

CAPÍTULO

9

PLANIFICACIÓN DE
LA CAPACIDAD

Objetivos del capítulo

1. Introducción a la planificación de la capacidad
 - 1.1. Factores que afectan a la capacidad
2. Tipos de capacidad
3. Estrategias de capacidad
 - 3.1. Expansión de la capacidad
 - 3.2. Contracción de la capacidad
 - 3.3. Cambios permanentes de capacidad
4. Los tiempos básicos en las operaciones
5. Plan detallado de capacidad: planificación de requerimientos de capacidad (PRC)
6. Determinación de los requerimientos de capacidad

Conceptos básicos

Actividades de autocomprobación

Ejercicios voluntarios

Referencias bibliográficas



OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

Este capítulo se centra en la planificación de la capacidad. En este sentido, al finalizar su estudio el lector deberá:

- Conocer las posibles acciones a realizar en función del plan de carga y la capacidad disponible.
- Saber cómo influyen los factores de utilización y eficiencia en la capacidad.
- Saber ligar los tipos de capacidades a la producción.
- Conocer los tipos de estrategias de capacidad.
- Ser capaz de realizar un plan de requerimientos de capacidad.

Para alcanzar estos objetivos, se ha organizado este capítulo en diferentes epígrafes. Se comienza viendo cuál es el proceso de planificación de la capacidad, y cuáles son las diversas opciones que existen en función de la capacidad disponible y del plan de carga. También se van a analizar los distintos tipos de capacidad y su relación con la producción. Se van a introducir los factores de utilización y eficiencia, y cuál es su efecto en la medición de la capacidad.

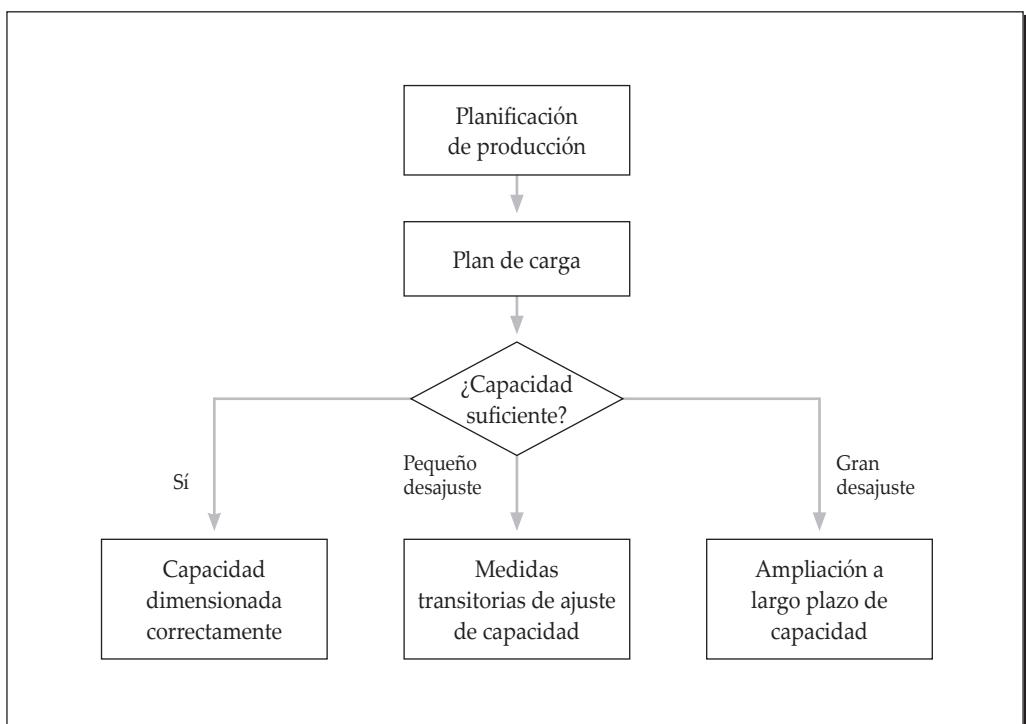
Partiendo de esto, se van a estudiar las diferentes estrategias a seguir en función del plan de carga y la capacidad productiva existente. Se van a ver las distintas estrategias de ampliación de capacidad: de anticipación, de retraso y de acoplamiento, y qué características presentan. Dentro del mismo epígrafe se hará reseña a las economías y deseconomías de escala. En el siguiente epígrafe se van a detallar todos los tiempos existentes en la realización de las operaciones y su influencia en el proceso.

Se va a estudiar también el plan detallado de capacidad, especificando el plan de requerimientos de capacidad, y conociendo toda la información que se necesita para elaborarlo. Por último, se van a realizar ejemplos prácticos de cómo obtener los requerimientos de capacidad de un proceso de fabricación.

1. INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD

La **capacidad** se puede definir como la producción media máxima que se es capaz de realizar por unidad de tiempo. Se suele medir anualmente, mensualmente o semanalmente, etc. De cara a poder determinar la cantidad de producción que se puede llevar a cabo, se suelen utilizar las horas disponibles de producción de las máquinas, centros de trabajo, recursos humanos, etc.

Figura 1. Planificación de la capacidad



En función de la planificación de la producción efectuada, se va a generar un plan de carga para poder hacerle frente, donde se especificarán las necesidades de produc-

ción. La planificación de la capacidad consiste en analizar si el plan de carga generado es factible, y determinar si la capacidad productiva de la que se dispone es suficiente:

- En los casos en los que el plan de carga sea ligeramente superior a la capacidad disponible, se podrán tomar medidas transitorias de ajuste.
- En los casos en los que el plan de carga es muy superior a la capacidad disponible, indica que las instalaciones productivas y recursos disponibles no son suficientes. En estos casos, se necesitará una ampliación a largo plazo de la capacidad productiva.

De cualquier modo, es necesario que la capacidad disponible en cada momento se ajuste al plan de carga generado (véase figura 1).

1.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD

Las horas productivas con las que se cuenta en un determinado recurso o maquinaria se ven afectadas por una serie de factores que contribuyen a que el tiempo realmente disponible sea menor que el tiempo real (por ejemplo, las 8 horas de trabajo de un turno). Hay que considerar los siguientes factores:

- **Utilización (U).** Es la relación entre las horas trabajadas y las horas disponibles. Realmente no se aprovechan todas las horas disponibles para producir, debido a temas como averías en la maquinaria, paradas del operario, absentismo, problemas de abastecimiento, etc. Suele venir en una escala numérica de 0 a 1, siendo 1 el 100 % de utilización. Se basa en estudios estadísticos históricos. Las horas disponibles en función de la utilización dará lugar al número de horas productivas.

$$\text{N.º de horas productivas} = \text{N.º de horas disponibles} \times \text{Utilización}$$

- **Eficiencia (E).** Existe una tasa estándar de producción para cada operación, proceso, etc., pero en la inmensa mayoría de los casos no se llega a ella. Esto se debe a temas como las distintas habilidades de los trabajadores, la rapidez de cada uno, las curvas de aprendizaje, etc., que provocan que finalmente la producción real sea menor que la estándar. Suele venir en una escala numérica de 0 a 1, siendo 1 el 100 % de eficiencia. Se basa en estudios estadísticos históricos.

$$\text{N.º de horas estándar} = \text{N.º de horas productivas} \times \text{Eficiencia}$$

EJEMPLO 1. Utilización

Una máquina que trabaja en un turno de 8 horas, de las cuales de media está 15 minutos parada por mantenimiento, y otros 15 minutos parada porque el operario está en su descanso. Se ve que el número de horas productivas es de 7 horas y media de las 8 disponibles.

La utilización de la máquina se calculará como:

$$U = 7,5/8 = 0,9375 \rightarrow 93,75\%$$

EJEMPLO 2. Eficiencia

Históricamente se tienen los siguientes datos acerca de la operación 3 que se realiza en el centro de trabajo 1. Esta operación tiene un tiempo establecido de 0,2 horas estándar, se ha realizado en 1.500 ocasiones, empleando en total 310 horas productivas.

La eficiencia se calculará como:

$$E = (1.500 \times 0,2)/310 = 0,96774 \rightarrow 96,77\%$$

Teniendo en cuenta estos dos factores se va a definir el concepto de **hora estándar**:

$$\text{N.º de horas estándar} = \text{N.º de horas disponibles} \times \text{Utilización} \times \text{Eficiencia}$$

Entonces, para obtener la capacidad de producción real se va a considerar el número de horas estándar de una máquina.

2. TIPOS DE CAPACIDAD

Existen muchos tipos de capacidades asociadas a una instalación industrial o de servicios. A continuación se van a ver las más utilizadas:

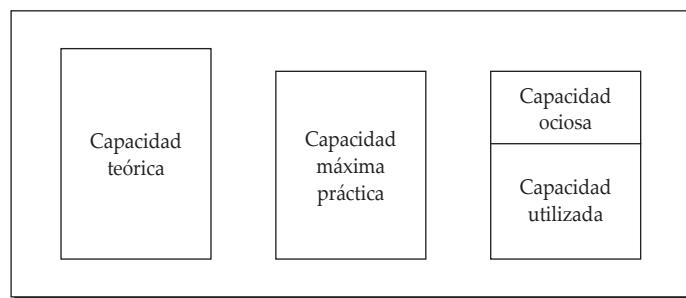
- **Capacidad teórica.** También llamada capacidad nominal. Es la capacidad máxima a la que se puede operar si las condiciones fueran ideales:

- Máximo factor de utilización del tiempo.
- Máximo factor de eficiencia.
- Recursos necesarios sin restricciones.
- No existen averías de la maquinaria.
- Etcétera.

Esta capacidad teórica no se puede alcanzar en la realidad.

- **Capacidad máxima práctica.** Es la capacidad máxima a la cual se puede trabajar de una manera eficaz y eficiente. Normalmente suele estar comprendida entre el 80 y el 90 % de la capacidad teórica. Cada instalación deberá determinar, en función de su idiosincrasia, el porcentaje exacto que representa.
- **Capacidad utilizada.** Es la capacidad que realmente se está utilizando en función del plan de carga asociado. Lo ideal es que como mucho sea equivalente a la capacidad práctica, aunque pueden existir picos puntuales en los que se sobrepase.
- **Capacidad ociosa.** Es la capacidad que no se usa en un momento determinado. Es la diferencia entre la capacidad práctica máxima y la capacidad utilizada.

Figura 2. Comparativa de capacidades



3. ESTRATEGIAS DE CAPACIDAD

De cara a adecuar la capacidad necesaria con el plan de carga se tienen principalmente las siguientes opciones:

3.1. EXPANSIÓN DE LA CAPACIDAD

Si el plan de carga es ligeramente superior a la capacidad disponible: **expansión de la capacidad**. Hay que aumentar la capacidad productiva, para adecuarse al plan de carga. Lo difícil es saber si esta necesidad es puntual, o existe una tendencia y esta situación se va a repetir y agudizar a lo largo del tiempo. En caso de que se vea que es una situación única, habrá que tomar medidas de ajuste transitorio de la capacidad, como puede ser la subcontratación del producto, las horas extra de los trabajadores, etc. En caso de que se vea una tendencia, habrá que decidir cómo abordar este aumento:

- Estrategia de **anticipación de la capacidad** o *lead capacity*. Se hacen los cambios en la capacidad previamente, logrando hacer frente a toda la demanda. En esta estrategia siempre «se va por delante de la demanda», lo que también trae el riesgo de que si no se cumple, se tendrá sobredimensionada la capacidad.
- Estrategia de **retraso de la capacidad** o *lag capacity*. En esta estrategia «se va por detrás de la demanda», no haciendo los cambios hasta que ha ocurrido el aumento de la demanda. En este caso el riesgo es el de la pérdida de clientes, al no haberles podido servir.
- Estrategia de **acoplamiento de la capacidad** o *match capacity*. Es una estrategia intermedia entre las dos anteriores.

3.2. CONTRACCIÓN DE LA CAPACIDAD

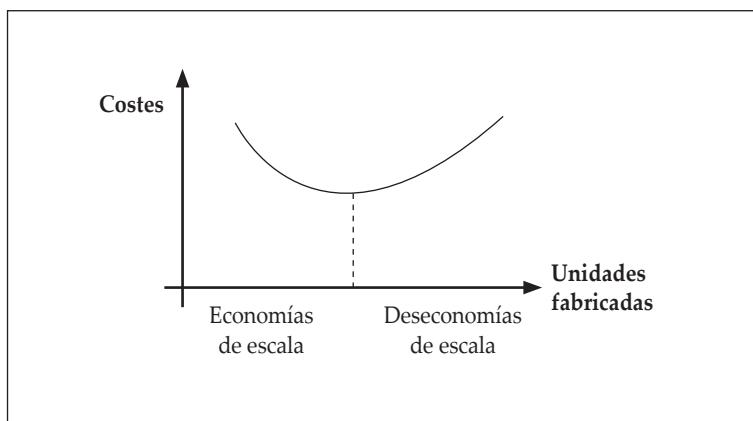
Si el plan de carga es inferior a la capacidad disponible: **contracción de la capacidad**. Como en el caso anterior hay que analizar si esta contracción es puntual, o existe una tendencia negativa. Para el caso de que sea puntual, habrá que realizar pequeños reajustes de turnos de trabajo, aprovechar para realizar tareas de mantenimiento, para la formación de trabajadores, etc. Una situación muy distinta es si se ha detectado una tendencia. En ese caso habrá que preparar planes de ajuste de capacidad, en el caso de que se confirme. Se podría intentar utilizar los recursos y trabajadores para la realización de otros productos, y realizar ajustes de personal acordes a las nuevas circunstancias.

3.3. CAMBIOS PERMANENTES DE CAPACIDAD

Si el plan de carga es muy diferente a la capacidad disponible: **cambios permanentes en la capacidad**. Para la situación de que se necesite mucha más capacidad,

habrá que realizar un estudio que abarque las necesidades de producción, y los recursos, tanto materiales como humanos, para poder hacerles frente. Siempre hay que considerar que si se necesita una capacidad para producir 100.000 unidades al año, habrá que dimensionar el cambio teniendo en cuenta que siempre es aconsejable una reserva de capacidad, para luego poder adaptarse a las fluctuaciones de la demanda, por lo que a lo mejor se necesita que la capacidad productiva sea de 130.000 unidades al año.

A la hora de planificar los cambios permanentes en la capacidad, hay que considerar las economías de escala. Este término hace referencia a que los costes unitarios de fabricación disminuyen según se aumenta la producción. Esta disminución tiene un límite, y a partir del mismo ocurrirá justo lo contrario: aumentarán los costes unitarios de fabricación. Esto se puede observar en la siguiente gráfica:



Se ve que la curva que refleja los costes de producción va disminuyendo según la fabricación va aumentando, hasta el mínimo de la misma. Esa es la zona de economías de escala. A partir de ese mínimo, la curva va subiendo, predominando las deseconomías de escala.

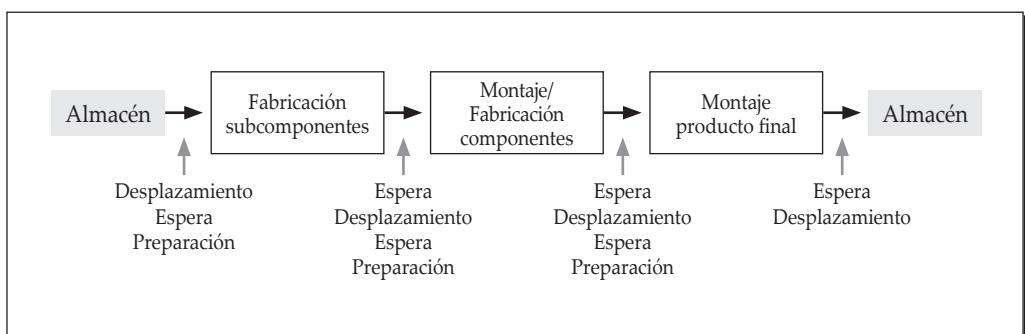
Las economías de escala proceden en gran medida de los costes fijos asociados a la fabricación, que hay que repartir entre todas las unidades producidas. También pueden proceder de las políticas de gestión de inventarios, cuya curva es muy similar a la expuesta anteriormente. Por último también pueden provenir de los costes logísticos, ya que lo ideal es llenar los palés, contenedores, camiones, etc. y no que vayan a media carga.

4. LOS TIEMPOS BÁSICOS EN LAS OPERACIONES

Se pueden distinguir dos rangos de tiempos distintos:

- Cuando se habla del tiempo desde que se compromete un pedido con el cliente hasta que se entrega al mismo, se está hablando del tiempo de suministro o *lead time*. Incluye tanto el aprovisionamiento de las materias primas y demás elementos necesarios, como la producción y la distribución al cliente. Para poder tener un buen *lead time* es imprescindible involucrar a los proveedores en nuestro sistema. Uno de los objetivos que siempre debe tener una empresa es que su *lead time* sea pequeño, para poder reaccionar ante los cambios de la demanda de manera inmediata.
- Los tiempos derivados únicamente del propio proceso productivo. Dentro de ellos destacan los siguientes, en cada paso del proceso:
 - Tiempo de desplazamiento: incluye todos los desplazamientos de la materia prima, productos en curso y producto final.
 - Tiempo de espera: en muchas ocasiones existen esperas que no son debidas al proceso productivo, sino a ineficiencias del mismo provocadas por una mala planificación o escasez de recursos.
 - Tiempo de preparación: cada vez que se va a realizar una operación de un lote, hay que reajustar las máquinas para el nuevo lote.
 - Tiempo de procesamiento o de operación: es propiamente el tiempo necesario para realizar una operación del lote en un centro de trabajo.

Figura 3. Tiempos principales del proceso productivo



5. PLAN DETALLADO DE CAPACIDAD: PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD (PRC)

De cara a determinar la planificación de requerimientos de capacidad se necesitará la siguiente información:

- Planificación de los pedidos realizada en el MRP.
- Información de los pedidos actualmente en curso. Se corresponden con las recepciones programadas del MRP.
- Información del inventario inicial.
- Lista de materiales del producto.
- Descripción del proceso de producción:
 - Ruta de cada producto o servicio: secuencia de todas las operaciones a realizar y de los centros de trabajo o lugares en los que se llevará a cabo cada operación.
 - Tiempos de desplazamiento de un centro de trabajo al siguiente.
 - Tiempos que se dedicarán a la producción para realizar cada operación, incluido el de preparación del lote.
 - Tiempos de espera estimados.

Para que la estimación de la planificación de los requerimientos de capacidad sea buena, es necesario que la información esté actualizada al máximo. Habrá que realizar revisiones periódicas de los tiempos establecidos en cada centro de trabajo, así como de desplazamientos para que la planificación realizada sea lo más cercana a la realidad.

Habrá que comparar la planificación disponible con la planificación de requerimientos de capacidad. En este punto la carga derivada del plan maestro de producción y del MRP es en gran parte los pedidos comprometidos con los clientes, con lo que cualquier ajuste que se quiera realizar debe respetarla.

Posibles medidas de ajuste en esta situación son:

- El uso de horas extra.
- Nuevos turnos de trabajo.
- Contrataciones eventuales de trabajadores.

- Subcontratación.
- Desplazamiento temporal de trabajadores que tengan tiempos ociosos a centros de trabajo sobrecargados.
- Aprovechamiento de rutas alternativas, etc.

De cara a elegir una opción u otra se tendrán que considerar los costes de cada una de ellas, la rapidez de la implantación, los efectos que pueden tener las medidas en los trabajadores y si pueden afectar a otros productos o servicios ofertados por la organización, las limitaciones legales y de convenios colectivos, así como las políticas de la empresa con respecto a la adopción de estas medidas.

6. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD

Para conocer los requerimientos de capacidad, se van a obtener los tiempos de carga unitarios de cada producto final o servicio. Este tiempo se obtiene a partir del tiempo de carga unitario que se va a necesitar en cada operación de la ruta del producto, en función de la utilización, la eficiencia, el tiempo de preparación y el tamaño del lote. Para ello será necesario saber cada operación a realizar en qué centro de trabajo se llevará a cabo.

Multiplicando el tiempo de carga unitario por el número de unidades a producir o servir, se obtendrá el tiempo de carga total.

Otro tema a considerar será el factor de defectuosas que tiene cada operación a realizar, ya que por diversos temas como el estado de la maquinaria, la habilidad de los operarios, la calidad de los materiales, etc., hace que exista un porcentaje de productos o servicios realizados que no son válidos para su venta.

Este factor de defectuosas suele ser un número entre 0 y 1.

En función del porcentaje de defectuosas que se tiene en cada operación a realizar, se definirá un nuevo concepto: **aprovechamiento de la ruta**, que especifica el porcentaje de productos finales que se obtendrán correctamente, si se introducen materiales para fabricar 100 unidades.

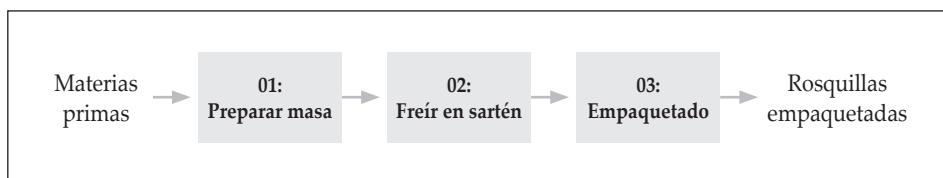
A partir del aprovechamiento de la ruta, finalmente, se obtendrá el **lote a emitir**, que representa la cantidad necesaria de materiales a introducir en la primera operación, para que finalmente se obtenga el lote deseado, con todos los productos finales sin defectos.

Por ejemplo, en ocasiones será necesario introducir en la primera operación los materiales para fabricar 121 unidades, para obtener un lote de 100 unidades sin defectos. Esas 21 unidades de más son por los distintos factores de defectuosas de todas las operaciones de la ruta.

EJEMPLO 3

Se va a analizar una de las rutas de producción de una pastelería: rosquillas empaquetadas por docenas. Se va a determinar el tiempo de carga unitario y el tiempo de carga total, desglosado por cada centro de trabajo para la realización de rosquillas. La ruta de las operaciones a realizar es la siguiente:

Figura 4. Ruta a analizar



Como datos de partida se necesita conocer la utilización (U) y la eficiencia (E) de los centros de trabajo (CT) de la pastelería, así como el tiempo necesario de preparación para cada lote [en horas estándar (h.e.)].

En la pastelería existen cuatro centros de trabajo para realizar todos sus productos:

CT	U	E	Tiempo prep. (h.e.)
1	0,96	0,95	0,2
2	0,95	0,92	0,25
3	0,98	0,99	0,025
4	0,97	0,93	0,05

También es necesario conocer cada operación a realizar, el centro de trabajo en que se realiza, el tiempo de realización (tr) en horas disponibles, así como el factor de defectuosas (d):

.../...

.../...

Operación	CT	tr	d
1	1	0,001	0,03
2	2	0,0015	0,08
3	4	0,0015	0,01

Las rosquillas se hacen en lotes de 50 unidades.

Solución

Se van a realizar primero los cálculos sin tener en cuenta el factor de defectuosas.

Para cada operación se va a calcular el tiempo de carga unitario. Para ello lo primero es ver el centro de trabajo en que se realiza cada operación, para ver qué utilidad, eficiencia y tiempo de preparación le corresponde.

Multiplicando el tiempo de realización por la utilización y la eficiencia se obtiene el tiempo de ejecución (te) en horas estándar. Se van a detallar los cálculos para la operación 1:

a) Tiempo de ejecución, en horas estándar:

$$te = tr \times U \times E = 0,001 \times 0,96 \times 0,95 = 0,000912 \text{ h.e.}$$

Operación	tr	CT	U	E	te (h.e.)
1	0,001	1	0,96	0,95	0,000912
2	0,0015	2	0,95	0,92	0,001311
3	0,0015	4	0,97	0,93	0,0013532

b) El tiempo de carga unitario de cada operación se obtendrá sumando el tiempo de ejecución y el tiempo de preparación dividido entre el tamaño del lote (Q). El tiempo de preparación del lote se obtiene del centro de trabajo correspondiente donde se realiza la operación.

$$t_{\text{carga unitario}} = te + (t_{\text{prep}}/Q) = 0,000912 + (0,2/50) = 0,004912 \text{ h.e.}$$

.../...

.../...

- c) El **tiempo de carga del lote para una operación** se obtendrá multiplicando el tiempo de carga unitario por el tamaño del lote (Q):

$$T_{\text{carga lote}} = t_{\text{carga unitario}} \times Q = 0,004912 \times 50 = 0,2456 \text{ h.e.}$$

Haciendo lo mismo para el resto de operaciones se obtendrá la siguiente tabla:

Operación	CT	t_e (h.e.)	t_{prep}	$t_{\text{carga unitario}}$	$T_{\text{carga lote}}$
1	1	0,000912	0,2	0,004912	0,246
2	2	0,001311	0,25	0,006311	0,316
3	4	0,0013532	0,05	0,00235315	0,118

- d) El **tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT1}) = 0,246 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT2}) = 0,316 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT3}) = 0 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT4}) = 0,118 \text{ h.e.}$$

- e) El **tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado, en este caso será la suma de todos los tiempos de todas las operaciones:

$$T_{\text{total carga lote}} = 0,680 \text{ h.e.}$$

- f) Hasta el momento no se ha tenido en cuenta el factor de defectuosas. Para cada operación se va a determinar el factor de a, «**aprovechamiento de la operación**»:

$$a = 1 - d$$

Operación	d	a
1	0,03	0,97
2	0,08	0,92
3	0,01	0,99

.../...

.../...

- g) Otro factor a introducir va a ser el ar, «**aprovechamiento de la operación dentro de la ruta**», que tiene en cuenta también las defectuosas en todas las operaciones siguientes de su ruta. Se calculará como su factor de aprovechamiento de la operación por el factor de aprovechamiento de todas las operaciones siguientes en la ruta, en el caso más desfavorable de defectuosas.

Para la operación 3, como no tiene operaciones siguientes:

$$ar_3 = a_3 = 0,99$$

La operación 2 tiene una única operación siguiente, la 3, por lo que:

$$ar_2 = a_2 \times a_3 = 0,92 \times 0,99 = 0,9108$$

Para la operación 1:

$$ar_1 = a_1 \times a_2 \times a_3 = 0,97 \times 0,92 \times 0,99 = 0,883476$$

- h) **El tiempo de carga unitario de cada operación teniendo en cuenta las defectuosas** se obtendrá dividiendo el tiempo de carga unitario entre el factor de aprovechamiento de la operación dentro de la ruta ar.

Para la operación 1:

$$t_{carga\ unitario\ (def)} = t_{carga\ unitario}/ar_1 = 0,004912/0,883476 = 0,00555986\ h.e.$$

$$T_{carga\ lote\ (def)} = t_{carga\ unitario\ (def)} \times Q = 0,00555986 \times 50 = 0,27799284\ h.e.$$

Y haciendo lo mismo para el resto de operaciones se obtiene la siguiente tabla:

Operación	d	$t_{carga\ unitario}$	a	ar	$t_{carga\ unitario\ (def)}$	$T_{carga\ lote\ (def)}$
1	0,03	0,004912	0,97	0,883476	0,00555986	0,278
2	0,08	0,006311	0,92	0,9108	0,00692907	0,347
3	0,01	0,00235315	0,99	0,99	0,00237692	0,119

- i) **El tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT1) = 0,278\ h.e.$$

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT2) = 0,347\ h.e.$$

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT3) = 0\ h.e.$$

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT4) = 0,119\ h.e.$$

.../...

.../...

- j) **El tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado, en este caso será la suma de todos los tiempos de todas las operaciones:

$$T_{\text{total carga lote (def)}} = 0,744 \text{ h.e.}$$

- k) **El aprovechamiento de la ruta** es el mínimo ar. En este caso, será el correspondiente a la operación 1:

$$A_{\text{ruta}} = 0,883476 \rightarrow 88,35 \%$$

Indica que si se introduce materia prima para 100 unidades, solo se obtendrán 88 productos en buenas condiciones.

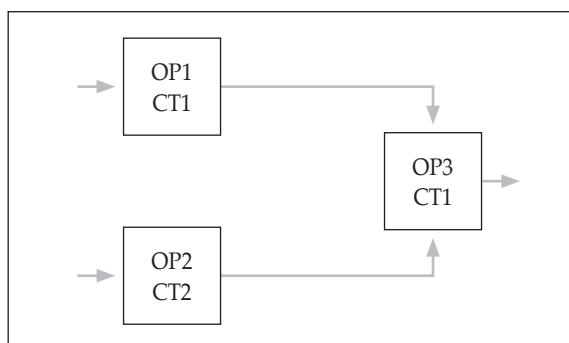
- l) **Lote a emitir:** cantidad de materia prima necesaria para obtener el lote de productos finales correctos. Se calcula como el tamaño del lote dividido entre el aprovechamiento de la ruta:

$$\text{Lote a emitir} = Q/A_{\text{ruta}} = 50/0,883476 = 56,594633$$

Se necesitará introducir materia prima para fabricar casi 57 unidades para, finalmente, obtener un lote de 50 unidades en condiciones correctas.

EJEMPLO 4

Se va a analizar una de las rutas de producción de un taller donde se fabrica un producto P1. Se va a determinar el tiempo de carga unitario y el tiempo de carga total, desglosado por cada centro de trabajo para la realización de un lote de este producto. La ruta de las operaciones a realizar es la siguiente:



.../...

.../...

Como datos de partida se necesita conocer la utilización (U) y la eficiencia (E) de los centros de trabajo (CT), así como el tiempo necesario de preparación para cada lote [en horas estándar (h.e.)]:

CT	U	E	Tiempo prep. (h.e.)
1	0,97	0,98	0,35
2	0,94	0,95	0,1

También es necesario conocer cada operación a realizar, el centro de trabajo en que se realiza, el tiempo de realización (tr) en horas disponibles, así como el factor de defectuosas (d):

Operación	CT	tr	d
1	1	0,005	0,05
2	2	0,002	0,04
3	1	0,006	0,02

El producto P1 se hace en lotes de 100 unidades.

Solución

Se van a realizar primero los cálculos sin tener en cuenta el factor de defectuosas.

Para cada operación se va a calcular el tiempo de carga unitario. Para ello lo primero es ver el centro de trabajo en que se realiza, para ver qué utilidad, eficiencia y tiempo de preparación le corresponde.

Multiplicando el tiempo de realización por la utilización y la eficiencia se obtiene el tiempo de ejecución (te) en horas estándar.

Se van a detallar los cálculos para la operación 1:

a) **Tiempo de ejecución, en horas estándar:**

$$te = tr \times U \times E = 0,005 \times 0,97 \times 0,98 = 0,004753 \text{ h.e.}$$

.../...

.../...

Operación	tr	CT	U	E	te (h.e.)
1	0,005	1	0,97	0,98	0,004753
2	0,002	2	0,94	0,95	0,001786
3	0,006	1	0,97	0,98	0,0057036

- b) El **tiempo de carga unitario** de cada operación se obtendrá sumando el tiempo de ejecución y el tiempo de preparación dividido entre el tamaño del lote (Q). El tiempo de preparación del lote se obtiene del centro de trabajo correspondiente donde se realiza la operación.

$$t_{\text{carga unitario}} = te + (t_{\text{prep}}/Q) = 0,004753 + (0,35/100) = 0,008253 \text{ h.e.}$$

- c) El **tiempo de carga del lote para una operación** se obtendrá multiplicando el tiempo de carga unitario por el tamaño del lote (Q):

$$T_{\text{carga lote}} = t_{\text{carga unitario}} \times Q = 0,008253 \times 100 = 0,8253 \text{ h.e.}$$

Haciendo lo mismo para el resto de operaciones se tendrá la siguiente tabla:

Operación	CT	te (h.e.)	t _{prep}	t _{carga unitario}	T _{carga lote}
1	1	0,004753	0,35	0,008253	0,8253
2	2	0,001786	0,1	0,002786	0,2786
3	1	0,0057036	0,35	0,009204	0,9204

- d) El **tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT1}) = 0,8253 + 0,9204 = 1,7457 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT2}) = 0,2786 \text{ h.e.}$$

- e) El **tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado, en este caso será la suma de todos los tiempos de todas las operaciones, teniendo en cuenta los solapamientos del proceso productivo. Como se hacen simultáneamente la OP1 y la OP2, se tendrá en cuenta el máximo de sus tiempos:

$$T_{\text{total carga lote}} = \max \{0,8253; 0,2786\} + 0,9204 = 1,746 \text{ h.e.}$$

.../...

.../...

- f) Hasta el momento no se ha tenido en cuenta el factor de defectuosas. Para cada operación se va a determinar el factor de a, «**aprovechamiento de la operación**»:

$$a = 1 - d$$

Operación	d	a
1	0,05	0,95
2	0,04	0,96
3	0,02	0,98

- g) Otro factor a introducir va a ser el ar, «**aprovechamiento de la operación dentro de la ruta**», que tiene en cuenta también las defectuosas en todas las operaciones siguientes de su ruta. Se calculará como su factor de aprovechamiento de la operación por el factor de aprovechamiento de todas las operaciones siguientes en la ruta, en el caso más desfavorable de defectuosas.

Para la operación 3, como no tiene operaciones siguientes:

$$ar3 = a3 = 0,98$$

La operación 2 tiene una única operación siguiente, la 3, por lo que:

$$ar2 = a2 \times a3 = 0,96 \times 0,98 = 0,9408$$

Para la operación 1:

$$ar1 = a1 \times a3 = 0,95 \times 0,98 = 0,931$$

- h) El tiempo de carga unitario de cada operación teniendo en cuenta las defectuosas se obtendrá dividiendo el tiempo de carga unitario entre el factor de aprovechamiento de la operación dentro de la ruta ar.

Para la operación 1:

$$t_{\text{carga unitario (def)}} = t_{\text{carga unitario}} / ar1 = 0,008253 / 0,931 = 0,008864662 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote (def)}} = t_{\text{carga unitario (def)}} \times Q = 0,008864662 \times 100 = 0,886 \text{ h.e.}$$

.../...

.../...

Y haciendo lo mismo para el resto de operaciones se tiene la siguiente tabla:

Operación	d	$t_{carga\ unitario}$	a	ar	$t_{carga\ unitario\ (def)}$	$T_{carga\ lote\ (def)}$
1	0,05	0,008253	0,95	0,931	0,00886466	0,886
2	0,04	0,002786	0,96	0,9408	0,00296131	0,296
3	0,02	0,0092036	0,98	0,98	0,00939143	0,939

- i) **El tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT1) = 0,886 + 0,939 = 1,826 \text{ h.e.}$$

$$T_{carga\ lote\ (def)}\ (CT2) = 0,296 \text{ h.e.}$$

- j) **El tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado, en este caso será:

$$T_{total\ carga\ lote\ (def)} = \max \{0,886; 0,296\} + 0,939 = 1,826 \text{ h.e.}$$

- k) **El aprovechamiento de la ruta** es el mínimo ar. En este caso será el correspondiente a la operación 1:

$$A_{ruta} = 0,931 \rightarrow 93,1 \%$$

Indica que si se introduce materia prima para 100 unidades, solo se obtendrán 93 productos en buenas condiciones.

- l) **Lote a emitir**: cantidad de materia prima necesaria para obtener el lote de productos finales correctos. Se calcula como el tamaño del lote dividido entre el aprovechamiento de la ruta:

$$\text{Lote a emitir} = Q/A_{ruta} = 100/0,931 = 107,41$$

Se necesitará introducir materia prima para fabricar más de 107 unidades para finalmente obtener un lote de 100 unidades en condiciones correctas.



CONCEPTOS BÁSICOS

- Aprovechamiento de la ruta.
- Capacidad.
- Capacidad máxima práctica.
- Capacidad nominal o teórica.
- Capacidad ociosa.
- Contracción de la producción.
- Deseconomías de escala.
- Economías de escala.
- Eficiencia.
- Expansión de la producción.
- Factor de aprovechamiento.
- Factor de defectuosas.
- *Lead time*.
- Lote a emitir.
- Plan de carga.
- Reserva de capacidad.
- Ruta de producto.
- Tiempo de carga unitario.
- Tiempo de espera.
- Tiempo de operación.
- Tiempo de preparación.
- Tiempo de transporte.



ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

Enunciado 1

¿Qué se entiende por utilización?

Enunciado 2

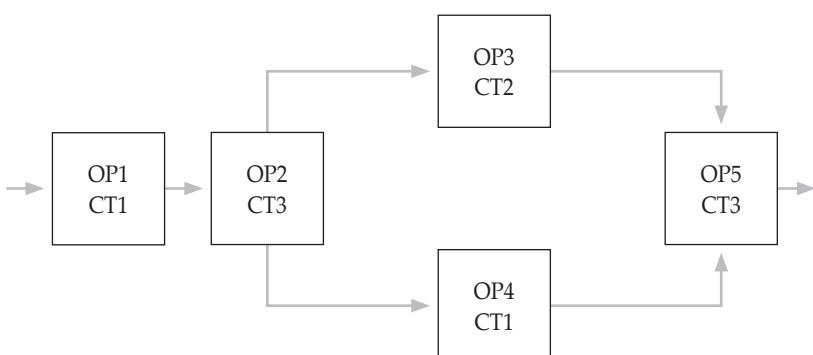
¿Qué se entiende por capacidad nominal o teórica?

Enunciado 3

¿Qué fuentes de economías de escala hay?

Enunciado 4

Se va a analizar una de las rutas de producción de un taller donde se fabrica un producto P2. Se va a determinar el tiempo de carga unitario y el tiempo de carga total, desglosado por cada centro de trabajo para la realización de un lote de este producto. La ruta de las operaciones a realizar es la siguiente:



Como datos de partida se necesita conocer la utilización (U) y la eficiencia (E) de los centros de trabajo (CT), así como el tiempo necesario de preparación para cada lote [en horas estándar (h.e.)]:

CT	U	E	Tiempo prep. (h.e.)
1	0,97	0,98	0,35
2	0,94	0,95	0,1
3	0,96	0,92	0,2

También es necesario conocer cada operación a realizar, el centro de trabajo en que se realiza, el tiempo de realización (tr) en horas disponibles, así como el factor de defectuosas (d):

Operación	tr	d
1	0,006	0,06
2	0,0015	0,04
3	0,003	0,02
4	0,005	0,05
5	0,001	0,03

El producto P2 se hace en lotes de 100 unidades.

Solución 1

Utilización (U) es la relación entre las horas trabajadas y las horas disponibles. Se basa en estudios estadísticos históricos. Las horas disponibles en función de la utilización darán lugar al número de horas productivas.

$$\text{N.º de horas productivas} = \text{N.º de horas disponibles} \times \text{Utilización}$$

Solución 2

La capacidad nominal o teórica, también denominada capacidad máxima, supone que todo el personal y los equipos operan a la máxima eficiencia usando el 100 % de la capacidad del operador. La capacidad teórica es irreal.

Solución 3

Como fuentes de las economías de escala están:

- Reparto de los costes fijos entre más unidades producidas.
- *Rappel* o descuentos sobre compras.
- Mejora tecnológica.
- Incremento de racionalidad en el trabajo (división del trabajo, especialización, etc.).

Solución 4

En un principio se van a realizar los cálculos sin tener en cuenta el factor de defec- tuosas. Para cada operación se va a calcular el tiempo de carga unitario. Para ello lo primero es ver el centro de trabajo en que se realiza cada operación, para ver qué utilidad, eficiencia y tiempo de preparación le corresponde. Multiplicando el tiempo de realización por la utilización y la eficiencia se obtiene el tiempo de ejecución (te) en horas estándar. Se van a detallar los cálculos para la operación 1.

a) Tiempo de ejecución, en horas estándar:

$$te_1 = tr \times U \times E = 0,006 \times 0,97 \times 0,98 = 0,0057036 \text{ h.e.}$$

Operación	tr	CT	U	E	te (h.e.)
1	0,006	1	0,97	0,98	0,0057036
2	0,0015	3	0,96	0,92	0,0013248
3	0,003	2	0,94	0,95	0,0026790
4	0,005	1	0,97	0,98	0,004753
5	0,001	3	0,96	0,92	0,0008832

- b) **El tiempo de carga unitario** de cada operación se obtendrá sumando el tiempo de ejecución y el tiempo de preparación dividido entre el tamaño del lote (Q). El tiempo de preparación del lote se obtiene del centro de trabajo correspondiente donde se realiza la operación:

$$\begin{aligned} t_{\text{carga unitario1}} &= te + (t_{\text{prep}}/Q) = \\ &= 0,0057036 + (0,35/100) = 0,0092036 \text{ h.e.} \end{aligned}$$

- c) **El tiempo de carga del lote para una operación** se obtendrá multiplicando el tiempo de carga unitario por el tamaño del lote (Q):

$$T_{\text{carga lote1}} = t_{\text{carga unitario}} \times Q = 0,0092036 \times 100 = 0,92036 \text{ h.e.}$$

Haciendo lo mismo para el resto de operaciones se tendrá la siguiente tabla:

Operación	te (h.e.)	t_{prep}	$t_{\text{carga unitario}}$	$T_{\text{carga lote}}$
1	0,0057036	0,35	0,0092036	0,92036
2	0,0013248	0,2	0,0033248	0,33248
3	0,0026790	0,1	0,003679	0,3679
4	0,004753	0,35	0,008253	0,8253
5	0,0008832	0,2	0,0028832	0,28832

- d) **El tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT1}) = 0,92036 + 0,8253 = 1,7457 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT2}) = 0,3679 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote}} (\text{CT3}) = 0,33248 + 0,28832 = 0,6208 \text{ h.e.}$$

- e) El tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado. Será la suma de todos los tiempos de todas las operaciones, teniendo en cuenta los solapamientos del proceso productivo. Como se hacen simultáneamente la OP3 y la OP4, se tendrá en cuenta el máximo de sus tiempos:

$$\begin{aligned} T_{\text{total carga lote}} &= 0,92036 + 0,33248 + \max \{0,3679; 0,8253\} + \\ &+ 0,28832 = 2,366 \text{ h.e.} \end{aligned}$$

- f)** A partir de ahora se va a tener en cuenta también el factor de defectuosas. Para cada operación se va a determinar el factor de a , «**aprovechamiento de la operación**»:

$$a = 1 - d$$

Operación	d	a
1	0,06	0,94
2	0,04	0,96
3	0,02	0,98
4	0,05	0,95
5	0,03	0,97

- g)** Ahora se va a calcular el factor ar , «**aprovechamiento de la operación dentro de la ruta**», que tiene en cuenta también las defectuosas en todas las operaciones siguientes de su ruta. Se calculará como su factor de aprovechamiento de la operación por el factor de aprovechamiento de todas las operaciones siguientes en la ruta, en el caso más desfavorable de defectuosas.

La operación 5 es la última operación de la ruta, por tanto:

$$ar_5 = a_5 = 0,97$$

La operación 4 tiene únicamente como operación posterior la operación 5, así que:

$$ar_4 = a_4 \times a_5 = 0,95 \times 0,97 = 0,9215$$

La operación 3 también tiene únicamente como operación posterior la operación 5, así que:

$$ar_3 = a_3 \times a_5 = 0,98 \times 0,97 = 0,9506$$

La operación 2 tiene dos subrutas posteriores, por lo que deberá tener en cuenta la más desfavorable. Por tanto:

$$\begin{aligned} ar_2 &= a_2 \times \min \{a_3; a_4\} \times a_5 = \\ &= 0,96 \times \min \{0,98; 0,95\} \times 0,97 = 0,88464 \end{aligned}$$

Por último, el aprovechamiento de la operación 1 dentro de la ruta será:

$$ar_1 = a_1 \times ar_2 = 0,94 \times 0,88464 = 0,83156$$

- h) El tiempo de carga unitario de cada operación teniendo en cuenta las defectuosas** se obtendrá dividiendo el tiempo de carga unitario entre el factor de aprovechamiento de la operación dentro de la ruta ar.

Para la operación 1:

$$t_{carga\ unitario\ (def)} = t_{carga\ unitario}/ar_1 = 0,0092036/0,83156 = 0,01107\ h.e.$$

$$T_{carga\ lote\ (def)} = t_{carga\ unitario\ (def)} \times Q = 0,01107 \times 100 = 1,107\ h.e.$$

Y haciendo lo mismo para el resto de operaciones se tiene la siguiente tabla:

Operación	d	t _{carga unitario (h.e.)}	a	ar	t _{carga unitario (def) (h.e.)}	T _{carga lote (def) (h.e.)}
1	0,06	0,01	0,94	0,83	0,01107	1,107
2	0,04	0	0,96	0,88	0,00376	0,376
3	0,02	0	0,98	0,9506	0,00387	0,387
4	0,05	0,01	0,95	0,92	0,00896	0,896
5	0,03	0	0,97	0,97	0,00297	0,297

- i) **El tiempo de carga que va a tener cada centro de trabajo** para la realización de un lote de este producto es el siguiente:

$$T_{\text{carga lote (def)}} (\text{CT1}) = 1,107 + 0,896 = 2,002 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote (def)}} (\text{CT2}) = 0,387 \text{ h.e.}$$

$$T_{\text{carga lote (def)}} (\text{CT3}) = 0,376 + 0,297 = 0,673 \text{ h.e.}$$

- j) **El tiempo total de carga del lote**, o sea, el tiempo que se tarda en tener un lote terminado, y teniendo en cuenta los solapamientos, será:

$$\begin{aligned} T_{\text{total carga lote (def)}} &= 1,107 + 0,376 + \max \{0,387; 0,896\} + 0,297 = \\ &= 2,675 \text{ h.e.} \end{aligned}$$

- k) **El aprovechamiento de la ruta** es el mínimo ar. En este caso será el correspondiente a la operación 1:

$$A_{\text{ruta}} = 0,83156 \rightarrow 83,2\%$$

Indica que si se introduce materia prima para 100 unidades, solo se obtendrán aproximadamente 83 productos en buenas condiciones.

- l) **Lote a emitir:** es la cantidad de materia prima necesaria para obtener el lote de productos finales correctos. Se calcula como el tamaño del lote dividido entre el aprovechamiento de la ruta:

$$\text{Lote a emitir} = Q/A_{\text{ruta}} = 100/0,83156 = 120,26$$

Se necesitará introducir materia prima para fabricar más de 120 unidades para finalmente obtener un lote de 100 unidades en condiciones correctas.



EJERCICIOS VOLUNTARIOS

1. ¿Qué se entiende por eficiencia?
2. ¿Qué se entiende por capacidad práctica?
3. ¿Qué es una estrategia *match capacity*?
4. ¿Qué es el *lead time*?



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Básica

Broto, J. «Los costes de la capacidad: consideraciones en torno a su medida, asignación y análisis. Contabilidad de la empresa y sistemas de información para la gestión: conferencias y comunicaciones» (celebrado en Madrid entre los días 22 y 24 de septiembre de 1994), 1995, págs. 345-362.

CEF. *Dirección de operaciones*, del Máster en Dirección de Negocios Internacionales, Madrid, CEF, 2010.

Domínguez Machuca, J. A. et al. *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*, Madrid, McGraw-Hill, 1995.

En la red

<<http://logistics.about.com>>

Avanzada

Chapman, S. N. *Planificación y control de la producción*, México, Pearson Education, 2006.

Davis, M. M.; Aquilano, N. J. y Chase, R. B. *Fundamentals of operations management*, International Edition, McGraw-Hill, 1999.

— *Administración de producción y operaciones. Manufatura y servicios*, Santa Fe de Bogotá, McGraw-Hill, 2000.

Gaither, N. y Frazier, G. *Administración de producción y operaciones*, México, Thomson Editores, 2000.

Heizer, J. y Render, B. *Dirección de la producción. Decisiones operativas*, Madrid, Pearson Education, 2001.

