén debe orientarse sobre los siguientes principios: cómoda y rápida recepción de los artículos, máxima utilización del espacio disponible, minimización de costos de manipulación, localización fácil y correcta de los productos, fácil acceso a los productos almacenados, seguridad de las mercancías e instalaciones y facilidad en el control físico de los productos almacenados. Según los aportes de Ballou (1999), Arbones Malisani (1999) y Pau i & Navasques (1998), los almacenes se pueden clasificar en:

- Almacén de materias primas.
- Almacén de materiales.
- Almacén de aprovisionamiento general.
- Almacén de herramientas.
- Almacén de repuestos.
- Almacén de mantenimiento general.
- Almacén de productos terminados.

Los procesos operativos de un almacén se dividen en dos grandes grupos (Anaya, 2000): procesos relacionados con los *flujos de entrada*, que corresponden a todas las actividades típicas de recepción de mercancías procedentes de fábrica, proveedores o transferencia de inventarios de otro almacén, incluyendo las devoluciones de venta y mercancías de retorno, y *flujos de salida* que incluyen operaciones de venta de productos, devoluciones, entregas a fábrica para producción, consignaciones, destrucción de productos obsoletos y de consumo propio. Dentro de los procesos de salida se distinguen tres fases: *picking*, preparación y embalaje del pedido (*packing*) y despacho (*shipping*).

El *picking* representa todo el proceso inherente a la localización física del artículo, selección de la cantidad requerida según la lista de despacho, hasta su traslado al área de preparación de pedidos. El *picking* es una de las operaciones que mayor impacto generan dentro de los procesos internos y externos de almacenaje. Las operaciones de *picking* pueden llegar a representar entre un 15% y 65% de los costos de almacenaje (Pau i & Navasques, 1998); en este sentido, una buena selección de los equipos de manejo de materiales y sistemas de almacenaje es indispensable para optimizar las operaciones. Para escoger el mejor equipo de *picking* es necesario tener en cuenta la dinámica del movimiento del producto, la variedad de productos y el sistema de almacenaje (véase tabla 5.2).

Tabla 5.2 Sistemas de almacenaje, según el tipo de *picking*.

Tipo de picking	Productos de movimiento lento	Productos de movimiento rápido
Broken case	<ul style="list-style-type: none"> • Estantería estática. • <i>Decked rack</i>. • Carruseles verticales. • Gavetas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mini-loads AS/RS • Cartón <i>flow rack</i>. • Carruseles horizontales • Drawer AS/RS.
Case	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Single-deep pallet rack</i>. • <i>Decked rack</i>. • <i>High-bay shelving</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pallet flow floor pick</i>. • <i>Pallet flow/Pick-to belt</i>. • <i>Automated case flow</i>.
Pallet	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Bulk floor storage</i>. • <i>Double deep rack</i>. • <i>Push-back rack</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • AS/RS • <i>Drive-in rack</i>.

Fuente: Adaptada de Sáenz (2000).

Por otro lado, el control de inventarios y las operaciones de trazabilidad requieren la adopción de tecnologías de captura y almacenaje de información que faciliten la gestión de las mercancías almacenadas y en tránsito. Una de las aplicaciones tecnológicas más importantes en el control de almacenes ha sido el *código de barras* (CB), que permite identificar los productos, determinar su destino e información para facturación, documentar todo el proceso y simplificar el control de los inventarios (Hernández, 2004; Lafuente, 2000; Chase et ál., 2000). Actualmente, la necesidad de administrar una densidad de información mayor ha dado paso a los *códigos bidimensionales 2D*, capaces de almacenar gran cantidad de datos en poco espacio; entre los códigos 2D, el *portable data file 417* (PDF417) revolucionó los CB por permitir lecturas parciales, lectura con/sin contacto, nueve niveles de seguridad y gran capacidad de corrección de errores que permite recuperar el 100% de los datos de etiqueta deteriorados (Escobar, 2004; Lafuente, 2000).

Una tecnología emergente que favorece la identificación y trazabilidad de los productos es el RFID (*radio-frequency identification*). Este permite asignar a cualquier producto una etiqueta electrónica (*tag*) que lleva incorporado un chip con un número de identificación. A diferencia de los CB, el RFID suministra información más detallada sobre el producto y es más robusto para apoyar las operaciones de almacenaje (Hernández, 2004). El RFID y otras tecnologías como el reconocimiento de voz, el XML (*extensible markup language*), códigos de barra como el PDF417, se convierten en elementos modernos que apoyan los flujos de información en el sistema logístico.

Otro desarrollo tecnológico importante en la gestión de almacenes son los WMS (*warehousing management system*). Un WMS es un sistema de información integrado que administra todos los procesos logísticos fundamentales que diariamente se realizan en centros de distribución o bodegas de almacenamiento, donde se requiere

información rápida, exacta y oportuna. El WMS interactúa con los sistemas de información de la empresa para controlar los procesos de recepción, almacenamiento, toma de inventario, preparación de pedidos (*picking/packing*), etiquetado, transporte, distribución de productos y confirmación de entrega (Knolmayer et ál., 2002).

Los actuales avances tecnológicos y la aplicación de la informática han transformado los almacenes en una de las áreas más productivas dentro de la cadena logística. Los almacenes han dejado de ser lugares de reposo de mercancías, para convertirse en centros de acopio que realizan funciones complejas como la preparación de pedidos, etiquetado e incluso montaje y envasado, despachos hacia los puntos de venta del distribuidor o suministro a las líneas de producción del fabricante. Para dar un mejor servicio al cliente, los centros de distribución y almacenamiento deben orientarse a reducir plazos de entrega, reducir existencias y optimizar el uso de mano de obra y de instalaciones físicas.

Gestión del transporte

El transporte es el responsable del movimiento físico de los materiales y productos entre cada uno de los puntos de la cadena de abastecimiento (Waters, 2003); el fin último de esta actividad es entregar en condiciones óptimas el producto al consumidor, en términos de flexibilidad y mínimo costo. Según este autor, las operaciones de transporte pueden representar entre uno y dos tercios del total de los costos logísticos. En estudios recientes se ha demostrado que el costo de transporte representa el 50% del costo total anual de la logística (Swenseth & Godfreyb, 2002).

El transporte alcanza una mayor importancia estratégica al considerar el reto que la globalización económica impone en materia competitiva y que obliga a la adopción de estrategias de abastecimiento y de distribución global mediante el aprovechamiento de las ventajas arancelarias cobijadas en el marco de los acuerdos comerciales internacionales y las ventajas comparativas que, para los países industrializados, ofrecen los denominados países en desarrollo. Según de Christopher (1994), “... la competencia actual no es compañía contra compañía, sino cadena de producción contra cadena de producción”, lo cual exige una estrategia de transporte que facilite un flujo de materiales eficiente, tanto hacia delante como hacia atrás (logística en reversa), pues su objetivo se centra en asegurar el traslado rápido y seguro de las cargas y/o personas a un bajo costo y con una utilización racional de los medios empleados. Este objetivo, en síntesis, se corresponde con la necesidad de contribuir por medio de la transportación a la estrategia competitiva de la organización, dado el alto impacto que esta genera en la estructura de costos, el plazo, la fiabilidad y la flexibilidad en las entregas y en algunas dimensiones del servicio. De acuerdo con Ballou (1999), el transporte, junto con las decisiones de inventarios y de localización de instalaciones, conforman la tríada estratégica de mayor impacto en el servicio a clientes.

Así, desde el punto de vista logístico, el transporte actúa como elemento integrador entre empresas, ciudades, regiones y países, por ser el medio de enlace de los diferentes sectores de la economía, del cual depende, en gran medida, que el producto se entregue "... en el lugar correcto, a la hora correcta y en las condiciones deseadas obteniendo la mayor contribución económica a la empresa..." (Ballou, 1999). Para Mira (2001), los componentes fundamentales de un sistema de transporte son: el medio, el modo, la fuerza motriz y los terminales. El medio se refiere a aquella parte del sistema de transporte donde se acomodan los pasajeros o las mercancías (tren, camión, barco, avión, etc.); el modo establece la mejor alternativa para que el medio escogido se desplace (carretera, aire, mar, ferrovías y ductos)⁹; la fuerza motriz permite mantener el vehículo en uso (motores de gasolina, motores diesel o de pistón, motores turbopropulsados a turbina), y los terminales son la interfaz donde una red de transporte termina y otra comienza (aeropuertos, puertos marítimos, estaciones de ferrocarril, centrales de camiones, entre otras). La tabla 5.3 resume los diferentes medios de transporte más utilizados en la logística.

En este sentido, Benson et ál., (1994) consideran que la principal necesidad que suple el transporte es la de servir de puente en la gran brecha que existe entre el comprador y el vendedor, así como en la brecha geográfica entre mercancías y servicios. El hecho de contar con una producción altamente eficiente no puede garantizar niveles de competitividad en los mercados, si a su vez no se cuenta con un transporte igualmente eficiente y competitivo. Stock & Lambert (2001) consideran que, bajo el ambiente competitivo actual, toda empresa requiere que el sistema de transporte sea manejado de forma integral con su estrategia logística, resaltando la necesidad de administrarlo de tal forma que permita satisfacer las necesidades de los clientes y obtener utilidades económicas.

Tabla 5.3 Modos de transporte.

Características	Carretera	Ferrocarril	Aéreo	Marítimo
Coste	Medio	Bajo/medio	Alto	Bajo/medio bajo
Velocidad km/h	0-96	0-80	0-900	0-32
Frecuencia	Muy buena	Regular	Buena	Limitada
Accesibilidad	Extensa	Limitada	Limitada	Restringido
Fiabilidad	Muy buena	Buena	Muy buena	Limitada
(*) Coste por tm/km = Coste/tm * kilometraje				

Fuente: Anaya Tejero (2000).

⁹ En la práctica las alternativas existentes pueden ser del tipo unimodal o intermodal, en dependencia de la infraestructura y desarrollo de cada región (Lozano, 2002).

El término logística de transporte ha sido poco empleado, principalmente por la generalización que se da al transporte sólo con las actividades operativas relacionadas con el movimiento de mercancías, ignorando toda la planeación y administración que este involucra. No obstante, y de acuerdo con los conceptos de Coyle et ál., (1996), Stock & Lambert (2001) y Button (2002), se puede establecer que la logística de transporte comprende la planeación, organización, dirección y control de las actividades relacionadas con el movimiento de mercancías desde un punto de origen hasta un punto de destino, en condiciones de seguridad, calidad y economía y actuando de manera integrada con todas las áreas de decisión de la empresa (finanzas, ingeniería, inventarios, producción, compras y mercadeo).

Dicha definición propone a la actividad del transporte en tres niveles de decisión: el estratégico, el táctico y el operativo (Ballou, 1999). En el nivel estratégico, las decisiones giran en torno a la selección del modo y del medio de transporte, en función de los múltiples criterios que inciden: el costo, la velocidad, la fiabilidad y el servicio. En el táctico, se establece la planeación de las necesidades del servicio, sujeto a las variaciones de la temporada, de tal manera que se establezca la mezcla de recursos que, a mediano plazo, aseguren un óptimo servicio al menor costo posible; por último, en las decisiones del nivel operativo, se establecen las rutas, los horarios y las capacidades de cargue en función de las necesidades de corto plazo, que en algunas empresas pueden tener un horizonte temporal de un día o unas pocas horas.

Una revisión a los aportes de Arbones Malisani (1990), Benson et ál. (1994), Coyle et ál. (1996) y Stock & Lambert (2001), permite establecer un amplio conjunto de decisiones en los tres niveles antes enunciados que representa, en sí mismo, una guía de actuación para las actividades de planeación, ejecución y control del transporte y que bien podría abordarse en el orden sugerido en la figura 5.4.

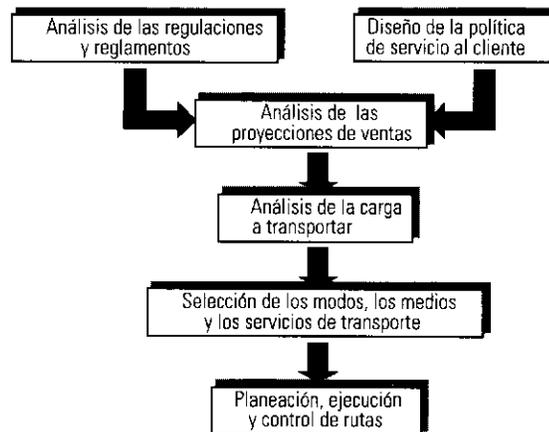


Figura 5.4 Decisiones más recurrentes en la gestión logística del transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las regulaciones y reglamentos. En la decisión de transporte, el administrador logístico debe conocer las diferencias entre mercado doméstico e internacional, ya que la disponibilidad del modo, las tasas, las restricciones de regulación, los niveles de servicio y otros aspectos del transporte varían significativamente de un mercado a otro. Los costos del transporte internacional representan un porcentaje mayor en el valor de la mercancía en comparación con el transporte doméstico, debido a las largas distancias, los requerimientos de administración y el papeleo que acompañan los cargamentos internacionales (Stock & Lambert, 2001). En el orden nacional, las reglamentaciones las define el organismo gubernamental encargado de vigilar el transporte nacional y proteger tanto la promulgación de las nuevas leyes como la modificación de las existentes (Ertel et ál., 1978).

Sobre este aspecto, la tendencia mundial se orienta hacia el desarrollo de una legislación internacional con normas de carácter multinacional, como tratados y convenios, con jurisdicción sobre la mayor cantidad posible de países (Ruibal Handabaka, 1994). Las desregulaciones son el resultado de los tratados, negociaciones económicas y certificaciones internacionales que se dan con miras a lograr reducciones en los costos logísticos y entre ellos los de transporte (Roberson & Capacino, 1994).

Las documentaciones necesarias para el transporte interno e internacional difieren principalmente, en la complejidad de los trámites. En el transporte interno se utilizan diferentes documentos para gobernar, dirigir, controlar y proveer información acerca del cargamento que se realiza dentro de un país; entre los documentos más empleados se encuentra el conocimiento de embarque, la factura de carga y las reclamaciones. En el transporte internacional, la documentación es más complicada ya que se maneja un mayor número de documentos y, además, estos varían de acuerdo con las consideraciones económicas y políticas de cada país.

Diseño de la política de servicio al cliente. Uno de los aspectos estratégicos de la logística se centra en la definición del concepto y de los objetivos del servicio al cliente. El servicio al cliente se define como "... un conjunto de actividades interrelacionadas que ofrece un suministrador con el fin de que el cliente obtenga el producto en el momento y lugar adecuados y se asegure un uso correcto del mismo" (Perrault & Russ, 1976). Por tanto, es preciso establecer que entre las dimensiones del servicio como factor competitivo, el sistema de transporte adquiere una gran relevancia, no solo por su incidencia en una de las variables críticas como el plazo de entrega, sino por sus impactos en otras de igual importancia para el cliente contemporáneo, como el costo, la capacidad de reacción, la fiabilidad en las entregas, la calidad, la flexibilidad en pedidos pequeños, etc.

Para Domínguez Machuca et ál. (1995), el servicio a clientes reviste una alta importancia entre las prioridades competitivas, por las siguientes razones: 1. aumenta la ventaja competitiva a través de la diferenciación; 2. aumenta el valor añadido del producto; 3. es un determinante de la percepción de calidad por parte

del cliente, y 4. actualmente, en algunos mercados, es una condición necesaria para ser competitivo. Sin embargo, la definición del nivel de servicio al cliente, como punto de partida en el diseño de un sistema logístico y por tanto de la estrategia de transporte, no resulta una tarea fácil, pues es necesario establecer la relación ingreso-costo que se genera con cada aumento en las actividades de servicio. Dicha relación se presenta de manera esquemática en la figura 5.5. En ella resulta evidente que, con el incremento del nivel de servicio (NS), también se incrementan los costos, y por tanto es deseable un aumento mayor en los ingresos que permita mejorar los beneficios totales.

Tales apreciaciones también son válidas para el sistema de transporte, de ahí que la selección de los medios adecuados, de las rutas, de las frecuencias de viaje, de los horarios y otros aspectos relacionados con el servicio, debe ser valorada no solo en función de la percepción de los clientes, sino de su impacto en los ingresos y las utilidades; por tanto, el sistema de transporte debe estar condicionado por la política comercial adoptada por la empresa (Pau i & Navascues, 1998). Aquí es preciso recordar los aportes de Goldratt (1994), según el cual, el servicio es solo un medio para acercar la empresa a su meta: “ganar dinero ahora y en el futuro”.

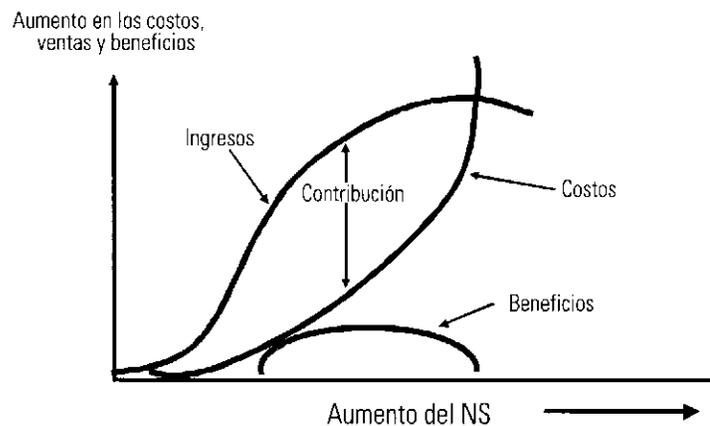


Figura 5.5 La relación ingreso-costo frente al nivel de servicio.

Fuente: Modificada a partir de Ballou (1999).

Análisis de las proyecciones de ventas. Es necesario conocer el comportamiento que los productos a transportar presentan en el mercado objetivo; este paso es importante para realizar una adecuada planificación y programación de las fechas de entrega, el volumen de los envíos, así como otros aspectos que determinan los requerimientos de transporte. Tal actividad obliga, entonces, a realizar un análisis detallado de las ventas pasadas y su proyección en los futuros escenarios en los cuales se

desarrollará el negocio, a través de los denominados pronósticos de ventas. Se puede afirmar, en aproximación a lo expresado por Riggs (1998), Domínguez Machuca et ál. (1995), Buffa & Sarin (1995), Adam & Ebert (1991) y Hanke & Deitsch (1996), que los pronósticos son el punto de partida, no solo para la elaboración de los planes estratégicos, sino para el diseño de los planes a mediano y corto plazo, y permiten visualizar, de manera aproximada, los acontecimientos futuros para eliminar en gran parte la incertidumbre.

Resulta evidente que uno de los principales problemas en la planificación del transporte es la proyección de los volúmenes de carga a través de procedimientos adecuados de pronóstico. La selección del mejor método de pronóstico debe obedecer, en el caso de los métodos cuantitativos, al comportamiento histórico de los datos, con base en el análisis de los patrones de comportamiento medio, tendencia, ciclos estacionales y elementos aleatorios. En el caso de que los datos históricos no existan o sean poco confiables, lo mejor es emplear los métodos cualitativos, los cuales, aunque no ofrecen un alto grado de seguridad, resultan mejores que nada. Sin embargo, el mejor pronóstico es aquel que, además de manipular los datos históricos mediante una técnica cuantitativa, también hace uso del juicio y el sentido común empleando el conocimiento de los expertos (Hanke & Deitsch, 1996).

Análisis de la carga a transportar. Desde el punto de vista del transporte, *“la carga es un conjunto de bienes o mercancías protegidas por un embalaje apropiado que facilita su rápida movilización”* (Ruibal Handabaka, 1994); para determinar sus características se deben analizar dos aspectos principales: el tipo de carga y la naturaleza de la carga. El primero se clasifica en carga general (no unitarizada y unitarizada) o carga a granel (líquida, sólida o seca). Desde el punto de vista de su naturaleza, puede ser perecedera, frágil o peligrosa; de acuerdo con estas características se establece el tipo de embalaje y equipo de manejo de materiales a emplear. La preparación de la carga para el transporte aborda tres actividades fundamentales:

1. El empaquetado, que busca proteger las características de la carga y, por tanto, preservar la calidad de los productos hasta su llegada al cliente en óptimas condiciones.
2. El marcado, que facilita la identificación de las mercancías y su localización; esta actividad tiene una estrecha relación con el embalaje de los bienes.
3. La unitarización, que consiste *“... en la agrupación de mercancías para facilitar su manipulación de forma tal que no tengan que sufrir ninguna modificación en la (des)carga”* (Pau i & Navascues, 1998). La ‘paletización’ y la ‘contenedorización’ constituyen las modalidades más comunes de unitarización de la carga.

La paletización se refiere a la agrupación de productos en sus respectivos sistemas de empaque y/o embalaje sobre un *palet* (estiba o plataforma¹⁰) debidamente asegurado; por su parte, la contenedorización es un método que utiliza una unidad de transporte de carga llamada contenedor, que permite el acarreo de carga unitarizada como una unidad de carga indivisible, segura e inviolable que solo se almacena, moviliza, apila, etc., y que se llena, se estiba y se vacía, en el lugar de origen y de destino del embarque, respectivamente.

Selección de los modos, los medios y los servicios alternativos de transporte. Existen en la actualidad cinco modos de transporte: ferroviario, carretera, aire, mar y tubería, y los medios posibles están asociados a este mismo grupo. La selección de los modos y medios de transporte es una decisión que se da de manera simultánea y depende, fundamentalmente, del equilibrio o intercambio (*trade-off*) entre el servicio ofrecido y los costos del mismo (Roberson et ál., 1994; Coyle et ál., 1996; Stock et ál., 2001). En este sentido, es necesario hacer una valoración de cada medio de transporte en términos del tiempo de desplazamiento, la fiabilidad y variabilidad y otros atributos deseables¹¹ frente al costo que este genera; así, el transporte en avión genera los menores tiempos de viaje y una menor variabilidad en el mismo, pero es el medio más costoso. La figura 5.6 expone, de manera simplificada, los intercambios entre el tiempo y el costo para diferentes medios de transporte.

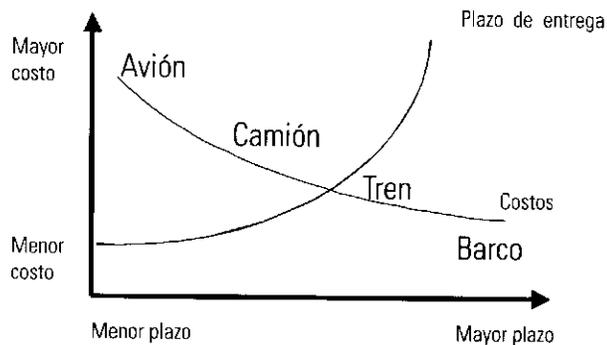


Figura 5.6 Intercambios entre el costo y el plazo para diferentes medios de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

En la práctica, la planeación de los medios de transporte puede darse a partir de tres estrategias: la adquisición y operación de una flota propia, la contratación de servicios de un transportador o la subcontratación de un operador logístico. En

¹⁰ Las estibas o plataformas generalmente son de madera; sin embargo, en casos especiales pueden ser de plástico o metálicas.

¹¹ Para Arbones Malisani (1990), es necesario considerar las demoras en cada terminal, la infraestructura en cada modo de transporte existente y los servicios agregados que esta posea; por ejemplo, la dotación de equipos de cargue y descargue en los terminales marítimos, los horarios de atención, el servicio de almacenaje intermedio para mercancías en tránsito, etc.

todos ellas es necesaria la valoración de la relación servicio-costo, pues a menudo la mejor decisión puede darse en una mezcla adecuada, según el trayecto y el destino de la mercancía; por ejemplo, en operaciones de exportación resultaría inmanejable para una empresa el mantenimiento y operación de una flota propia. Incluso, en operaciones nacionales, para las pequeñas y medianas empresas, resulta más ventajoso, dado el bajo volumen de carga, subcontratar con un transportador especializado.

La adquisición y operación de una flota propia convierte la actividad del transporte en una actividad complementaria de la empresa y se orienta a satisfacer sus propias necesidades. Entre sus principales características se encuentran (Pau & Navascues, 1998): sistema rígido en el tipo de vehículo, control directo de la actividad, sistema de gestión complejo, inversión elevada en vehículos e instalaciones, altos costos fijos. Por su parte, la subcontratación implica que la empresa se encargue de negociar las tasas de envío con la empresa transportadora, realizar la documentación pertinente y llevar todo el control del movimiento de la carga hasta su destino. Entre las actividades que esta alternativa involucra se encuentran las siguientes: análisis de las diferentes empresas transportadoras, servicios, costos, negociación de tarifas, elección del transportador teniendo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos de la empresa y realización de la documentación pertinente.

La subcontratación del servicio a un operador logístico o de transporte multimodal (OLM) implica la tercerización de las siguientes actividades: coordinación de la operación de transporte con carga unitarizada, planificación de los despachos, proyección de rutas, gestión de depósitos, administración de las comunicaciones, adquisición de pólizas de seguros, negociación con los transportadores, gestión de la calidad en el servicio prestado, asesoría permanente en trámites y documentación y el manejo logístico de la operación de transporte en toda la cadena de distribución física de mercancías.

Planeación, ejecución y control de rutas. Esta actividad empieza por definir los puntos de origen y de destino por los cuales se moverá la carga junto con las distintas estaciones que intervendrán en dicho proceso. La planeación y el análisis de rutas dependerán de la complejidad de la red que involucra las estaciones y rutas posibles, sus costos y los tiempos requeridos, lo cual varía de manera sustancial en alternativas multimodales o en el caso de requerir operaciones internacionales. Actualmente se encuentran en el mercado varias guías de rutas computarizadas (*shipping guides*) que facilitan la selección de la ruta y, con base en esto, la selección del modo y el medio adecuados para cada envío (Johnson et ál., 1999). Por otro lado, los avances tecnológicos existentes facilitan no solo las actividades de planeación, sino también el control de los medios de transporte, una vez empiezan su recorrido hasta llegar a las terminales de destino.

El sistema más utilizado es el GPS (*global positioning system*), el cual genera un aumento de la seguridad de la conducción y un efectivo control del vehículo y la mercancía.

La utilización del GPS, junto con la de otras tecnologías de identificación automática, como el intercambio electrónico de datos (EDI), los sistemas de información geográficos (GIS, *geographical information system*), los protocolos de aplicaciones inalámbricas (WAP), el servicio de mensajes cortos (SMS, *short message service*), la identificación por radio frecuencia (RFID) y los sistemas de gestión del transporte (TMS, *transportation management system*), permiten acceder a soluciones de integración de la cadena logística con el sistema de transporte. El TMS es un sistema que permite gestionar el transporte, dándole la posibilidad al usuario, en cualquier momento, de visualizar, racionalizar, simplificar y controlar toda la operación y el costo del transporte (Nafal, 2004); las diferentes operaciones que integran este sistema se exponen en la figura 5.7.

Otro sistema es el ITS (*intelligent transport system*), que utiliza, maneja y procesa la información capturada por las distintas aplicaciones telemáticas que lo integran, con el objetivo de implementar y manejar estrategias que permitan dotar de mayor seguridad, incrementar el nivel de servicio y capacidad, reducir el tiempo de viaje y aumentar la productividad de un sistema de transporte (Pérez, 2004). Las diversas aplicaciones de los ITS, como el manejo y control del tráfico, peajes electrónicos, identificación electrónica de vehículos, monitoreo de velocidad y tráfico, entre otras, tienen como soporte las distintas tecnologías como el EDI, el RFID, el GIS, el GPS y el SMS.

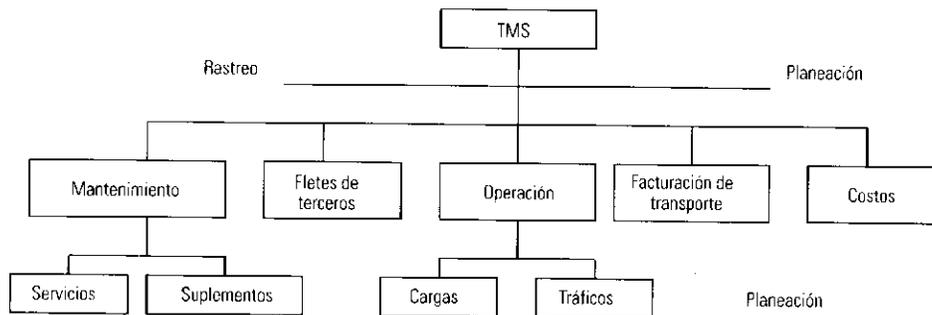


Figura 5.7. Sistemas TMS.

Fuente: Nafal (2004).

Por su parte, la denominada investigación de operaciones ha desarrollado, desde sus primeros aportes, un conjunto de técnicas orientadas a resolver el problema de planificación de rutas, en aras de lograr mejores desempeños en términos de reducción de costos, distancias y tiempo. La planificación de rutas está fuertemente soportada en la teoría de redes (Ackoff, 1977; Moskowitz & Wright, 1982; Naghi, 1991; Bronson, 1993). Los tipos de problemas comúnmente abordados son: el transporte, el trasbordo, la selección de la ruta más corta, el flujo máximo¹², el diseño

¹² Muy empleado para la planeación del transporte a través de ductos.

del árbol de mínima expansión¹³, el problema del agente viajero¹⁴, entre otros. Los modelos más avanzados existentes abordan múltiples situaciones, como la capacidad del vehículo, el estado y restricciones de flujo en las vías, las condiciones de tráfico, etc., que en la vida real influyen la planeación del sistema de transporte.

SISTEMAS E-BUSINESS, SOLUCIONES EN LA GESTIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO

Se entiende por *e-business* la transformación de cada uno de los procesos esenciales de las organizaciones, adecuando las nuevas tecnologías a la cadena de valor de la empresa. Muchas empresas han descubierto que el éxito radica principalmente en entablar unas relaciones eficaces con los clientes; para tal fin, *e-business* crea oportunidades para aumentar los ingresos y mejorar la satisfacción a partir de una mayor capacidad de respuesta y una comunicación más directa con los clientes.

En el contexto de la gran empresa, las soluciones *e-business* pueden ayudar a competir del mismo modo que otras empresas más pequeñas y más ágiles. En las pequeñas y medianas empresas las soluciones *e-business* pueden ayudarles a parecer más grandes de lo que son, proporcionando más presencia y acceso a clientes de todo el mundo. Sin importar el tamaño de la empresa, *e-business* significa servicio al cliente las 24 horas del día y los 365 días del año.

Así, los clientes habituales y los millones de nuevos clientes potenciales tendrán acceso a la empresa en cualquier momento y en cualquier lugar; sin embargo, la capacidad de aprovechar las oportunidades requiere una eficiente planificación logística. De esta manera, a medida que se progresa en la incorporación de herramientas para facilitar los negocios electrónicos, simultáneamente se va produciendo un incremento en la creación de valor en cada uno de los procesos organizacionales (Jakobs, 2002).

Las empresas que trabajan en el entorno *e-business* comparten varios factores que son importantes para la etapa de transformación. Todas parten de una proyección estratégica que indica hasta dónde se quiere llegar. Esta proyección se orienta más hacia la mejora de los procesos vitales que a la adquisición de las tecnologías populares. Por otro lado, el recurso humano se ve ampliamente implicado en la transformación; no se trata entonces de un proyecto aislado de implantación de tecnologías de la información. Por el contrario, los expertos, los técnicos y demás personal de la empresa colaboran para cambiar fundamentalmente el modo de hacer las cosas. La mejora de los procesos de negocio a través de las tecnologías de la información puede

¹³ Utilizado en el diseño de tendidos de redes eléctricas, carreteras para unir diversos puntos, etc.

¹⁴ Es un caso especial de la ruta más corta: la estación de origen es la misma estación de llegada; muy utilizado en la planeación de entregas urbanas.

estar orientada a cualquier parte del sistema logístico de la organización; así, la optimización de los procesos de negocio puede llegar a enfocarse en los proveedores, en los sistemas de gestión propios de la empresa o en las relaciones con los clientes.

El ciclo *e-business* se fundamenta en la congruencia de diversas actividades que se generan dentro de las organizaciones, como son: el aprovechamiento de todas las informaciones y conocimientos generados, la transformación de todos los procesos claves del negocio tanto en el ámbito interno (la cadena de suministros y la planificación de recursos) como en el externo (los clientes), el desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en facilitar y maximizar el rendimiento de las actividades organizacionales y, por último, el utilizar un entorno accesible, seguro y escalable. La sinergia generada por estos factores nos va a originar el ciclo de negocio de la empresa.

En relación con el cambio organizativo, la empresa tradicional que pretende plantearse su futuro en el *e-business* debe dar tres pasos fundamentales: primero, valorar el impacto de la economía digital en su propio sector y definir el papel que desea desempeñar en el nuevo escenario (es decir, definir su enfoque estratégico); segundo, diagnosticar el grado de preparación del negocio para afrontar el cambio; y tercero, escoger un modelo organizativo que le permita avanzar en la dirección elegida.

En esta vía, es necesario reconocer que todas las empresas afrontan un conjunto de retos comunes, y aunque las particularidades pueden ser distintas de una a otra, existen tres procesos clave en un entorno *e-business*. El primer proceso es la gestión de las relaciones con el cliente, CRM (*customer relationship management*); su objetivo es conseguir que los clientes estén satisfechos, ofreciéndoles aquello que desean en el momento en que lo desean. El segundo proceso y epicentro de la empresa basada en *e-business* está representado por la gestión de los recursos empresariales, ERP (*enterprise resource planning*); esta se encarga de gestionar todos los procesos de la organización, para lograr sus objetivos mediante la integración de todas sus funciones.

El tercer proceso es la gestión de la cadena de suministros, SCM (*supply chain management*), que trabaja estrechamente con los proveedores para asegurar un abastecimiento confiable. Facilitar a los proveedores la visibilidad de los procesos internos de la empresa es una buena práctica de gestión basada en *e-business* que favorece la integración efectiva y ayuda a que los proveedores se anticipen a las variaciones de la demanda.

La introducción de procesos de negocio diseñados para compartir conocimiento es un requisito previo para una buena estrategia de integración de los sistemas corporativos de gestión SCM-ERP-CRM. Los empleados de la empresa deben aprender a reunir, utilizar y compartir información con el fin de crear valor real para el cliente y los proveedores. La arquitectura de tecnologías de la información y el rendimiento de los sistemas son dos grandes desafíos asociados a la implantación de los diferentes sistemas, como la gestión del conocimiento a través de herramientas de *business intelligence*, el comercio electrónico y la estrategia de negocio.

Por otro lado, y con relación a la necesidad de construir procesos colaborativos, surge el concepto de *c-commerce*, el cual se basa en la creación de una serie de comunidades entre las empresas que forman parte de las cadenas de valor, para compartir información y conocimiento personalizado. El *c-commerce* permite que una empresa pueda comunicarse con sus proveedores sobre las existencias para que estos últimos puedan planear su producción. Desde el punto de vista de las ventas, el *c-commerce* ayuda a los fabricantes a coordinar productos de distintas unidades de negocio y a hacer mejores pronósticos.

Es propicio aclarar que no es lo mismo cuando se habla sobre la integración entre procesos de distintas empresas y la colaboración de distintas empresas en un proceso. Mientras que la primera implica el intercambio de documentos entre procesos de negocios internos de cada empresa, la segunda supone que se han definido conjuntamente procesos de negocio, en donde cada empresa es responsable de una tarea.

La automatización de procesos internos en una empresa suele llevarse a cabo mediante flujos de trabajo; es decir, se diseña cómo será el procedimiento para cada caso y cómo se transmitirá la información de una tarea a otra o de un lugar a otro. Esto no es posible cuando dentro de un proceso intervienen varias empresas, puesto que las mismas no están dispuestas a compartir todos los datos y cada una puede tener intereses particulares. Por esta razón, son necesarios los sistemas de gestión interorganizacionales en donde se define previamente el alcance por medio de un acuerdo colaborativo. Bajo un enfoque interorganizacional, cada empresa gestiona una instancia del proceso de negocio y los sistemas de gestión se comparten. Por ejemplo, una empresa A puede ejecutar dos instancias del proceso de negocio, mientras que una empresa B puede ejecutar tres.

Otro concepto importante, bajo la esfera del *e-business*, es el *e-procurement*, el cual se apoya en el empleo de sistemas electrónicos para la publicación, selección y adjudicación electrónica de "concursos de suministro" a grandes compañías y a organizaciones públicas (Presutti, 2003; Kyung, 2004). Los beneficios de este modelo se centran, desde el punto de vista del solicitante, en tener una mayor variedad de suministradores, con la consiguiente reducción de costes, una mejora en la calidad de los productos, mayor rapidez de servicio y una reducción en los costes de suministro. Los proveedores también se benefician al poseer mayores oportunidades de negocio (solo limitadas por su ámbito natural de actuación, y no por su capacidad de acudir físicamente a la presentación de ofertas), menores costes en la presentación de estas ofertas y la posibilidad de acceder a compañías que, seguramente, podían estar fuera de su alcance.

El *e-procurement* es una de las buenas prácticas de gestión adoptadas por empresas de clase mundial. Este puede adoptar diversas formas: desde un proveedor especializado en las transacciones de *e-commerce* a través de Internet, hasta un catálogo de un proveedor determinado elegido por la empresa, o cualquier combinación entre uno y otro. El *e-procurement* ofrece numerosas ventajas, pero probablemente la más

destacable es la rapidez y versatilidad del sistema, que permite, por ejemplo, facilitar un catálogo electrónico en línea con toda la información necesaria y el envío automático de copias de la solicitud a todas las partes interesadas. Una ventaja adicional consiste en la automatización de las transacciones con los proveedores (envío de pedidos o presupuestos, recepción de facturas, seguimiento de facturas y entrega).

Otra tendencia importante es el surgimiento de los denominados mercados electrónicos *e-markets*. Se entiende por *e-market* la estructuración por métodos electrónicos de un espacio de compra-venta de bienes y servicios entre empresas. Un *marketplace* es un mercado real, en donde confluyen o se encuentran las empresas, socios y colaboradores (proveedores, distribuidores y clientes) y les permite cerrar transacciones. Como todo mercado, un *marketplace* debe proveer los ámbitos necesarios para que los participantes, los expertos, los consultores, la prensa especializada y en general todos los que tienen algo para decir, puedan compartir libremente esa información. El libre juego entre la estructura formal e informal constituye la esencia del funcionamiento de cualquier mercado. En las transacciones con consumidores finales, estos cumplen a la vez todos los roles: decisores, pagadores, usuarios, etc., por lo menos en lo que a la compra concreta se refiere.

RESUMEN

Las presiones competitivas contemporáneas y los fenómenos de globalización económica obligan a las organizaciones empresariales a adoptar estrategias orientadas al logro de ventajas que les permitan abastecerse en mercados que ofrezcan mejores condiciones de compra, fabricar en lugares de bajo costo de operación y vender sus productos en regiones en las cuales el precio obtenido por los productos sea el máximo posible.

Dentro de este marco, la integración de la empresa en cadenas de abastecimiento eficientes es una de las tendencias más importantes en la gestión empresarial durante la última década. En este sentido, la logística empresarial emerge como una actividad gerencial integradora que persigue dos objetivos fundamentales, generalmente en conflicto: aumentar el nivel de servicio al cliente, a la vez que se reducen los costos. La logística, como fuente de ventaja competitiva, permite a través de una adecuada integración interna de las áreas funcionales y una integración externa bajo la conformación de redes empresariales, alcanzar beneficios simultáneos en términos de costo, entregas (plazos y fiabilidad), flexibilidad y servicio, entre otros.

La gestión logística, entonces, aborda un conjunto de actividades que integran las operaciones de abastecimiento con la de fabricación y esta última con las operaciones de distribución (incluyendo operaciones de retorno). Para esto, se sustenta en un conjunto de actividades clave y de soporte, entre las cuales destacan el transporte, el almacenaje, la gestión de inventarios, el procesamiento de pedidos, el empaquetado, el procesamiento de información, entre otras. Así mismo, la integración de las operaciones logísticas de un conjunto de empresas involucradas en la fabricación de un bien, desde la primera materia prima hasta el consumo final, soportada en esquemas colaborativos y en el uso de tecnologías de información de avanzada, lleva a lo que hoy se denomina gestión de cadenas de abastecimiento.

Para Bowersox et ál, (2000), las 10 megatendencias en la gestión de las cadenas de abastecimiento que se impondrán en las primeras décadas del siglo XXI son: 1. administración de las relaciones con el cliente; 2. colaboración competitiva; 3. planeación con base en información real; 4. estrategia empresarial basada en el cambio y las tendencias; 5. medición del desempeño basado en la mezcla valor-costos; 6. integración de procesos; 7. *outsourcing* e integración virtual; 8. intercambio de información con los socios de la cadena; 9. aprendizaje basado en el conocimiento, y 10. administración del valor agregado.