

# CAPÍTULO 3

## LOS PRONÓSTICOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES: PUNTO DE PARTIDA DE TODA PLANEACIÓN



Introducción

Métodos cualitativos de pronóstico

Modelos cuantitativos de pronóstico

*Precisión del pronóstico*

*Pronósticos a largo plazo*

*Ciclos, tendencias y estacionalidad • Regresión lineal y correlación • Rangos de los pronósticos • Estacionalidad en los pronósticos de series de tiempo*

*Pronósticos a corto plazo*

*Evaluación del desempeño del modelo de pronóstico •*

*Pronósticos ingenuos • Método de los promedios móviles*

*• Método de los promedios móviles ponderados • Método*

*de suavización exponencial • Suavización exponencial*

*con tendencia*

Cómo tener un método de pronóstico exitoso

*Cómo seleccionar un método de pronóstico*

*Costo y precisión • Datos disponibles • Tiempo •*

*Naturaleza de productos y servicios • Respuesta de impulso y amortiguación de ruido*

*Cómo monitorear y controlar un modelo de pronóstico*

Software para los pronósticos

Pronósticos en pequeñas empresas y en negocios que inician

Recopilación: Lo que hacen los productores de clase mundial

Preguntas de repaso y análisis

Tareas en Internet

Problemas

Casos

*San Diego Retailers*

*Chasewood Apartments*

*Sundance Chemical Company*

*XYZ Inc.*

Notas finales

Bibliografía seleccionada

## COMPAQ PRONOSTICA EL MERCADO DE LAS COMPUTADORAS PERSONALES

A mediados de los años 80, Compaq Computer Corporation tuvo que encarar una decisión que afectaría profundamente su futuro. Sabiendo que IBM introduciría pronto su versión de computadora portátil y amenazaría el dominio de disfrutaba Compaq en este mercado tan rentable, la empresa podía optar entre conservar sus computadoras portátiles, o podría expandir su oferta en el mercado para incluir computadoras de escritorio. Este último paso obligaría a la empresa formada hacía sólo un año a enfrentarse con IBM en su propio territorio. Y lo que es más, Compaq tendría que efectuar una inversión sustancial en el desarrollo del producto y en capital de trabajo y expandir su organización y capacidad de manufactura.

Los pronósticos de Compaq sobre tamaño, dirección y tendencias de precios del mercado de computadoras personales se vieron complicados por estos factores: la entrada de la nueva computadora portátil de IBM, una reducción de precio de 23% hecha por IBM y la correspondiente erosión potencial de los márgenes, la entrada al mercado de las portátiles por Hewlett-Packard y Data General, el lanzamiento de la nueva PC de IBM, la AT, y la introducción de computadoras de escritorio por Sperry, NCR, ITT y AT&T.

Compaq decidió entrar en el segmento de escritorio de este mercado y tuvo éxito tanto financiera como competitivamente. Partiendo de ventas por 111 millones de dólares en 1983, el crecimiento en las ventas de Compaq ha sido tremendo. En 1984 alcanzó 329 millones de dólares; 1,200 millones de dólares en 1988; 3,600 millones de dólares en 1991; 12,600 millones de dólares en 1994, y 20,000 millones de dólares en 1996. En septiembre de 1997, Compaq era la líder en la industria de las computadoras en ventas de computadoras notebook, con una penetración de 28.8% en el mercado, por delante de Toshiba por primera vez en computadoras de ese tipo. En el tercer trimestre de 1997, Compaq resultó ser el productor más grande del mundo de computadoras personales, con una penetración en el mercado mundial de 13.7%, y en el mercado estadounidense de 19.1%, en comparación con 10.2% de penetración en el mercado mundial y de 14.4% en el mercado estadounidense durante el año anterior.

La administración de Compaq atribuye gran parte de este éxito a su capacidad de pronosticar correctamente los mercados futuros. Su metodología de pronóstico permitió a Compaq poner en práctica sus planes para desarrollar productos nuevos, para desarrollar tecnologías de producto y expandir su producción.<sup>1-4</sup>

Es imperativo que las empresas tengan enfoques eficaces de pronóstico y que el pronóstico forme parte integral de la planeación empresarial. Cuando los gerentes planean, determinan hoy los cursos de acción que tomarían en el futuro. *Por lo tanto, el primer paso en la planeación es el pronóstico, es decir, estimar la demanda futura de productos y servicios y los recursos necesarios para producirlos.* Las estimaciones de la demanda para productos y servicios por lo general se conocen como **pronósticos de ventas**, que en la administración de la producción y de las operaciones constituye el punto de partida de todos los demás pronósticos.

Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a largo plazo para tomar decisiones estratégicas relacionadas con productos, procesos e instalaciones. También necesitan pronósticos a corto plazo que los ayuden a la toma de decisiones en problemas de producción que sólo abarcan las siguientes pocas semanas. La tabla 3.1 resume algunas de las razones por las cuales los gerentes de operaciones deben desarrollar pronósticos. La tabla 3.2 cita algunos ejemplos de factores comúnmente pronosticados en la administración de la producción y de las operaciones. Los pronósticos a largo plazo por lo general abarcan un año o más, y estiman la demanda de la totalidad de líneas de producto, como por ejemplo productos para jardinería. Los pronósticos a rango medio por lo general abarcan varios meses, y agrupan productos en familias de productos, como por ejemplo segadoras de pasto. Los pronósticos a corto plazo por lo general abarcan unas pocas semanas y se enfocan a productos específicos, como el modelo de segadora de pasto #3559.

La figura 3.1 ilustra que el pronóstico forma parte integral de la planeación de los negocios. Los insumos se procesan a través de modelos o métodos de pronóstico para el desarrollo de estimaciones de la demanda. *Estas estimaciones de la demanda no son los pronósticos de ventas; más bien son el punto de partida para que los equipos administrativos desarrollen los pronósticos de ventas.* Los pronósticos de ventas se convierten en los insumos tanto para la estrategia empresarial como para los pronósticos de los recursos de la producción.

TABLA 3.1

**ALGUNAS RAZONES POR LAS CUALES LOS PRONÓSTICOS SON ESENCIALES EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES**

1. **Planeación de nuevas instalaciones.** Puede tomar hasta cinco años diseñar y construir una fábrica nueva, o hacer un nuevo diseño y poner en práctica un nuevo proceso de producción. Estas actividades estratégicas en la administración de la producción y de las operaciones requieren del pronóstico a largo plazo de la demanda de productos existentes y nuevos, de forma que los gerentes de operaciones puedan tener por anticipado suficiente tiempo para construir fábricas e instalar procesos a fin de poder producir los productos y servicios cuando éstos se requieran.
2. **Planeación de la producción.** La demanda de productos y servicios varía de un mes a otro. Para cumplir con estas demandas, las tasas de producción se deben elevar o reducir. Puede tomar varios meses modificar la capacidad de los procesos de producción. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a mediano plazo, de forma que puedan conocer por anticipado el tiempo necesario para tener lista la capacidad de producción para producir estas demandas mensuales variables.
3. **Programación de la fuerza de trabajo.** Las demandas de productos y servicios varían de una semana a la siguiente. La fuerza de trabajo debe aumentarse o reducirse para adecuarse a estas demandas, reasignándola, usando tiempo extra, con despidos o con contrataciones. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a corto plazo, de manera que tengan el tiempo suficiente para efectuar los cambios en la fuerza de trabajo necesarios para producir las demandas semanales.

TABLA 3.2

**ALGUNOS EJEMPLOS DE FACTORES QUE DEBEN PRONOSTICARSE EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS OPERACIONES**

Horizonte de pronóstico	Rango de tiempo	Ejemplos de factores que deben pronosticarse	Algunas unidades de pronóstico típicas
Largo plazo	Años	Nuevas líneas de productos	Dólares
		Líneas actuales de productos	Dólares
		Capacidades de fábrica	Galones, horas, libras, unidades o clientes por periodo
		Fondos de capital	Dólares
		Necesidades de instalaciones	Espacios, volúmenes
Mediano plazo	Meses	Grupos de productos	Unidades
		Capacidades departamentales	Horas, golpes, libras, galones, unidades o clientes por periodo
		Fuerza de trabajo	Trabajadores, horas
		Materiales comprados	Unidades, libras, galones
		Existencias o inventarios	Unidades, dólares
Corto plazo	Semanas	Productos específicos	Unidades
		Tipos de habilidades y mano de obra	Trabajadores, horas
		Capacidades de máquinas	Unidades, horas, galones, golpes, libras o clientes por periodo
		Efectivo	Dólares
		Inventarios	Unidades, dólares

Los métodos o modelos de pronóstico pueden ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa.

## MÉTODOS CUALITATIVOS DE PRONÓSTICO

La tabla 3.3 describe varios métodos cualitativos de pronóstico utilizados para el desarrollo de pronósticos de ventas. Estos métodos generalmente se basan en juicios respecto a los factores causales subyacentes a la venta de los productos y servicios en particular, y en opiniones sobre la posibilidad relativa que estos factores causales sigan presentes en el futuro, y pueden involucrar diversos niveles de complejidad, desde encuestas de opinión científicamente conducidas a estimaciones intuitivas respecto a eventos futuros.

El **consenso de comité ejecutivo** y el **método de Delfos** describen procedimientos para la asimilación de la información dentro de un comité para generar un pronóstico de ventas y son útiles tanto para productos o servicios existentes como nuevos. Por otra parte, la **encuesta a la fuerza**



TABLA 3.3

## MÉTODOS CUALITATIVOS DE PRONÓSTICO

1. **Consenso de comité ejecutivo.** Ejecutivos experimentados de diversos departamentos dentro de la organización forman un comité responsable de desarrollar un pronóstico de ventas. El comité puede utilizar información proveniente de todos los ámbitos de la organización, y puede utilizar analistas de apoyo que proporcionen estadíos según se requiera. Este tipo de pronóstico tiene tendencia a ser un pronóstico negociado, que por lo tanto no refleja situaciones extremas que pudieran estar presentes de haber sido preparados por una persona. Este procedimiento es el método de pronóstico más común.
2. **Método de Delfos.** Este método se utiliza para lograr un consenso dentro de un comité. En este método, los ejecutivos responden anónimamente a una serie de preguntas en sesiones sucesivas. Cada respuesta se retroalimenta en cada sesión a todos los participantes, y entonces el proceso se repite. Pudieran requerirse hasta seis sesiones antes de alcanzar consenso sobre el pronóstico. Este método puede dar como resultado pronósticos en los que la mayoría de los participantes están finalmente de acuerdo, a pesar de su desacuerdo inicial.
3. **Encuesta a la fuerza de ventas.** Las estimaciones de ventas futuras regionales se obtienen individualmente a partir de cada uno de los miembros de la fuerza de ventas. Estas estimaciones se combinan a fin de elaborar una estimación de las ventas en todas las regiones. Para asegurar estimaciones realistas, los gerentes deben entonces transformar esta estimación en un pronóstico de ventas. Se trata un método de pronóstico popular en aquellas empresas que tienen un buen sistema de comunicación y vendedores que atienden directamente a los clientes.
4. **Encuestas a clientes.** Las estimaciones de las ventas futuras se obtienen directamente de los clientes, a quienes se encuesta individualmente para determinar los volúmenes de productos que la empresa pretende adquirir en cada período en el futuro y se prepara un pronóstico de ventas combinando las respuestas individuales de los clientes. Este método puede ser el preferido en empresas con relativamente pocos clientes, como los proveedores de la industria automotriz y los contratistas para las fuerzas armadas.
5. **Analogía histórica.** Este método liga la estimación de las ventas futuras de un producto con el conocimiento de las ventas de un producto similar. A la estimación de las ventas de un producto se aplica el conocimiento de las ventas de un producto similar durante varias etapas de su ciclo de vida. Este método puede ser particularmente útil en el pronóstico de ventas de productos nuevos.
6. **Investigación de mercado.** En las encuestas de mercado, la base para comprobar las hipótesis sobre los mercados reales son los cuestionarios por correo, las entrevistas telefónicas o las entrevistas de campo. En las **pruebas de mercado**, los productos mercadeados en regiones objetivo o en puntos de venta objetivo se extrapolan de manera estadística a fin de que abarquen la totalidad del mercado. Por lo general, estos métodos son los preferidos para productos nuevos o para los ya existentes que se planea introducir en nuevos segmentos del mercado.

de trabajo y la encuesta a clientes describen métodos principalmente utilizados para productos y servicios existentes. La analogía histórica y las investigaciones y pruebas de mercado son procedimientos útiles para productos y servicios nuevos. Por lo tanto, el método de pronóstico más apropiado dependerá de la etapa del ciclo de vida del producto.

## MODELOS CUANTITATIVOS DE PRONÓSTICO

Los modelos cuantitativos de pronóstico son modelos matemáticos que se basan en datos históricos. Estos modelos suponen que los datos históricos son relevantes para el futuro. Casi siempre puede obtenerse información pertinente al respecto. Aquí, analizaremos varios modelos cuantitativos, la precisión del pronóstico, pronósticos a largo plazo y pronósticos a corto plazo.

La tabla 3.4 muestra los modelos cuantitativos de pronóstico que estudiaremos en este capítulo. Aunque existen muchos más modelos cuantitativos de pronóstico, los modelos de la tabla 3.4 son una útil introducción a los pronósticos en la administración de la producción y de las operaciones. Todos estos modelos se pueden utilizar con series de tiempo. Una **serie de tiempo** es un conjunto de valores observados medidos durante periodos sucesivos.

### PRECISIÓN DEL PRONÓSTICO

La **precisión del pronóstico** se refiere a lo aproximado que los pronósticos resultan en comparación con los datos reales. Dado que los pronósticos se preparan *antes* de conocer los datos reales, la precisión de los pronósticos sólo se puede determinar después de que haya transcurrido el tiempo. Si los valores del pronóstico quedan muy cerca de los datos reales, decimos que tie-

Tabla 3.4

ALGUNOS MODELOS CUANTITATIVOS DE PRONÓSTICO

1. **Regresión lineal.** Modelo que utiliza el método de los mínimos cuadrados para identificar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes, presentes en un conjunto de observaciones históricas. En la regresión simple, sólo hay una variable independiente; en la regresión múltiple, hay más de una variable independiente. Si los datos históricos forman una serie de tiempo, la variable independiente es el periodo y la variable dependiente en, por ejemplo, un pronóstico de ventas, son las ventas. Un modelo de regresión no necesariamente tiene que estar basado en una serie de tiempo, pues en estos casos el conocimiento de los valores futuros de la variable independiente (llamada también **variable causal**) se utiliza para predecir valores futuros de la variable dependiente. Por lo general, la regresión lineal se utiliza en el pronóstico a largo plazo, pero si se tiene cuidado al seleccionar la cantidad de periodos incluidos en los datos históricos, y este conjunto de datos se proyecta sólo unos cuantos periodos en el futuro, la regresión también puede utilizarse apropiadamente en pronósticos a corto plazo. La regresión supone una casi normalidad. Lo que quiere decir que los valores observados de la variable dependiente ( $y$ ) se supone estarán distribuidos normalmente a ambos lados de su media ( $\bar{y}$ ) y el error estándar del pronóstico ( $s_{y,x}$ ) es constante conforme nos movamos a lo largo de la línea de tendencia.
2. **Promedios móviles.** Modelo de pronóstico del tipo de series de tiempo a corto plazo que pronostica las ventas para el siguiente periodo. En este modelo, el promedio aritmético de las ventas reales para un determinado número de los periodos pasados más recientes es el pronóstico para el siguiente periodo.
3. **Promedio móvil ponderado.** Modelo parecido al modelo de promedio móvil arriba descrito, excepto que el pronóstico para el siguiente periodo es un promedio ponderado de las ventas pasadas, en lugar del promedio aritmético.
4. **Suavización exponencial.** Modelo también de pronóstico de series de tiempo a corto plazo que pronostica las ventas para el siguiente periodo. En este método, las ventas pronosticadas para el último periodo se modifican utilizando la información correspondiente al error de pronóstico del último periodo. Esta modificación del pronóstico del último periodo se utiliza como pronóstico para el siguiente periodo.
5. **Suavización exponencial con tendencia.** El modelo de suavización exponencial arriba descrito, pero modificado para tomar en consideración datos con un patrón de tendencia. Estos patrones pueden estar presentes en datos a mediano plazo. También se conoce como **suavización exponencial doble**, ya que se suavizan tanto la estimación del promedio como la estimación de la tendencia utilizando dos constantes de suavización.

nen una **elevada precisión** o que el **error de pronóstico** es bajo. Determinamos la precisión de los modelos de pronóstico haciendo una cuenta acumulada de lo que se han equivocado los pronósticos en relación con los datos reales a través del tiempo. Si la precisión de un modelo es baja, modificamos el método o escogemos uno nuevo. Posteriormente en este capítulo, analizaremos maneras de medir y monitorear el desempeño de los modelos de pronóstico.

### PRONÓSTICOS A LARGO PLAZO

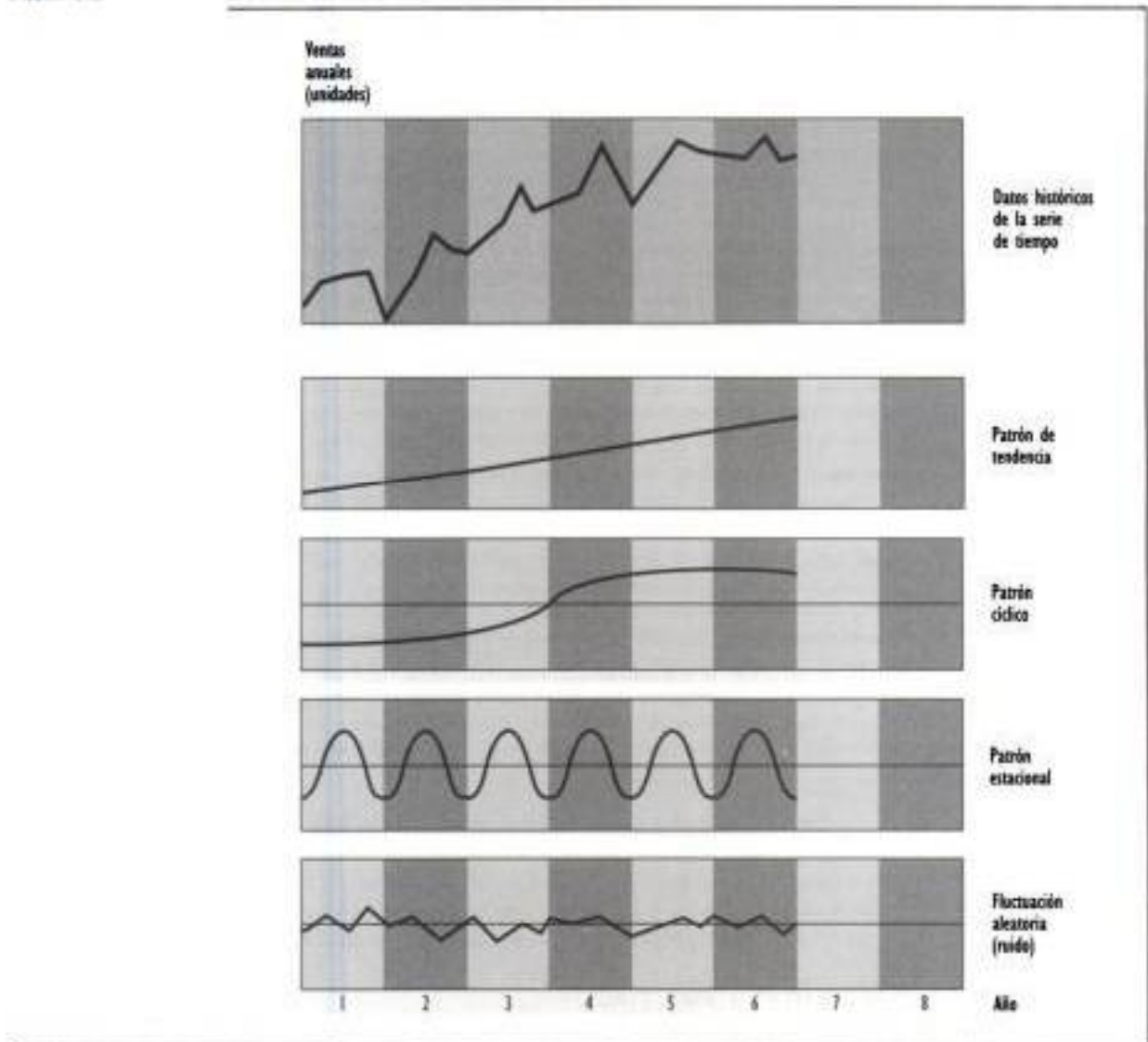
El **pronóstico a largo plazo** incorpora la estimación de condiciones futuras a lo largo de lapsos que por lo general son mayores a un año. Los pronósticos a largo plazo son necesarios en la administración de la producción y de las operaciones para dar apoyo a decisiones estratégicas sobre planeación de productos, procesos, tecnologías e instalaciones, temas tratados en la Parte II de este libro. Estas decisiones son de tal importancia para el éxito a largo plazo de los sistemas de producción que para el desarrollo de estos pronósticos se aplica un intenso esfuerzo organizacional. A continuación brindamos algunos ejemplos de estas decisiones:

1. **Diseño de un producto nuevo.** Si el volumen de ventas es lo suficientemente importante para el uso de maquinaria automatizada de producción, se requiere de gran esfuerzo de diseño del producto para asegurar que su proceso se facilite con esa tecnología.
2. **Determinación de la capacidad de producción para un producto nuevo.** Cuánta capacidad se requiere, cuántas nuevas fábricas son necesarias y dónde deberán ubicarse.
3. **Planeación para el suministro a largo plazo de los materiales.** Los pronósticos permiten a los gerentes de operaciones comprometer a los proveedores en contratos de suministro de materiales a largo plazo.

Para adquirir y construir nuevas máquinas y edificios, y para desarrollar nuevas fuentes de materiales, es necesario tiempo, que es precisamente lo que brindan esos planes.

FIGURA 3.2

## PATRONES DE DATOS EN PRONÓSTICOS A LARGO PLAZO



**Ciclos, tendencias y estacionalidad** Aunque los datos a largo plazo pudieran parecer erráticos, si profundizamos por lo general podremos identificar patrones de datos subyacentes bastante simples. La figura 3.2 muestra cómo los datos históricos de ventas tienden a estar formados por varios componentes, como la tendencia, los ciclos, la estacionalidad y la fluctuación aleatoria, o ruido. La **tendencia** a largo plazo se ilustra como una línea de pendiente ascendente o descendente. Un **ciclo** es un patrón de datos que puede abarcar varios años antes que se repita. La **fluctuación aleatoria** es un patrón que resulta de variaciones aleatorias o de causas no explicadas. La estacionalidad es un patrón de datos que se repite después de un periodo, generalmente un año. Estaciones como otoño, invierno, primavera y verano son bien conocidas, pero también pueden ocurrir patrones estacionales como los que se dan a continuación:

Periodo antes de que se repita el patrón	Duración de la estación	Cantidad de estaciones en el patrón
Año	Trimestre	4
Año	Mes	12
Año	Semana	52
Mes	Semana	4
Mes	Día	29-31
Semana	Día	7

En la Gráfica superior de la figura 3.2 aparecen trazados seis años de datos históricos de ventas. Se podrían desarrollar gráficamente pronósticos a largo plazo ajustando una línea a través de estos datos del pasado y extendiéndola hacia adelante, hacia el futuro; entonces podrían determinarse leyendo de la gráfica los pronósticos de ventas correspondientes a los periodos 7 y 8. En la práctica, este procedimiento gráfico se utiliza para pronósticos a largo plazo, pero su principal inconveniente es que no es posible ajustar con precisión una línea a través de los datos del pasado. El análisis de regresión nos da una forma más precisa de desarrollar pronósticos con línea de tendencia.

**Regresión lineal y correlación** El análisis de regresión lineal es un modelo de pronóstico que establece una relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Utilizamos nuestro conocimiento de esta relación y nuestro conocimiento de los valores futuros de las variables independientes para pronosticar los valores futuros de la variable dependiente. El análisis de regresión lineal simple sólo contiene una variable independiente. Si los datos forman una serie de tiempo, la variable independiente es el tiempo en periodos y la variable dependiente, por lo general, son las ventas, o aquello que deseamos pronosticar.

La tabla 3.5 muestra las variables, sus definiciones y las fórmulas para un análisis de regresión lineal simple. Este modelo es de la forma  $Y = a + bX$ , que se conoce como la **ecuación de regresión**, donde  $Y$  es la variable dependiente y la variable a pronosticar,  $X$  es la variable independiente,  $a$  es la intersección con el eje  $y$  y  $b$  es la pendiente de la línea de tendencia. Las fórmulas de la tabla 3.5 nos permiten calcular los valores de  $a$  y de  $b$ . Una vez conocidos estos valores constantes, en la ecuación de regresión puede introducirse un valor futuro para  $X$  y calcularse el valor correspondiente de  $Y$  (el pronóstico). Conceptualmente, este procedimiento es lo mismo que extender gráficamente la línea de tendencia de la figura 3.2, como se explicó anteriormente.

El ejemplo 3.1 desarrolla un pronóstico a partir de los datos de una serie de tiempo. El ejemplo muestra la forma en que los gerentes de operaciones pueden planear la capacidad de las instalaciones al desarrollar pronósticos de ventas a largo plazo. En este ejemplo, la variable independiente  $X$  representa el periodo. El único requisito que se impone a los valores de  $X$  es que deben quedar espaciados de manera equidistante, por lo que los valores de  $X$  podrían haber sido 1990, 1991, . . . , 1999 o cualquier otra representación significativa de periodos. Si se van a hacer cálculos sin utilizar computadora, los valores de  $x$  pueden manipularse a fin de que  $\sum x = 0$ ; por lo que el cálculo de  $a$  y de  $b$  se facilitará mucho, ya que  $\sum x$  desaparecerá de las ecuaciones de regresión. A continuación ilustramos la forma en que podríamos hacerlo:

1. Si en los datos existe un número impar de periodos del pasado, digamos 5, los valores de  $X$  serían  $-2, -1, 0, +1, +2$ .  $\sum x = 0$  y el valor de  $X$  que se utilizará en la ecuación de regresión para el año siguiente sería de  $+3$ .
2. Si hubiera un número par de periodos pasados de datos, digamos 6, los valores de  $X$  serían  $-5, -3, -1, +1, +3, +5$ .  $\sum x = 0$  y el valor de  $X$  que se utiliza en la ecuación de regresión del año siguiente sería de  $+7$ .

También se puede utilizar la regresión lineal simple cuando la variable independiente representa una variable distinta al tiempo. En este caso, la regresión lineal es representativa de una clase de modelo de pronóstico conocida como **modelo causal de pronóstico**. Estos modelos desarrollan pronósticos después de establecer y medir alguna asociación entre la variable dependiente y una o más variables independientes. Este tipo de modelos es excelente para la predicción de **puntos de inflexión** en las ventas.

TABLA 3.5

## DEFINICIONES DE VARIABLES Y FÓRMULAS PARA EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

$x$ = valores de la variable independiente	$Y$ = valores de $y$ que aparecen en la línea de tendencia $Y = a + bX$
$y$ = valores de la variable dependiente	$X$ = valores de $x$ que ocurren sobre la línea de tendencia
$n$ = número de observaciones	$r$ = coeficiente de correlación
$a$ = intersección con el eje vertical	$r^2$ = coeficiente de determinación
$b$ = pendiente de la línea de regresión	
$\bar{y}$ = valor medio de la variable dependiente	
$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$	$Y = a + bX$
$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$	$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$

## EJEMPLO 3.1

## ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE: UNA SERIE DE TIEMPO

Specific Motors produce motores electrónicos para válvulas automáticas para la industria de la construcción. Durante más de un año, la planta de producción de Specific ha operado a casi plena capacidad. Jim White, el gerente de planta, estima que el crecimiento en las ventas continuará y desea desarrollar un pronóstico a largo plazo que se usará para planear las necesidades de las instalaciones para los siguientes tres años. Se han totalizado las cifras de ventas correspondientes a los últimos diez años:

Año	Ventas anuales (miles de unidades)	Año	Ventas anuales (miles de unidades)
1	1,000	6	2,000
2	1,300	7	2,200
3	1,800	8	2,600
4	2,000	9	2,900
5	2,000	10	3,200

Estudiamos las fórmulas y la definición de las variables de la tabla 3.5, y después construimos la tabla siguiente para establecer los valores a utilizar en las fórmulas. (Para realizar muchos de estos cálculos es útil usar una hoja de cálculo.)

Año	Ventas anuales (miles de unidades) ( $y$ )	Período ( $x$ )	$x^2$	$xy$
1	1,000	1	1	1,000
2	1,300	2	4	2,600
3	1,800	3	9	5,400
4	2,000	4	16	8,000
5	2,000	5	25	10,000
6	2,000	6	36	12,000
7	2,200	7	49	15,400
8	2,600	8	64	20,800
9	2,900	9	81	26,100
10	3,200	10	100	32,000
Totales	$\sum y = 21,000$	$\sum x = 55$	$\sum x^2 = 385$	$\sum xy = 133,300$

**SOLUCIÓN**

1. Resolvamos ahora despejando los valores de  $a$  y de  $b$ :

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(385)(21,000) - (55)(133,300)}{10(385) - (55)^2}$$

$$= \frac{8,085,000 - 7,331,500}{3,850 - 3,025} = \frac{753,500}{825} = 913.333$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(10)(133,300) - (55)(21,000)}{825}$$

$$= \frac{1,333,000 - 1,155,000}{825} = \frac{178,000}{825} = 215.758$$

2. Ahora que conocemos los valores de  $a$  y de  $b$ , podemos utilizar la ecuación de regresión para pronosticar las ventas de años futuros:

$$Y = a + bX = 913.333 + 215.758X$$

3. Si deseamos pronosticar las ventas en miles de unidades para los tres años siguientes, podríamos reemplazar 11, 12 y 13, que son los tres valores siguientes de  $X$ , en la ecuación de regresión de  $X$ :

$$Y_{11} = 913.333 + 215.758(11) = 3,286.7, \text{ o } 3,290 \text{ miles de unidades}$$

$$Y_{12} = 913.333 + 215.758(12) = 3,502.4, \text{ o } 3,500 \text{ miles de unidades}$$

$$Y_{13} = 913.333 + 215.758(13) = 3,718.2, \text{ o } 3,720 \text{ miles de unidades}$$

Los pronósticos se redondearon con un dígito significativo más que los datos originales. Observe que los datos de ventas sólo contienen dos dígitos significativos; los pronósticos se calculan con tres.

El ejemplo 3.2 utiliza el total de la construcción regional como variable independiente  $X$  para pronosticar las ventas y de una empresa, que es la variable dependiente. En este ejemplo se necesita un pronóstico de ventas a largo plazo para ayudar al gerente a planear la cantidad de ingenieros y las instalaciones del año siguiente. Este ejemplo también explica cómo se pueden utilizar el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación para evaluar el modelo de pronóstico desarrollado mediante el análisis de regresión lineal.

**EJEMPLO 3.2**

**ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE**

Jack Weis, gerente general de Precision Engineering Corporation, supone que los servicios de ingeniería que su empresa proporciona a las empresas en construcción de carreteras están directamente relacionados con la cantidad de contratos de construcción de éstas emitidos en su área geográfica. Weis se pregunta si su suposición es real, y de ser así, ¿podría esta información ayudarle a planear mejor sus operaciones? Jack le pidió a Bill Brandon, uno de sus ingenieros, que hiciera un análisis de regresión lineal simple sobre datos históricos. Bill planea hacer lo siguiente: a) Desarrollar una ecuación de regresión para predecir el nivel de la demanda de los servicios de Precision. b) Utilizar la ecuación de regresión para predecir el nivel de la demanda durante los siguientes cuatro trimestres. c) Determinar con qué grado de exactitud se relaciona la demanda con la cantidad de contratos de construcción realizados.

### SOLUCIÓN

a. Desarrollo de una ecuación de regresión:

1. Bill recorre los registros locales, estatales y federales con objeto de recolectar el valor en dólares por trimestre de los contratos liberados durante dos años en el área geográfica.
2. Examina la demanda de servicios de su empresa a lo largo de este mismo periodo.
3. Prepara la siguiente información:

Año	Trimestre	Ventas de servicios de Precision Engineering (miles de dólares)	Monto total de contratos liberados (miles de dólares)
1	Q <sub>1</sub>	8	150
	Q <sub>2</sub>	10	170
	Q <sub>3</sub>	15	190
	Q <sub>4</sub>	9	170
2	Q <sub>1</sub>	12	180
	Q <sub>2</sub>	13	190
	Q <sub>3</sub>	12	200
	Q <sub>4</sub>	16	220

4. Bill ahora desarrolla los totales necesarios para efectuar el análisis de regresión. Las fórmulas y definiciones de variables se encuentran en la tabla 3.5 (es útil utilizar una hoja de cálculo).

Periodo	Ventas (y)	Contratos (x)	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	8	150	22,500	1,200	64
2	10	170	28,900	1,700	100
3	15	190	36,100	2,850	225
4	9	170	28,900	1,530	81
5	12	180	32,400	2,160	144
6	13	190	36,100	2,470	169
7	12	200	40,000	2,400	144
8	16	220	48,400	3,520	256
Totales	Σy = 95	Σx = 1,470	Σx <sup>2</sup> = 273,300	Σxy = 17,830	Σy <sup>2</sup> = 1,183

5. Utiliza esos valores en las fórmulas de la tabla 3.5 para determinar  $a$  y  $b$ :

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(273,300)(95) - (1,470)(17,830)}{8(273,300) - (1,470)^2}$$

$$= \frac{25,963,500 - 26,210,100}{2,186,400 - 2,160,000} = \frac{-246,600}{25,500} = -9.671$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(8)(17,830) - (1,470)(95)}{25,500} = \frac{142,640 - 139,650}{25,500}$$

$$= \frac{2,990}{25,500} = 0.1173$$

6. La ecuación de regresión es, por lo tanto,  $Y = -9.671 + 0.1173X$ .

b. Pronóstico del nivel de la demanda para los siguientes cuatro trimestres:

1. Bill llama a los representantes de las oficinas de obtención de contratos y prepara estimaciones de los contratos trimestrales para los siguientes cuatro trimestres en miles de dólares. Las cifras son 260, 290, 300 y 270.
2. A continuación, Bill pronostica la demanda de los servicios de ingeniería para Precision (en miles de dólares) para los siguientes cuatro trimestres, utilizando la ecuación de regresión  $Y = -9.671 + 0.1173X$ :

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= -9.671 + .1173(260) & Y_2 &= -9.671 + .1173(290) \\
 &= -9.671 + 30.498 & &= -9.671 + 34.017 \\
 &= 20.827 & &= 24.346 \\
 Y_3 &= -9.671 + .1173(300) & Y_4 &= -9.671 + .1173(270) \\
 &= -9.671 + 35.190 & &= -9.671 + 31.671 \\
 &= 25.519 & &= 22.000
 \end{aligned}$$

El pronóstico total (en miles de dólares) para el siguiente año es el total de los pronósticos de los cuatro trimestres:

$$20.827 + 24.346 + 25.519 + 22.000 = \$92.7$$

Observe que el pronóstico se redondeó utilizando una cifra significativa más que en los datos originales.

c. Evaluación de cuánto se apega la demanda al monto de los contratos de construcción liberados:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \frac{2,990}{\sqrt{[25,550][8(1,183) - (95)^2]}} \\
 &= \frac{2,990}{\sqrt{[25,500][9,464 - 9,025]}} = \frac{2,990}{\sqrt{(25,500)(439)}} = \frac{2,990}{\sqrt{11,194,500}} \\
 &= \frac{2,990}{3,345.8} = .894 \\
 r^2 &= 0.799
 \end{aligned}$$

El monto de los contratos liberados explica aproximadamente 80% ( $r^2 = 0.799$ ) de la variación observada en la demanda trimestral de servicios de Precision.

*El coeficiente de correlación (r) explica la importancia relativa de la relación entre y y x; el signo de r indica la dirección de dicha relación, y el valor absoluto de r la magnitud de la relación. r puede asumir cualquier valor entre -1 y +1. El signo de r será siempre igual al signo de b. Una r negativa indica que los valores de y y de x tienden a moverse en direcciones opuestas, y una r positiva indica que los valores de y y de x se mueven en la misma dirección. A continuación los significados de varios valores de r:*

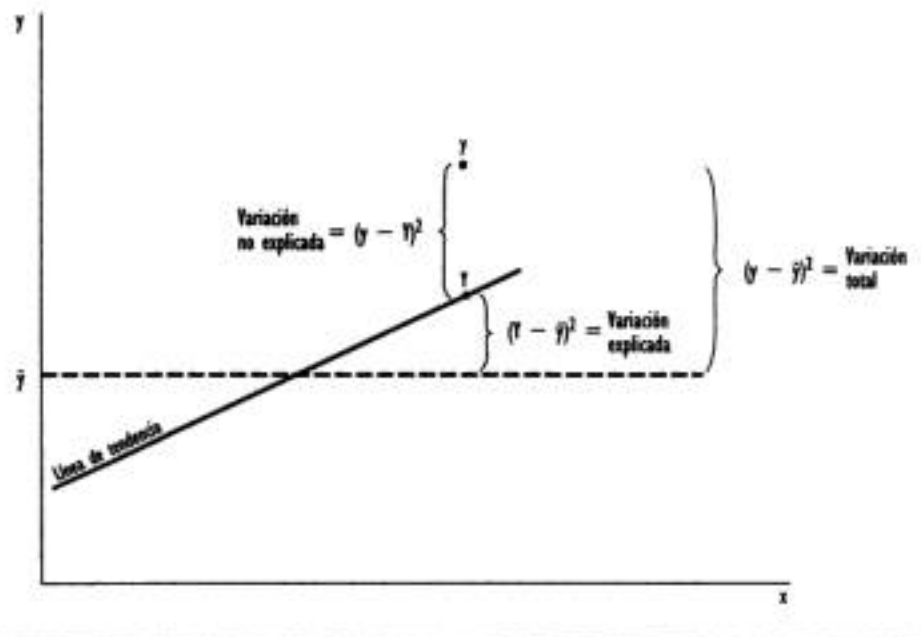
- 1 Una relación negativa perfecta; conforme y sube, x baja unidad por unidad y viceversa.
- +1 Una relación positiva perfecta; conforme y sube, x sube unidad por unidad y viceversa.
- 0 No existe relación alguna entre y y x.
- +0.3 Una relación positiva débil.
- 0.9 Una relación negativa fuerte.

En el ejemplo 3.2,  $r = +0.894$ , lo que significa que existe una relación positiva fuerte entre la demanda de servicios de ingeniería y el monto de los contratos liberados.

A pesar de que el coeficiente de correlación es útil para medir la relación entre x y y, adjetivos como *fuerte*, *moderado* y *débil* no son medidas muy específicas de relación. El coeficiente de

FIGURA 3.3

## VARIACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE (y)



determinación ( $r^2$ ) es el cuadrado del coeficiente de correlación. La modificación, aparentemente insignificante, de  $r$  a  $r^2$ , nos permite pasar de medidas subjetivas de relación a una medida más específica. Existen tres tipos de variación en  $y$ : total, explicada y no explicada:

$$\text{Variación total} = \text{Variación explicada} + \text{Variación no explicada}$$

$$\sum(y - \bar{y})^2 = \sum(Y - \bar{y})^2 + \sum(y - Y)^2$$

La figura 3.3 ilustra estas fuentes de variación. La **variación total** es la suma de las desviaciones al cuadrado de cada uno de los valores de  $y$  respecto a su media  $\bar{y}$ . La **variación explicada** es la suma de las desviaciones al cuadrado de los valores  $Y$  ubicados en la línea de tendencia, respecto a  $\bar{y}$ . La **variación no explicada**, es decir, la variación proveniente de fuentes aleatorias o sin identificar, es la suma de las desviaciones al cuadrado de  $y$  respecto a los valores  $Y$  ubicados sobre la línea de tendencia.

El **coeficiente de determinación** se calcula mediante la relación entre la variación explicada con la total:

$$r^2 = \frac{\sum(Y - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$$

El coeficiente de determinación, por lo tanto, indica qué parte de la variación total en la variable dependiente y queda explicada por  $x$ , o por la línea de tendencia. Si  $r^2 = 80$ , como en el ejemplo 3.2, podemos decir que el monto de los contratos liberados ( $x$ ) explica 80% de la variación en las ventas de los servicios de ingeniería ( $y$ ); 20% de la variación en las ventas de los servicios de ingeniería no queda explicado por el monto de los contratos liberados  $y$ , por lo tanto, se atribuyen a otras variables o variaciones al azar.

Tanto el coeficiente de correlación como el de determinación son medidas útiles de la fuerza de la relación entre las variables dependientes e independientes  $y$ , por consiguiente, del valor de las ecuaciones de regresión como modelos de pronóstico. Mientras más fuerte sea la relación, mayor será la probabilidad de que sean más precisos aquellos pronósticos que resulten de las ecuaciones de regresión.

El análisis de regresión lineal simple tiene sus limitaciones para el desarrollo de pronósticos de alta precisión en casos reales del gobierno y de los negocios. Aunque hay ocasiones en que la variable independiente explica suficientemente la variación existente en la variable dependiente para tener precisión suficiente, pudieran requerirse modelos más complejos. Aunque las fórmulas son más elaboradas y quedan fuera del alcance de este análisis, el análisis de regresión múltiple es el utilizado cuando

existen dos o más variables independientes. Un ejemplo de una ecuación de regresión multilineal es:

$$Y = 15.5 + 2.9X_1 + 12.8X_2 - 1.2X_3 + 8.5X_4$$

donde

- Y = ventas del siguiente trimestre en miles de unidades
- X<sub>1</sub> = cargas de carros de ferrocarril nacionales del trimestre anterior en millones
- X<sub>2</sub> = crecimiento porcentual del producto nacional bruto × diez mil
- X<sub>3</sub> = tasa de desempleo en la región × diez mil
- X<sub>4</sub> = población en el condado en miles

Este tipo de ecuación se utiliza de igual manera que la ecuación de regresión simple (Y = a + bX): para calcular el valor de la variable dependiente (Y) en la ecuación de regresión se reemplazan los valores estimados de las variables independientes (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, y X<sub>4</sub>).

Observe que en la ecuación de regresión múltiple arriba citada, la variable X<sub>1</sub> equivale a las cargas de carros de ferrocarril nacionales del trimestre anterior. Este dato se utiliza para pronosticar las ventas del siguiente trimestre; en este caso, las cargas de carros de ferrocarril adelantan a las ventas en un trimestre. Consideramos a X<sub>1</sub> un **indicador adelantado** porque su valor se conoce antes que ocurra la venta. Siempre es deseable encontrar indicadores adelantados en el pronóstico porque evitan la necesidad de estimar los valores de variables independientes, como tuvimos que hacer en el paso b.1 del ejemplo 3.2.

El análisis de regresión múltiple no lineal, regresión por etapas y los coeficientes de correlación múltiple y parciales también forman parte de la familia de técnicas conocidas como análisis de regresión y correlación, pero quedan fuera del alcance de este libro. Sin embargo, las ideas aquí presentadas por lo general se aplican a estas técnicas más complejas, y Y, X, a, b y r tienen todas sus contrapartidas en los modelos más elaborados.

**Rangos de los pronósticos** Cuando el análisis de regresión lineal genera pronósticos para periodos futuros, éstos son sólo estimaciones y por lo tanto están sujetos a error. La presencia de errores de pronóstico o de variaciones al azar es un hecho para quienes pronostican; el pronóstico es un proceso que está inmerso en la incertidumbre. Una manera de tratar esta incertidumbre es desarrollando intervalos de confianza para los pronósticos.

La figura 3.4 muestra de manera gráfica de qué manera se podrían establecer intervalos de confianza para los pronósticos. Se utilizan diez periodos de datos para desarrollar una línea de tendencia. Al extender una línea de tendencia hacia el periodo 12, se obtiene un pronóstico de 2,400 unidades. Mediante el dibujo de límites superiores e inferiores a los datos, paralelos a la línea de tendencia, de forma que las ventas anuales reales excedan a los límites sólo de manera esporádica, los límites superior e inferior pueden extenderse hasta el periodo 12 y obtener un límite superior de 3,300 unidades y uno inferior de 1,500. Si los límites se acercan el uno al otro, los datos históricos estarán agrupados muy cerca de la línea de tendencia y tendremos más confianza en nuestros pronósticos.

Aunque a veces se utiliza este procedimiento gráfico para establecer límites superiores e inferiores, es decir rangos de pronóstico, existe un método más preciso. El ejemplo 3.3 utiliza la siguiente fórmula para estimar rangos para un pronóstico:

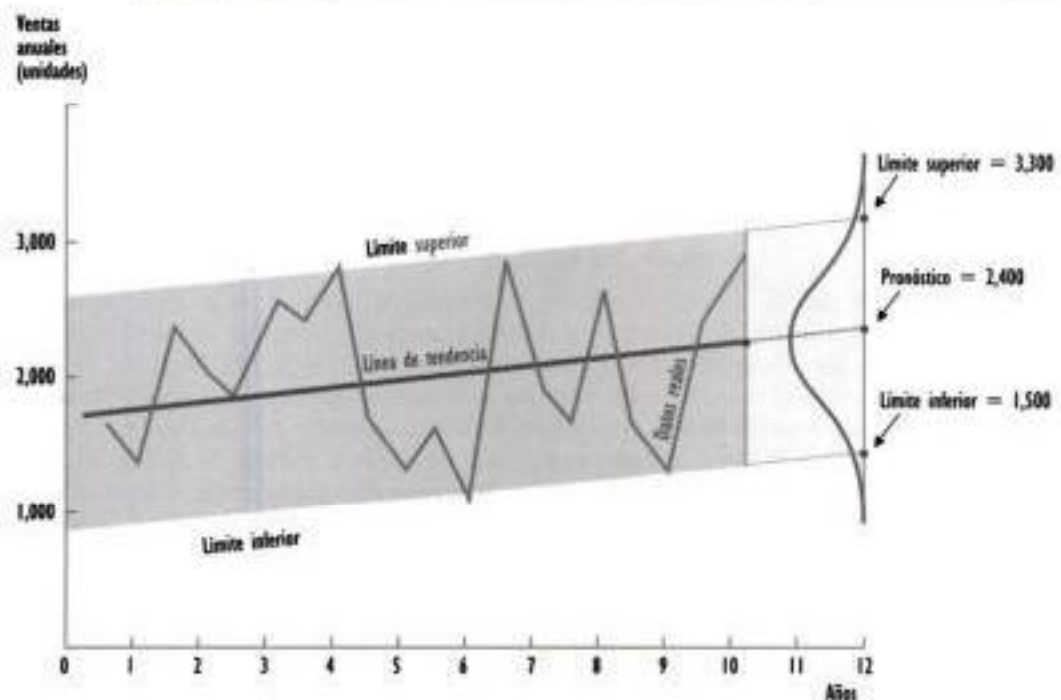
$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n - 2}}$$

La expresión s<sub>yx</sub> se conoce como **error estándar del pronóstico** o **desviación estándar del pronóstico**, y es una medida de la manera en que han quedado dispersos a uno y otro lado de la línea de tendencia los puntos de datos históricos. Si s<sub>yx</sub> es pequeño en relación con el pronóstico, los puntos de datos pasados han quedado agrupados muy cerca de la línea de tendencia y los límites superior e inferior se acercan entre sí.

Establecer rangos para los pronósticos permite a los analistas hacer frente a la incertidumbre que rodea a su trabajo desarrollando pronósticos con buenos estimados así como los rangos dentro de los cuales los datos reales más probablemente ocurrirán.

FIGURA 3.4

## ERRORES DE PRONÓSTICO



## EJEMPLO 3.3

## RANGOS DE PRONÓSTICOS DE SERIE DE TIEMPO

Aquí utilizaremos los datos de ventas anuales de Specific Motors del ejemplo 3.1. La distribución de los valores pronosticados para un periodo de tiempo futuro tiene una desviación estándar ( $s_{y,x}$ ), que es una medida relativa de la manera en que la distribución está dispersa a uno y otro lado de su valor esperado ( $\hat{Y}$ ). La distribución de todos los valores de pronóstico futuros de los periodos se supone es una distribución  $t$  de Student.

## SOLUCIÓN

- Del ejemplo 3.1, hemos calculado todos los valores siguientes;  $\sum y = 21,000$ ;  $\sum x = 55$ ;  $\sum x^2 = 385$ ;  $\sum xy = 133,300$ ;  $n = 10$ ;  $\bar{x} = 5.5$ ;  $\bar{y} = 2,100$ . Calculemos ahora  $\sum y^2$ :

Año	y (miles de unidades)	$y^2$	Año	y (miles de unidades)	$y^2$
1	1,000	1,000,000	6	2,000	4,000,000
2	1,300	1,690,000	7	2,200	4,840,000
3	1,800	3,240,000	8	2,600	6,760,000
4	2,000	4,000,000	9	2,900	8,410,000
5	2,000	4,000,000	10	3,200	10,240,000
			Total		$\sum y^2 = 48,180,000$

- Ahora calculemos el valor de  $s_{y,x}$ :

$$\begin{aligned}
 s_{yx} &= \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n - 2}} \\
 &= \sqrt{\frac{48,180,000 - 913,333(21,000) - 215,758(133,300)}{10 - 2}} \\
 &= \sqrt{\frac{48,180,000 - 19,179,993 - 28,760,541.4}{8}} = \sqrt{\frac{239,465.6}{8}} = \sqrt{29,933.2} \\
 &= 173.0 \text{ Miles de unidades}
 \end{aligned}$$

3. Ahora que tenemos el valor de  $s_{yx}$ , calculemos los límites superior e inferior del pronóstico para el periodo 11\*:

$$\begin{aligned}
 \text{Límite superior} &= Y_{11} + t s_{yx} \\
 \text{Límite inferior} &= Y_{11} - t s_{yx}
 \end{aligned}$$

Donde  $t$  es el número de desviaciones estándar de separación respecto a la media de la distribución para proporcionar una probabilidad dada de llegar a estos límites superior e inferior. Digamos, por ejemplo, que deseamos establecer los límites para que sólo exista una probabilidad de 10% (5% en cada extremo) de exceder de manera casual los límites. El Apéndice B enlista los valores de  $t$ . Dado que para un análisis de regresión simple los grados de libertad (g.l.) =  $n - 2$  y el nivel de significancia es igual a 0.10, el valor de  $t$  es igual a 1.860 y

$$\begin{aligned}
 \text{Límite superior} &= 3,286.7 + 1.86(173) = 3,608.5, \text{ o } 3,610 \text{ miles de unidades} \\
 \text{Límite inferior} &= 3,286.7 - 1.86(173) = 2,964.9, \text{ o } 2,960 \text{ miles de unidades}
 \end{aligned}$$

Note que se han redondeado los límites a un dígito significativo por encima de los datos originales.

4. Ahora podemos describirle a Jim Weis lo que tenemos: existe una probabilidad de 90% que nuestras ventas anuales del próximo año queden entre 3,310 y 2,960 miles de unidades. Sólo existe una probabilidad de 10% que nuestras ventas caigan fuera de estos límites. Nuestra mejor estimación es 3,290 miles de unidades.

\*Otra expresión para los límites superior e inferior en el  $Y$  pronosticado a veces se utiliza cuando el punto de pronóstico queda muy alejado de los datos originales: límites =  $Y \pm t(s_y)$ , donde  $s_y = s_{yx} \sqrt{1 + 1/n + [(X_0 - \bar{X})^2 / \sum (X - \bar{X})^2]}$ , y  $X_0$  es el valor de  $X$  para el cual se está pronosticando un valor de  $Y$ .

**Estacionalidad en los pronósticos de series de tiempo** Por lo general, los patrones estacionales son fluctuaciones que ocurren dentro de un año y tienden a repetirse anualmente. Estas estacionales pueden ser causadas o determinadas por el clima, las vacaciones, los días de pago, los eventos escolares o cualquier otro fenómeno. La Instantánea Industrial 3.1 describe la experiencia que tuvo L. Bean en el pronóstico de patrones estacionales.

El ejemplo 3.4 muestra la forma de desarrollar pronósticos con el análisis de regresión lineal cuando en los datos de la serie de tiempo está presente una estacionalidad. El ejemplo sigue estos pasos.

1. Seleccione un conjunto representativo de datos históricos.
2. Desarrolle un índice de estacionalidad para cada estación, es decir, mes o trimestre.
3. Utilice los índices de estacionalidad para desestacionalizar los datos. En otras palabras, elimine los patrones estacionales.
4. Realice un análisis de regresión lineal sobre los datos desestacionalizados. Ello resultará en una ecuación de regresión de la forma:  $Y = a + bX$ .
5. Utilice la ecuación de regresión para calcular los pronósticos del futuro.
6. Utilice los índices de estacionalidad para volver a aplicar los patrones estacionales a los pronósticos.

Cuando desarrollamos pronósticos estacionalizados mediante el análisis de regresión lineal, como en el ejemplo 3.4, y deseamos tener rangos para estos pronósticos, el procedimiento es sim-

## INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.1

### PRONÓSTICO DE LLAMADAS TELEFÓNICAS EN L. L. BEAN

L. L. Bean es un detallista muy conocido de artículos y ropa deportiva para cacería y campismo de alta calidad. Aproximadamente 10% de sus ventas se efectúan a través de tiendas al menudeo, 20% mediante órdenes por correo y 70% por pedidos telefónicos al centro de atención telefónica de la empresa. Los clientes llaman a uno de los dos números gratuitos para colocar pedidos o para entrar en contacto con servicio a clientes; los empleados del servicio están especialmente capacitados para manejar una amplia variedad de problemas, en tanto que los vendedores están capacitados para recibir pedidos.

A fin de planear con efectividad sus necesidades de personal, para L. L. Bean es importante pronosticar con precisión la cantidad de llamadas telefónicas diarias para ventas y para servicio a clientes. Los programadores de personal utilizan pronósticos para crear programas

semanales de personal para las siguientes tres semanas. Los pronósticos incorrectos resultan muy costosos para L. L. Bean. Si se pronostica demasiado alto, resulta un excesivo costo de mano de obra directa; si se pronostica demasiado bajo, resulta en falta de personal, lo que es causa de clientes insatisfechos, ventas perdidas y cargos más elevados por conexión telefónica debido a esperas más largas. Complicando adicionalmente el reto de pronosticar y de personal está la naturaleza errática y extrema estacionalidad del negocio de L. L. Bean. La empresa recibe prácticamente 20% de sus llamadas anuales en las tres semanas anteriores a Navidad, en las que generalmente se duplica la cantidad de personas y cuadruplica el número de líneas telefónicas.

En un esfuerzo para mejorar la precisión en el pronóstico, se desarrollaron nuevos modelos empleando la metodología de prome-

dios móviles autorregresivos integrados (ARIMA o Box-Jenkins). La mejora fue tan importante que un gerente de L. L. Bean la describió así: "Durante aproximadamente cinco meses ya hemos estado utilizando el nuevo sistema de pronóstico para preparar nuestros programas de personal para los centros de llamadas y nos hemos beneficiado en gran medida por su mucha mayor precisión. En el pasado, pronosticábamos los niveles de llamadas utilizando un procedimiento estadísticamente menos complejo, basado principalmente en los pronósticos de pedidos que obteníamos de mercadotecnia.

"Los ahorros anuales recurrentes debidos al cambio a este nuevo sistema de pronóstico se estiman en 300 mil dólares. Esto no incluye los sustanciales ahorros continuados que resultan todas las semanas por la importante reducción en la mano de obra requerida para la preparación de los pronósticos."

*Fuente:* Andrews, Bruce H. and Shawn M. Cunningham. "L. L. Bean Improves Call-Center Forecasting." *Interfaces* 25, no. 6 (noviembre-diciembre 1995): 1-13.

ple. Los pronósticos desestacionalizados se convierten en rangos y entonces estos pronósticos, junto con sus límites superior e inferior, se estacionalizan multiplicándolos por sus respectivos índices de estacionalidad.

## EJEMPLO 3.4

### PRONÓSTICOS DE SERIE DE TIEMPO ESTACIONALIZADOS

Jim White, gerente de planta de Specific Motors, está intentando planear las necesidades de efectivo, personal y materiales y suministros para cada trimestre del próximo año. Los datos de ventas trimestrales durante los últimos tres años razonablemente parecen reflejar el patrón de resultados estacional que debe esperarse en el futuro. Si Jim pudiera estimar las ventas trimestrales del siguiente año, podría determinar las necesidades de efectivo, material, personal y suministros. (Resulta útil utilizar una hoja de cálculo para realizar muchos de los cálculos).

### SOLUCIÓN

1. Primero, calculamos los índices de estacionalidad:

Año	Ventas trimestrales (miles de unidades)				Total Anual
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	
8	520	730	820	530	2,600
9	590	810	900	600	2,900
10	650	900	1,000	650	3,200
Totales	1,760	2,440	2,720	1,780	8,700
Promedio trimestral	586½	813½	906½	593½	725*
Índice de estacionalidad (IE)**	0.809	1.122	1.251	0.818	

\*Promedio general del trimestre = 8700/12 = 725.

\*\*IE = Promedio del trimestre/Promedio general del trimestre.

2. A continuación, desestacionalizamos los datos dividiendo cada valor trimestral entre su IE (índice de estacionalidad). Por ejemplo,  $520 \div 0.809 = 642.8$ ,  $730 \div 1.122 = 650.6$ , y así sucesivamente.

**Datos trimestrales  
ajustados desestacionalizados**

Año	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
8	642.8	650.6	655.5	647.9
9	729.3	721.9	719.4	733.5
10	803.5	802.1	799.4	794.6

3. A continuación, hacemos un análisis de regresión sobre los datos desestacionalizados (12 trimestres) y el pronóstico de los siguientes cuatro trimestres:

Periodo	x	y	y <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	xy
Año 8, Q <sub>1</sub>	1	642.8	413,191.84	1	642.8
Año 8, Q <sub>2</sub>	2	650.6	423,280.36	4	1,301.2
Año 8, Q <sub>3</sub>	3	655.5	429,680.25	9	1,966.5
Año 8, Q <sub>4</sub>	4	647.9	419,774.41	16	2,591.6
Año 9, Q <sub>1</sub>	5	729.3	531,878.49	25	3,646.5
Año 9, Q <sub>2</sub>	6	721.9	521,139.61	36	4,331.4
Año 9, Q <sub>3</sub>	7	719.4	517,536.36	49	5,035.8
Año 9, Q <sub>4</sub>	8	733.5	538,022.25	64	5,868.0
Año 10, Q <sub>1</sub>	9	803.5	645,612.25	81	7,231.5
Año 10, Q <sub>2</sub>	10	802.1	643,364.41	100	8,021.0
Año 10, Q <sub>3</sub>	11	799.4	639,040.36	121	8,793.4
Año 10, Q <sub>4</sub>	12	794.6	631,389.16	144	9,535.2
Totales	$\sum x = 78$	$\sum y = 8,700.5$	$\sum y^2 = 6,353,909.75$	$\sum x^2 = 650$	$\sum xy = 58,964.9$

4. A continuación utilizamos estos valores para reemplazarlos en las fórmulas encontradas en la tabla 3.5:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{650(8,700.5) - 78(58,964.9)}{12(650) - (78)^2} = 615.421$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{12(58,964.9) - 78(8,700.5)}{12(650) - (78)^2} = 16.865$$

$$Y = a + bX = 615.421 + 16.865X$$

5. Ahora reemplazamos los valores 13, 14, 15 y 16 —los siguientes cuatro valores de x— en la ecuación. Estos serán los pronósticos desestacionalizados, en miles de unidades, para los siguientes cuatro trimestres:

$$Y_{13} = 615.421 + 16.865(13) = 834.666 \quad Y_{15} = 615.421 + 16.865(15) = 868.396$$

$$Y_{14} = 615.421 + 16.865(14) = 851.531 \quad Y_{16} = 615.421 + 16.865(16) = 885.261$$

6. Utilizamos los índices de estacionalidad (IE) para estacionalizar los pronósticos:

Trimestre	IE	Pronósticos desestacionalizados	Pronósticos estacionalizados (IE × pronósticos desestacionalizados) (miles de unidades)
Q <sub>1</sub>	0.809	834.666	675
Q <sub>2</sub>	1.122	851.531	955
Q <sub>3</sub>	1.251	868.396	1,086
Q <sub>4</sub>	0.818	885.261	724

Observe que se han redondeado los pronósticos a un dígito significativo adicional a los de los datos originales.

## PRONÓSTICOS A CORTO PLAZO

Por lo general, los **pronósticos a corto plazo** son estimaciones de situaciones futuras sobre lapsos que van desde unos cuantos días hasta varias semanas. *Estos pronósticos pueden abarcar periodos tan cortos de tiempo que los ciclos, la estacionalidad y los patrones de tendencia surten muy poco efecto.* El patrón principal de datos que afecta a estos pronósticos es la fluctuación aleatoria.

Los pronósticos a corto plazo proporcionan a los gerentes de operaciones información para tomar decisiones como:

- ¿Cuánto inventario de un producto en particular deberá mantenerse el mes siguiente?
- ¿Cuánto de cada producto deberá programarse para producción la semana siguiente?
- ¿Cuánto de cada materia prima deberá pedirse para su entrega la siguiente semana?
- ¿Cuántos trabajadores deberán programarse para trabajar en tiempo normal y extra la semana entrante?

**Evaluación del desempeño del modelo de pronóstico** Los modelos de pronóstico a corto plazo se evalúan en función de tres características: respuesta de impulso, capacidad de amortiguación de ruido y precisión.

*Respuesta de impulso en comparación con la capacidad de amortiguación de ruido* El pronóstico a corto plazo involucra tomar datos históricos del pasado y proyectar los valores estimados correspondientes a estos datos uno o más periodos en el futuro. Los pronósticos que reflejan todas las pequeñas fluctuaciones ocurridas en los datos del pasado se dice que incluyen variaciones aleatorias, o **ruido**. Estos pronósticos son erráticos de un periodo al siguiente. Si, por otra parte, los pronósticos tienen pequeñas fluctuaciones de un periodo a otro, se dice que tienen **amortiguación de ruido**.

Los pronósticos que responden muy rápidamente a los cambios en los datos históricos se describen como de una **respuesta de impulso elevada**. Por otra parte, cuando los pronósticos reflejan poco de los cambios de los datos históricos, se dice que estos pronósticos tienen una **respuesta de impulso baja**. Por lo general, es deseable tener pronósticos a corto plazo que a la vez contengan una respuesta de impulso elevada y una alta capacidad de amortiguación de ruido, pero esto no es posible. Un sistema de pronóstico que responda rápidamente a los cambios en los datos obligatoriamente adquiere gran cantidad de ruido. Los pronosticadores, por lo tanto, al seleccionar modelos de pronóstico para cada aplicación en particular normalmente deben escoger cuál será la característica más valiosa: una elevada respuesta de impulso o una elevada capacidad de amortiguación de ruido.

*Medidas de la precisión del pronóstico* La precisión de un modelo de pronóstico se refiere a qué tan cerca siguen los datos reales a los pronósticos. Comúnmente se utilizan tres medidas de preci-

sión del pronóstico: 1) error estándar del pronóstico ( $s_{yx}$ ), analizado anteriormente; 2) error medio cuadrático (MSE, por sus siglas en inglés), que es simplemente  $(s_{yx})^2$ ; y 3) desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés), que se calcula de las fórmulas que siguen:

$$MAD = \frac{\text{Suma de la desviación absoluta durante } n \text{ periodos}}{n}$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada}|_i}{n}$$

Igual que  $s_{yx}$  y el error medio cuadrático (MSE, por sus siglas en inglés), si MAD es pequeño, los datos reales siguen de cerca a los pronósticos de la variable dependiente y el modelo de pronóstico está dando pronósticos precisos. Cuando los errores pronosticados siguen una distribución normal, los valores de MAD y de  $s_{yx}$  quedan relacionados mediante la expresión:

$$S_{yx} = 1.25MAD$$

MAD,  $s_{yx}$  y el error medio cuadrático se utilizan para medir la precisión *a posteriori* tanto de los modelos de pronóstico a largo como a corto plazo. Sin embargo, en el caso de los modelos de pronóstico a corto plazo también se puede utilizar MAD para determinar valores válidos de los parámetros de los modelos de pronóstico, antes de aplicar dichos modelos.

**Pronósticos ingenuos** Los modelos de pronóstico ingenuos son aquellos que son rápidos y fáciles de utilizar, no tienen virtualmente ningún costo, y son fáciles de comprender. Los ejemplos de pronósticos ingenuos son: 1) el uso de las ventas de ayer como pronóstico de las ventas de hoy 2) uso de las ventas de la misma fecha del año pasado como pronóstico de ventas de mañana. La objeción principal al uso de estos procedimientos para el pronóstico a corto plazo es que son tan simplistas que lo más probable es que den como resultado un error sustancial de pronóstico. Hay algunas aplicaciones, sin embargo, en las que los pronósticos ingenuos son tan precisos como los modelos más complejos o el error de pronóstico no es lo suficientemente oneroso para justificar modelos de pronóstico más costosos.

**Método de los promedios móviles** El método de los promedios móviles promedia los datos de unos cuantos periodos recientes y este promedio se convierte en el pronóstico del periodo siguiente. El ejemplo 3.5 demuestra la manera de utilizar el método de los promedios móviles. De particular importancia es la cantidad de periodos de datos que se han de incluir en el promedio.

### EJEMPLO 3.5

#### PRONÓSTICO DE PROMEDIO MÓVIL A CORTO PLAZO

Shirley Johnson, gerente de inventarios, desea desarrollar un sistema de pronóstico a corto plazo para estimar el volumen de inventario que fluye de su almacén todas las semanas. Ella cree que la demanda de inventario por lo general ha sido estable, con algunas ligeras fluctuaciones aleatorias de una semana a la siguiente. Un analista de las oficinas centrales de la empresa sugirió que utilizara un promedio móvil de 3, 5 o 7 semanas. Antes de tomar una decisión, Shirley decidió comparar la precisión de cada una de ellas en relación con el periodo de diez semanas más reciente.

#### SOLUCIÓN

1. Calcule los pronósticos de promedios móviles de 3, 5 y 7 semanas:

Semana	Demanda real de inventarios (miles de dólares)	Pronósticos		
		cantidad de periodos promediados = 3 semanas	cantidad de periodos promediados = 5 semanas	cantidad de periodos promediados = 7 semanas
1	100			
2	125			
3	90			
4	110			
5	105			
6	130			
7	85			
8	102	106.7	104.0	106.4
9	110	105.7	106.4	106.7
10	90	99.0	106.4	104.6
11	105	100.7	103.4	104.6
12	95	101.7	98.4	103.9
13	115	96.7	100.4	102.4
14	120	105.0	103.0	100.3
15	80	110.0	105.0	105.3
16	95	105.0	103.0	102.1
17	100	98.3	101.0	100.0

Note que se han redondeado los pronósticos a un dígito significativo por encima de lo correspondiente a los datos originales.

Cálculos de muestra: pronósticos para la semana 10:

$$F_3 = \frac{85 + 102 + 110}{3} = 99.0$$

$$F_5 = \frac{105 + 130 + 85 + 102 + 110}{5} = 106.4$$

$$F_7 = \frac{90 + 110 + 105 + 130 + 85 + 102 + 110}{7} = 104.6$$

Nota: Para el pronóstico para la semana 10, recuerde que los únicos datos históricos de demanda de inventario reales semanales que usted tiene para trabajar son las semanas 1 a 9. Por lo tanto, no es posible que se incluyan los datos reales de la semana 10 para el cálculo de los pronósticos de esa semana.

2. A continuación, calcule la desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés) de estos tres pronósticos:

Semana	Demanda real de inventario (miles de dólares)	Pronósticos					
		cantidad de periodos promediados = 3 semanas		cantidad de periodos promediados = 5 semanas		cantidad de periodos promediados = 7 semanas	
		Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta
8	102	106.7	4.7	104.0	2.0	106.4	4.4
9	110	105.7	4.3	106.4	3.6	106.7	3.3
10	90	99.0	9.0	106.4	16.4	104.6	14.6
11	105	100.7	4.3	103.4	1.6	104.6	0.4
12	95	101.7	6.7	98.4	3.4	103.9	8.9
13	115	96.7	18.3	100.4	14.6	102.4	12.6
14	120	105.0	15.0	103.0	17.0	100.3	19.7
15	80	110.0	30.0	105.0	25.0	105.3	25.3
16	95	105.0	10.0	103.0	8.0	102.1	7.1
17	100	98.3	1.7	101.0	1.0	100.0	0.0
Desviación absoluta total			104.0		92.6		96.3
Desviación absoluta media (MAD, por sus siglas en inglés)			10.40		9.26		9.63

TABLA 3.6

## FÓRMULAS Y DEFINICIONES DE VARIABLES PARA LOS PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

$F_t$  = pronóstico para el periodo  $t$ , el periodo siguiente

$F_{t-1}$  = pronóstico para el periodo  $t - 1$ , el periodo anterior

$A_{t-1}$  = datos reales del periodo  $t - 1$ , el periodo anterior

$\alpha$  = constante de suavización, de 0 a 1

$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$ , que también se puede expresar de la manera:

$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$

**Método de los promedios móviles ponderados** El método de promedios móviles antes analizado toma en consideración, al desarrollar un pronóstico, dar el mismo peso a todos los datos históricos. En algunas situaciones pudiera resultar deseable aplicar pesos o coeficientes de ponderación a los datos históricos. Por ejemplo, si se cree que los datos más recientes son más importantes para un pronóstico, se pueden aplicar pesos o coeficientes más elevados de ponderación a estos datos, como se indica a continuación:

Semana	Datos reales	Peso o coeficiente de ponderación
7	85	.20
8	102	.30
9	110	.50

$$\text{Pronóstico}_{10} = 0.2(85) + 0.3(102) + 0.5(110) = 102.6, \text{ o } 102 \text{ mil } 600 \text{ dólares}$$

Esta simple modificación al método de los promedios móviles permite a los pronosticadores especificar la importancia relativa de cada uno de los periodos pasados de datos.

**Método de suavización exponencial** En la tabla 3.6 se encuentran las variables, sus definiciones y las fórmulas para los pronósticos de suavización exponencial. La **suavización exponencial** toma el pronóstico del periodo anterior y le incorpora un ajuste para obtener el pronóstico del siguiente periodo. Este ajuste es proporcional al error anterior y se calcula multiplicando el error de pronóstico del periodo anterior por una constante entre cero y uno. Esta constante alfa ( $\alpha$ ) se conoce como **constante de suavización**. El ejemplo 3.6 demuestra el uso de la suavización exponencial para el desarrollo de pronósticos.

## EJEMPLO 3.6

## PRONÓSTICO A CORTO PLAZO DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

Shirley Johnson, del ejemplo 3.5, habla con un analista de las oficinas centrales de la empresa respecto al pronóstico de la demanda semanal del inventario de su almacén. El analista sugiere que Shirley piense en utilizar la suavización exponencial con constantes de suavización de 0.1, 0.2 y 0.3. Shirley decide comparar la precisión de las constantes de suavización para el periodo de 10 semanas más reciente.

## SOLUCIÓN

1. Primero, estudiamos las fórmulas y definiciones de variables de la tabla 3.6. Calculamos los pronósticos semanarios de las semanas 8 hasta la 17:

Semana	Demanda real de inventario (miles de dólares)	Pronósticos		
		$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.3$
7	85	85.0*	85.0	85.0
8	102	85.0	85.0	85.0
9	110	86.7	88.4	90.1
10	90	89.0	92.7	96.1
11	105	89.1	92.2	94.3
12	95	90.7	94.8	97.5
13	115	91.1	94.8	96.8
14	120	93.5	98.8	102.3
15	80	96.2	103.0	107.6
16	95	94.6	98.4	99.3
17	100	94.6	97.7	98.0

\*Todos los pronósticos para la séptima semana fueron seleccionados arbitrariamente. Se necesitan pronósticos de inicio para utilizar la suavización exponencial. Usualmente se igualan, estos pronósticos a los datos reales del periodo.

Observe que los pronósticos han sido redondeados mostrando un dígito significativo más que los datos originales. Los cálculos correspondientes a los pronósticos de la semana 10 son:

$$F_{10} = F_9 + \alpha(A_9 - F_9)$$

$$\alpha = 0.1: F_{10} = 86.7 + 0.1(110 - 86.7) = 89.0$$

$$\alpha = 0.2: F_{10} = 88.4 + 0.2(110 - 88.4) = 92.7$$

$$\alpha = 0.3: F_{10} = 90.1 + 0.3(110 - 90.1) = 96.1$$

*Nota:* Al elaborar los pronósticos de la semana 10, los únicos datos históricos disponibles llegan hasta la semana 9. Sólo se utilizan los datos reales de esa semana y los pronósticos de la semana 9 para calcular los pronósticos de la semana 10.

2. A continuación, calculamos la desviación media absoluta de estos tres pronósticos:

Semanas	Demanda real de inventarios (miles de dólares)	Pronóstico					
		$\alpha = 0.1$		$\alpha = 0.2$		$\alpha = 0.3$	
		Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta	Pronósticos	Desviación absoluta
8	102	85.0	17.0	85.0	17.0	85.0	17.0
9	110	86.7	23.3	88.4	21.6	90.1	19.9
10	90	89.0	1.0	92.7	2.7	96.1	6.1
11	105	89.1	15.9	92.2	12.8	94.3	10.7
12	95	90.7	4.3	94.8	0.2	97.5	2.5
13	115	91.1	23.9	94.8	20.2	96.8	18.2
14	120	93.5	26.5	98.8	21.2	102.3	17.7
15	80	96.2	16.2	103.0	23.0	107.6	27.6
16	95	94.6	0.4	98.4	3.4	99.3	4.3
17	100	94.6	5.4	97.7	2.3	98.0	2.0
Desviación absoluta total		133.9		124.4		126.0	
Desviación media absoluta		13.39		12.44		12.60	

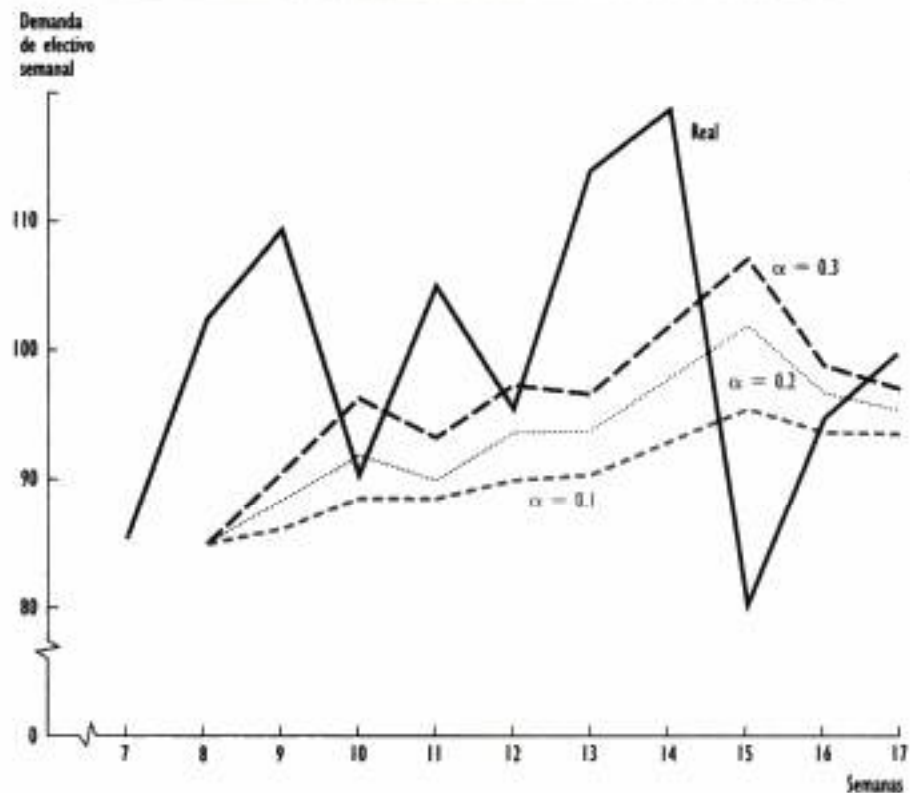
3. La constante de suavización  $\alpha = 0.2$  nos da una precisión ligeramente mayor si la comparamos con las de  $\alpha = 0.1$  y  $\alpha = 0.3$ .
4. A continuación, utilizando  $\alpha = 0.2$ , calcule el pronóstico (en miles de dólares) para la semana 18:

$$F_{18} = F_{17} + 0.2(A_{17} - F_{17})$$

$$= 97.7 + 0.2(100 - 97.7) = 97.7 + 0.2(2.3) = 97.7 + 0.46 = 98.2, \text{ o } 98 \text{ mil } 200 \text{ dólares}$$

FIGURA 3.6

PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL EN COMPARACIÓN CON LA DEMANDA REAL DE EFECTIVO DEL EJEMPLO 3.6

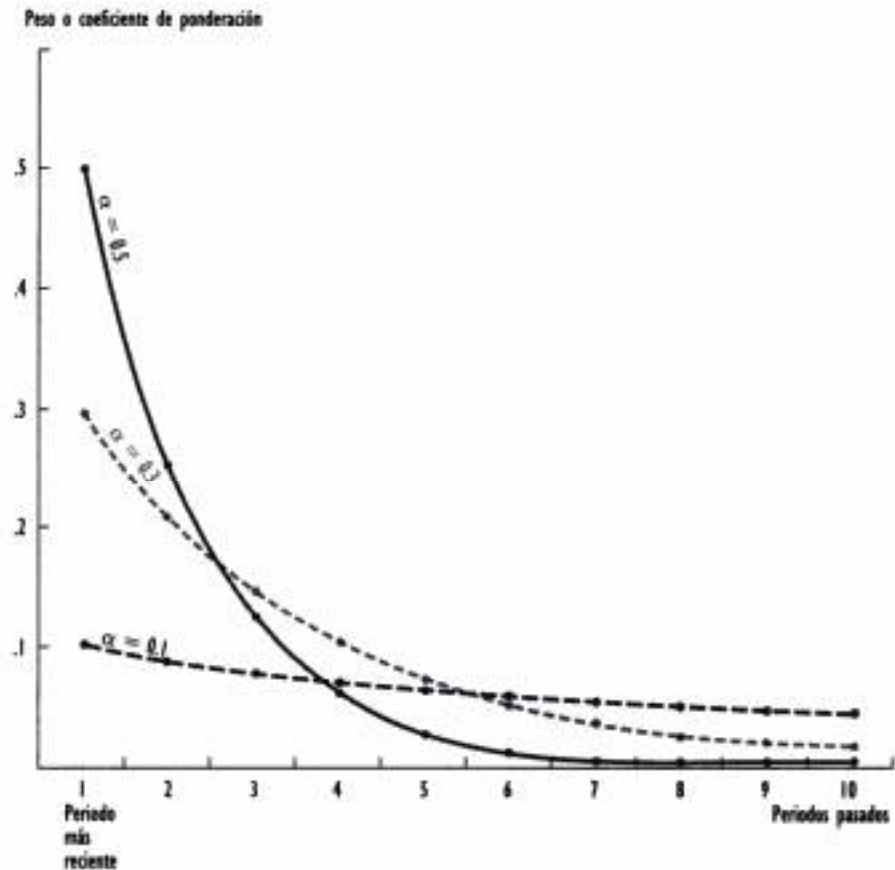


Los pronosticadores seleccionan valores para  $\alpha$  basados en criterios como la precisión, la respuesta de impulso y la capacidad de amortiguación de ruido. Como se puede ver en el ejemplo 3.6, no siempre niveles más elevados de  $\alpha$  resultan en pronósticos más precisos. Cada conjunto de datos tiende a tener cualidades únicas, de forma que se aconseja experimentar con diferentes niveles de  $\alpha$  para alcanzar la mejor precisión en el pronóstico. La figura 3.6 traza los pronósticos de suavización exponencial ( $\alpha = 0.1, 0.2$  y  $0.3$ ) contra la demanda real semanal del inventario del ejemplo 3.6. *Note que entre más elevado es  $\alpha$ , más alta es su respuesta de impulso y menor es su capacidad de amortiguación de ruido y viceversa:* Cuando  $\alpha = 0.3$ , el pronóstico exhibe una respuesta de impulso ligeramente superior y una capacidad de amortiguación de ruido ligeramente inferior, ya que su curva exhibe una mayor variación de periodo a periodo.

La suavización exponencial se conocía antes como **promedio móvil ponderado exponencialmente**, término que nos recuerda que la suavización exponencial, igual que el promedio móvil y los modelos de promedios móviles ponderados, desarrollan pronósticos que en realidad son promedios. La suavización exponencial brinda mayor peso a los datos de periodos más recientes que a los de periodos más alejados. La figura 3.7 ilustra los pesos o coeficientes de ponderación para algunas constantes de suavización.

**Suavización exponencial con tendencia** Generalmente consideramos que la planeación a corto plazo cubre o abarca lapsos tan breves que la estacionalidad y la tendencia no son factores de importancia. Sin embargo, conforme pasamos de pronósticos a corto plazo a pronósticos a plazo medio, la estacionalidad y la tendencia se hacen más importantes. La incorporación de un componente de tendencia en pronósticos suavizados exponencialmente se conoce como **suavización exponencial doble**, ya que tanto la estimación del promedio como la de la tendencia se suavizan.

FIGURA 3.7 PONDERACIÓN DE DATOS DEL PASADO EN LA SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL



En este modelo se utiliza tanto  $\alpha$ , la constante de suavización para el promedio, como  $\beta$ , la constante de suavización para la tendencia. La tabla 3.7 exhibe fórmulas para incorporar un componente de tendencia en pronósticos de suavización exponencial y el ejemplo 3.7 ilustra la utilización de las fórmulas.

El pronóstico con tendencia del mes 7 se calcula así:

$$\begin{aligned}
 FT_7 &= S_{t-1} + T_{t-1} \\
 FT_7 &= S_6 + T_6 \\
 &= 149.28 + 3.81 = 153.09, \text{ o } 153.1 \text{ miles de dólares}
 \end{aligned}$$

### EJEMPLO 3.7

#### SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL EN PRONÓSTICOS CON TENDENCIA

Ann Hickman debe pronosticar las ventas de su empresa en expansión de autotransportes, de forma que pueda planear la necesidades de efectivo, personal y combustible. Ella cree que las ventas durante el periodo de los seis meses anteriores son representativas de las ventas del futuro. Desarrolle un pronóstico de suavización exponencial con tendencia para las ventas del mes 7, si  $\alpha = 0.2$ ,  $\beta = 0.3$ , y las ventas históricas, en miles de dólares, fueron:

TABLA 3.7

## FÓRMULAS, DEFINICIONES DE VARIABLES Y PROCEDIMIENTO PARA LOS PRONÓSTICOS DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL CON TENDENCIA

*Definiciones variables*

$S_t$	= pronóstico suavizado del periodo $t$
$T_t$	= estimación de tendencia del periodo $t$
$A_t$	= dato real del periodo $t$
$t$	= el siguiente periodo
$t - 1$	= el periodo anterior
$FT_t$	= pronóstico con tendencia del periodo $t$
$\alpha$	= constante de suavización para los promedios, de 0 a 1
$\beta$	= constante de suavización para la tendencia, de 0 a 1

*Fórmulas*

$FT_t$	= $S_{t-1} + T_{t-1}$
$S_t$	= $FT_t + \alpha(A_t - FT_t)$
$T_t$	= $T_{t-1} + \beta(FT_t - FT_{t-1} - T_{t-1})$

*Procedimiento*

Si desearamos completar el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para la semana 7, seguiríamos este procedimiento:

1. Para empezar, es necesario que sepamos los valores de  $\alpha$  y de  $\beta$ . Los valores de las constantes de suavización  $\alpha$  y  $\beta$  deben estar entre 0 y 1 y deben estimarse o deducirse experimentalmente.
2.  $S_6$  y  $T_6$  se habrían calculado antes.
3. Calcule:  $FT_7 = S_6 + T_6$ . Este es el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para la semana 7.
4. En la preparación para el cálculo de pronóstico de la siguiente semana, calculamos  $S_7$  y  $T_7$ . Conociendo los valores de  $FT_7$ ,  $FT_6$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $T_6$ , y una vez conocido el valor de  $A_7$ , calcule:  
 $S_7 = FT_7 + \alpha(A_7 - FT_7)$   
 $T_7 = T_6 + \beta(FT_7 - FT_6 - T_6)$

Mes ( $t$ )	Ventas (miles de dólares) ( $A_t$ )
1	130
2	136
3	134
4	140
5	146
6	150

**SOLUCIÓN**

1. Estimamos el pronóstico de inicialización para el mes 1: Un pronóstico ingenuo para el mes 1 serían las ventas reales del mes 1, o 130.

$$FT_1 = A_1 = 130$$

2. Estimamos un componente inicial de tendencia. Una forma de estimar el componente de tendencia es restar las ventas reales del mes 1 de las ventas reales del mes 6, y a continuación dividirlos entre 5, que es la cantidad de periodos entre 1 y 6.

$$T_1 = \frac{A_6 - A_1}{5} = \frac{150 - 130}{5} = 4$$

3. A continuación, utilizando el pronóstico y el componente de tendencia iniciales de los meses 1 y 2, calculamos un pronóstico para las ventas en cada uno de los meses que nos llevan a un pronóstico para el mes 7:

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A <sub>t</sub> )	FT <sub>t</sub>	+	α(A <sub>t</sub> )	-	FT <sub>t</sub>	=	S <sub>t</sub>
1	130	130	+	0.2 (130)	-	130	=	130.00
2	136	134	+	0.2 (136)	-	134	=	134.40
3	134	138.40	+	0.2 (134)	-	138.40	=	137.52
4	140	141.64	+	0.2 (140)	-	141.64	=	141.31
5	146	145.17	+	0.2 (146)	-	145.17	=	145.34
6	150	149.10	+	0.2 (150)	-	149.10	=	149.28

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A <sub>t</sub> )	T <sub>t-1</sub>	+	β(FT <sub>t</sub> )	-	FT <sub>t-1</sub>	-	T <sub>t-1</sub>	=	T <sub>t</sub>
1	130							conocido	=	4.00
2	136	4.00	+	0.3 (134)	-	130	-	4.00	=	4.00
3	134	4.00	+	0.3 (138.40)	-	134	-	4.00	=	4.12
4	140	4.12	+	0.3 (141.64)	-	138.40	-	4.12	=	3.86
5	146	3.86	+	0.3 (145.17)	-	141.64	-	3.86	=	3.76
6	150	3.76	+	0.3 (149.10)	-	145.17	-	3.76	=	3.81

Mes (t)	Ventas (miles de dólares) (A <sub>t</sub> )	S <sub>t-1</sub>	+	T <sub>t-1</sub>	=	FT <sub>t</sub>
1	130			conocido	=	130.00
2	136	130	+	4.00	=	134.00
3	134	134.40	+	4.00	=	138.40
4	140	137.52	+	4.12	=	141.64
5	146	141.31	+	3.86	=	145.17
6	150	145.34	+	3.76	=	149.10
7	—	149.28	+	3.81	=	153.09

El ejemplo 3.7 podría haberse incorporado un componente de estacionalidad en los pronósticos, igual que se hizo en el ejemplo 3.4. Sería necesario desarrollar los índices estacionales para cada estación, mismos que permitirían desestacionalizar los datos, utilizando las fórmulas de la tabla 3.7 para desarrollar pronósticos desestacionalizados, y finalmente, se emplearían los índices para volver a insertar los patrones estacionales en los pronósticos.

La suavización exponencial es un caso especial del *modelo Box-Jenkins*, cuyos métodos de autocorrelación examinan los puntos de datos históricos reales y les ajustan una función matemática, misma que se convierte entonces en el modelo de pronóstico para estimaciones futuras. Disponible en muchos paquetes estándar de pronóstico por computadora, se considera a este método como el más preciso de todos los métodos de pronóstico a corto plazo. Sin embargo, se requieren de aproximadamente 60 puntos de datos y de cierto tiempo para obtener resultados de pronóstico, además de que es relativamente costoso su uso. Éstos y otros desarrollos en los pronósticos de suavización exponencial la convierten en una fuerza poderosa para el pronóstico a corto plazo.

Ahora que hemos examinado algunos métodos y problemas de pronóstico, concluimos el capítulo considerando cómo poder tener un sistema de pronósticos de éxito y analizando los tipos de software disponibles para ellos.

## CÓMO TENER UN MÉTODO DE PRONÓSTICO EXITOSO

La figura 3.1 ilustró el papel del pronóstico en la planeación de los negocios. Algunas de las razones de un mal pronóstico se encuentran en la tabla 3.8. De particular importancia es considerar la manera de seleccionar el método de pronóstico y cómo controlar el modelo de pronóstico.

### CÓMO SELECCIONAR UN MÉTODO DE PRONÓSTICO

Al seleccionar un método de pronóstico se deben considerar varios factores: 1) costo, 2) precisión, 3) datos disponibles, 4) lapso de tiempo, 5) naturaleza de los productos y servicios, 6) respuesta de impulso y amortiguación de ruido.<sup>5</sup>

**Costo y precisión** Al seleccionar un método de pronóstico, se presenta un dilema entre costo y precisión; en otras palabras, para obtener más precisión en el pronóstico es necesario incurrir en un mayor costo. Los procedimientos de elevada precisión utilizan más datos, los datos por lo general son más difíciles de obtener, y los modelos tienen un diseño más costoso, son más caros de poner en práctica y de operar. Métodos como los modelos estadísticos, las analogías históricas y el consenso de comité ejecutivo tienden a ser de costo bajo o moderado, en tanto que los modelos econométricos complejos de Delfos, y la investigación de mercados tienden a ser más caros y requieren más tiempo para utilizarse. Cada organización debe resolver el dilema de acuerdo con su propia situación.

Las Instantáneas Industriales 3.2, 3.3 y 3.4 contrastan tres diferentes procedimientos para el pronóstico. El primero describe un sistema de pronóstico costoso y complejo, el segundo un sistema de pronóstico muy económico y simple, y el tercero describe un sistema dinámico para la selección de modelos de pronóstico. El hecho de que las tres organizaciones aparentemente estén satisfechas con la precisión y el costo de su sistema de pronóstico, demuestra que no existe un procedimiento único que sea apropiado para todas las situaciones. En muchas ocasiones, métodos simples y baratos tienden a proporcionar pronósticos que son tan precisos como los modelos de pronóstico más complejos y de costo elevado.

**TABLA 3.8**

#### ALGUNAS RAZONES PARA UN MAL PRONÓSTICO

1. Omisión de la empresa de involucrar una amplia sección del personal en los pronósticos. El esfuerzo individual es importante, pero también lo es la necesidad de involucrar a todos aquellos que tengan información pertinente y que deberán ponerlo en práctica.
2. Omisión en reconocer que el pronóstico forma parte integral de la planeación empresarial (vea la figura 3.1).
3. Omisión en reconocer que los pronósticos siempre están equivocados. Las estimaciones del futuro están destinadas a estar sujetas a error y la magnitud del error tiende a ser mayor en pronósticos que cubren periodos de tiempo extremadamente largos o cortos. Cuando los gerentes de operaciones abrigan expectativas no realistas sobre sus pronósticos, el hecho de éstos no resultan exactos a menudo se utiliza como excusa para un mal desempeño en las operaciones.
4. Omisión en pronosticar las cosas correctas. Las organizaciones pueden pronosticar la demanda de materias primas que tienen que incorporarse en los productos terminados. La demanda de las materias primas no necesita pronosticarse, porque dicha demanda puede calcularse a partir de los pronósticos de productos terminados. Pronosticar demasiadas cosas puede sobrecargar al sistema de pronósticos y hacer que resulte demasiado costoso y pesado.
5. Omisión en seleccionar un método apropiado de pronóstico.
6. Omisión en llevar control del desempeño de los modelos de pronóstico, de forma que se pueda mejorar su precisión. Los modelos de pronóstico pueden modificarse según se requiera para controlar su desempeño.

## INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.2

### USO DE UN SISTEMA EXPERTO DE PRONÓSTICO EN XEROX

La forma en que se hacen pronósticos en Xerox Corporation ha cambiado. En la antigua manera de desarrollar pronósticos de ventas, siete analistas utilizaban un conjunto de modelos de pronóstico y de métodos. En un extremo, hacían gráficas de modelos históricos, extrapoliándolos hacia el futuro para los muchos tipos de copiadoras de su línea de productos. Estas gráficas se circulaban a todos los interesados y grupos contribuyentes dentro de la corporación. En el extremo opuesto, otros analistas utilizaban hojas de cálculo de computadora. Todo este abanico laborioso de métodos y procedimientos para

desarrollar pronósticos tomaba tanto tiempo, que el equipo de pronóstico empezaba a trabajar en el pronóstico del año siguiente a mediados del año actual, y apenas si tenía el tiempo suficiente para desarrollar pronósticos de 12 meses hacia el futuro. Este procedimiento era tan laborioso y los pronósticos tan poco precisos que Xerox hizo un esfuerzo para desarrollar un sistema experto que realizara la mayor parte de los pronósticos.

Se necesitaron dos años para desarrollar el sistema experto, pero ahora los analistas pueden esperar hasta octubre para empezar a desarrollar los pronósti-

cos de ventas del año siguiente. El nuevo sistema desarrolla pronósticos hasta de tres años, lo que da a la empresa una visión a más largo plazo para la planeación de los negocios. Y esto no es todo; el sistema monitorea continuamente su propio desempeño y actualiza sus parámetros, de manera que la precisión del pronóstico se está afinando continuamente. El tiempo ahorrado utilizando el sistema experto permite al equipo de pronóstico tomar en consideración el efecto de los impactos de factores como la inflación y la actividad de los competidores sobre las ventas futuras de Xerox.

Fuente: "Software Even a CFO Could Love," *Business Week*, 2 de noviembre, 1992, 132-135.

**Datos disponibles** Los datos que estén disponibles y que sean relevantes para los pronósticos son un factor importante en la selección del método de pronóstico. Por ejemplo, si las actitudes y las intenciones de los clientes son un factor relevante en los pronósticos y si estos datos pueden obtenerse de manera económica de los clientes, entonces una encuesta de clientes pudiera ser el método apropiado para el desarrollo de las estimaciones de la demanda. Por otra parte, si requiere pronosticar las ventas de un producto nuevo, entonces una encuesta de clientes pudiera no ser una forma práctica de desarrollar un pronóstico; quizás debieran utilizarse las analogías históricas, la investigación de mercados, el consenso de comité ejecutivo o algún otro método.

**Tiempo** La elección de un método apropiado de pronóstico queda afectada por la naturaleza del recurso de producción que se va a pronosticar. Los programas de mano de obra, de efectivo, de inventarios y de máquinas son de naturaleza a corto plazo y se pueden pronosticar utilizando modelos de promedios móviles o de suavización exponencial. Las necesidades de recursos de producción a largo plazo, como por ejemplo la capacidad de las fábricas y los fondos para bienes de capital, pueden estimarse mediante la regresión, el consenso de comité ejecutivo, la investigación de mercados y otros métodos más apropiados para pronósticos a largo plazo.

**Naturaleza de productos y servicios** Se aconseja que los gerentes utilicen diferentes métodos de pronóstico para productos distintos. Factores como si el producto es de volumen y costo elevado, si el producto es un bien manufacturado o un servicio, o en qué punto de su ciclo de vida está el producto, afecta la elección de un método de pronóstico.

**Respuesta de impulso y amortiguación de ruido** Como se indicó antes, en nuestro análisis de los pronósticos a corto plazo, debe equilibrarse lo que deseamos del modelo de pronóstico en lo que se refiere a su respuesta, como por ejemplo, ante cambios en los datos reales de la demanda, contra nuestro deseo de suprimir cualquier variación aleatoria indeseable, es decir, ruido en los datos. Cada modelo de pronóstico difiere en su respuesta de impulso y su amortiguación de ruido, y el modelo seleccionado debe ajustarse a la situación del pronóstico.

Una vez que los gerentes seleccionan el modelo de pronóstico a utilizar, debe llevarse un control del desempeño del modelo.

## INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.3

## PRONÓSTICO DE VENTAS DE SEÑALES LUMINOSAS EN OLIN CORPORATION

En Morgan Hill Works de Olin Corporation, ubicado en Morgan Hill, California, el gerente de planta Perry Spangler está planeando el programa de la producción de señales luminosas de ferrocarril en el primer trimestre del año entrante. Estos productos se venden a todos los ferrocarriles de importancia en Estados Unidos y se utilizan para señalización. Spangler sabe que los pronósticos de ventas no necesitan acercarse a las ventas reales, pero dado que la señal luminosa de ferrocarril es un artículo que se produce para inventarios, por lo general hay un amplio inventario a la mano para embarcar a los clientes en caso de impresiones en los pronósticos.

Durante varios trimestres, Spangler ha estado pronosticando las ventas de las señales luminosas

de ferrocarril utilizando una simple técnica gráfica (figura 3.8). De un lado de la gráfica traza los millones de cargas de carros nacionales de ferrocarril de cada trimestre, información que localiza en una publicación del Departamento de Comercio de su biblioteca local; en el otro lado, traza las ventas de señales luminosas de ferrocarril de Olin en miles de gruesas (una gruesa = 144 señales luminosas). Spangler ha notado una relación muy cercana entre las cargas de carros de carga nacionales del trimestre anterior y las ventas de señales luminosas de ferrocarril del trimestre actual: las cargas de carros nacionales de ferrocarril en millones del trimestre anterior multiplicadas por 0.3 resultan aproximadamente igual a la venta de señales luminosas de fe-

rocarril en miles de gruesas del trimestre actual.

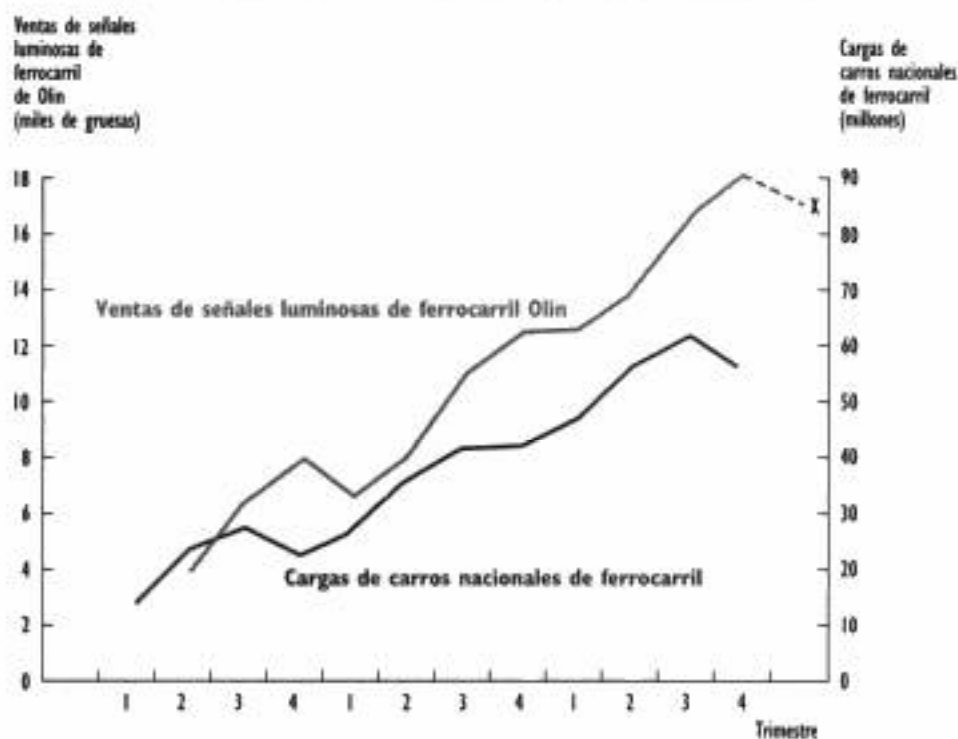
Por lo tanto, Spangler estima las ventas de los señales luminosas de ferrocarril del primer trimestre del año siguiente como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Ventas} &= 0.3 \times 55 \text{ millones} \\ &\quad \text{de cargas del cuarto} \\ &\quad \text{trimestre} \\ &= 16.5, \text{ es decir } 16,500 \\ &\quad \text{gruesas} \end{aligned}$$

Spangler supone que esta relación es lógica, porque las ventas de las señales luminosas de ferrocarril deberán estar relacionadas directamente con la cantidad de carros de ferrocarril en servicio. Está contento con la precisión de los pronósticos y la facilidad con la que los prepara.

FIGURA 3.8

VENTAS DE SEÑALES LUMINOSAS DE FERROCARRIL DE OLIN CORPORATION



## INSTANTÁNEA INDUSTRIAL 3.4

### PRONÓSTICOS ENFOCADOS EN AMERICAN HARDWARE SUPPLY

Bernard Smith, de American Hardware Supply, desarrolló un sistema para seleccionar métodos de pronóstico, al que llamó procedimiento **pronósticos enfocados**, y se basaba en dos principios: (1) Los métodos de pronóstico más complejos y costosos no siempre dan los mejores pronósticos (2) no existe una sola técnica de pronóstico que deba ser utilizada para todos los productos y servicios.

El sistema de pronósticos en American Hardware Supply tenía que pronosticar cantidades de compra para aproximadamente

100 mil artículos adquiridos por los compradores de la empresa, quienes tendían a no utilizar el modelo antiguo de pronóstico de suavización exponencial para predecir las cantidades de compra, porque no comprendían o no confiaban en el modelo. En vez de ello, utilizaban procedimientos de pronóstico muy sencillos, como emplear para el período siguiente la cifra del período anterior de demanda de un artículo. Smith seleccionó siete métodos de pronóstico, incluyendo los sencillos utilizados por los compradores, el antiguo de suaviza-

ción exponencial y algunos nuevos métodos estadísticos de pronóstico. Cada mes probó cada uno de los modelos para pronosticar la demanda de cada artículo. El modelo que resultaba ser el mejor pronóstico para un artículo era el usado para pronosticar la demanda de dicho artículo del mes siguiente.

Aunque los compradores suelen pasar por alto los pronósticos que resultan del pronóstico enfocado, el procedimiento está proporcionando excelentes pronósticos para American Hardware Supply.

Fuente: Bernard Smith. *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control*. Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1984.

## CÓMO MONITOREAR Y CONTROLAR UN MODELO DE PRONÓSTICO

Es importante que se monitoree y controle el desempeño de los modelos de pronóstico. Una manera sencilla de ilustrar el monitoreo de los pronósticos es utilizando una **gráfica escalonada**. La figura 3.9 es un ejemplo de la gráfica escalonada utilizada en Intel Corporation.<sup>6</sup> Para interpretarla, considere el renglón correspondiente a marzo. El número 10 en la columna de febrero representa las ventas reales del mes, mismas que no se conocían hasta el 1 de marzo. El número 15 en la columna de marzo representa el pronóstico de marzo elaborado a principio de ese mes, y el número 16 en la columna de junio representa el pronóstico de junio elaborado al principio de marzo. Observe que examinando los números de las columnas, podemos comparar las ventas reales con pronósticos de antigüedades diferentes que se prepararon cada mes. Por ejemplo, en la columna de junio, podemos ver que los pronósticos de ese mes que se hicieron en marzo a través del período del 1 de junio eran demasiado optimistas. Este tipo de comparaciones permite juicios subjetivos sobre los patrones y magnitudes de los errores de pronóstico, de forma que pueda mejorarse la precisión de los pronósticos futuros.

Un sistema más preciso de vigilar y controlar los pronósticos es establecer límites superior e inferior sobre cuánto pueden deteriorarse las características de desempeño de un modelo, antes de que cambiemos los parámetros del mismo. Una manera común en la que podemos llevar control del desempeño de los modelos de pronóstico es utilizando lo que se conoce como **señal de seguimiento**:

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{\text{Suma algebraica de errores a lo largo de } n \text{ periodos}}{\text{Desviación media absoluta a lo largo de } n \text{ periodos}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada})_i}{\text{MAD}}$$

FIGURA 3.9

## GRÁFICA ESCALONADA DE LOS PRONÓSTICOS DE VENTAS EN INTEL CORPORATION

Pronósticos de ventas mensuales											
Pronósticos elaborados en	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Enero	11	14	18	14							
Febrero	11	13	16	15	14						
Marzo		10	15	15	17	16					
Abril			14	16	16	16	14				
Mayo				13	16	15	16				
Junio					13	13	15	15	20		
Julio						12	15	18	16	17	
Agosto											

Nota: Los números en negro son ventas reales del mes

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada})}{\sum_{i=1}^n |\text{Demanda real} - \text{Demanda pronosticada}|}$$

La señal de seguimiento mide el error de pronóstico acumulado a lo largo de  $n$  periodos en función de MAD. Por ejemplo, si la suma algebraica de los errores durante 12 periodos ha sido 1,000 unidades positivas y el MAD de esos mismos 12 periodos es de 250 unidades, entonces la señal de seguimiento es +4, lo que es muy elevado. Esto indica que los datos reales han sido superiores a los pronosticados en un total de +4 MAD durante 12 periodos, lo que es aproximadamente igual a  $5s_{yx}$  dada la relación  $s_{yx} = 1.25 \text{ MAD}$ . Si la suma algebraica de los errores durante ese periodo ha sido -1,250 unidades y el MAD de esos mismos 12 periodos es de 250 unidades, entonces la señal de seguimiento es -5, que es muy baja, lo que indica que a lo largo de 12 periodos los datos reales han sido inferiores respecto a los pronósticos en un total de -5 MAD, lo que también puede considerarse igual a  $6.25s_{yx}$ . Si el modelo de pronóstico está desempeñándose bien, la señal de seguimiento debería ser prácticamente igual a cero, indicando que ha habido aproximadamente tantos puntos reales por encima del pronóstico como por debajo. La capacidad de la señal de seguimiento para indicar la dirección del error de pronóstico es muy útil porque indica si los pronósticos deben ser motivo de reducción o de incremento. Si la señal de seguimiento es positiva, incremente los pronósticos; de ser negativa, redúzcalos.

El valor de la señal de seguimiento puede utilizarse para disparar automáticamente nuevos valores de parámetros de los modelos, corrigiendo de esta manera su desempeño. Por ejemplo, podrían utilizarse reglas como las que se encuentran en la tabla 3.9 para modificar los parámetros del modelo de pronóstico. Pero no debemos suponer que  $\alpha$  se incrementa siempre para reducir el error, ya que ello dependerá de los datos. No existen reglas universales; más bien, las reglas deben diseñarse a la medida por cada empresa para ajustar sus datos a través de la experimentación. Si se establecen límites para la señal de seguimiento muy bajos, entonces los parámetros del modelo de pronóstico necesitarán revisión demasiado a menudo, pero si se establecen límites de la señal de seguimiento muy amplios, entonces los parámetros del modelo de pronóstico no se modificarán con la frecuencia suficiente y la precisión de los pronósticos sufrirá.

TABLA 3.9

REGLAS DE UNA EMPRESA PARA MODIFICAR LA CONSTANTE DE SUAVIZACIÓN ( $\alpha$ )

Límites para el valor absoluto de la señal de seguimiento	No cambio	Ligero: incrementa $\alpha$ en 0.1	Moderado: incrementa $\alpha$ en 0.3	Pánico: incrementa $\alpha$ en 0.5
0-2.4	✓			
2.5-2.9		✓		
3.0-3.9			✓	
Más de 4.0				✓

## SOFTWARE PARA LOS PRONÓSTICOS

El personal del gobierno y de la industria que preparan pronósticos utilizan computadoras para efectuar muchos de sus cálculos. Para ello, se encuentran fácilmente disponibles numerosos programas estándar de cómputo basados en los modelos de pronóstico que se han presentado en este capítulo.

Los paquetes de software de la lista que sigue son ejemplo de programas que incluyen capacidades de pronóstico. Los tres primeros son principalmente para pronósticos y los últimos cuatro tienen incluidos módulos de pronóstico.

- *Forecast Pro*
- *AFS*
- *tsMetrix*
- *SAS*
- *SPSS*
- *SAP*
- *POM Computer Library* incluye promedio móvil, promedio móvil ponderado, suavización exponencial, suavización exponencial con tendencia, regresión de series de tiempo con rangos, regresión de series de tiempo estacionalizadas con rango, regresión lineal simple con rango y regresión lineal múltiple.

## PRONÓSTICOS EN PEQUEÑAS EMPRESAS Y EN NEGOCIOS QUE INICIAN

Una característica de empresas pequeñas y de negocios que comienzan es que típicamente carecen de todo, desde capitales hasta área de piso y habilidades especializadas. Esto es particularmente cierto en capacidad de pronóstico; no quiere decir que estos negocios no efectúan pronósticos, ya que deben hacerlo, pero no tienen la masa crítica de personal para que participen en pronósticos, suficiente personal con el tiempo para efectuar estudios de pronósticos o, en algunos casos, las capacidades necesarias para desarrollar pronósticos satisfactorios.

La mayoría de los métodos de pronóstico de este capítulo probablemente estarían dentro de sus posibilidades. Casi con seguridad podrían utilizar algunos de estos métodos: consenso de comité ejecutivo, encuesta de la fuerza de ventas, encuesta de clientes, regresión de series de tiempo simples, y métodos de promedios móviles. Pero el pronóstico en estos negocios es difícil por las siguientes razones:

1. Estos negocios no tienen entornos ricos en datos.
2. Quizás no exista un historial de datos suficientemente largo.
3. El pronóstico para productos nuevos siempre es difícil y estas empresas quizás no tengan gran experiencia con productos nuevos o con éxitos y fallas de pronóstico.

Pero no todo está perdido: hay ayuda disponible para éstas y otras empresas con necesidades particulares de pronóstico. Existe gran cantidad de información y de datos disponibles de fuentes fuera de sus empresas. Una fuente de datos de pronóstico pueden ser las oficinas de gobierno en niveles local, regional, estatal y federal. Existe mucha información disponible sobre datos históricos y futuros esperados de las industrias, así como sobre la actividad económica regional prove-

TABLA 3.10

## FUENTES DE DATOS PARA PRONÓSTICOS

- **Ventas de automóviles:** Cada 10 días por los fabricantes nacionales de automóviles.
- **Índice de confianza del consumidor:** Mensualmente por el Conference Board.
- **Índice de precios al consumidor:** Mensualmente por el Labor Department, inflación al detalle.
- **Bienes duraderos:** Mensualmente por el Commerce Department, nuevos pedidos para bienes manufacturados de larga vida.
- **Empleo:** Mensualmente por el Labor Department, tasa de desempleo y número de puestos disponibles.
- **Pedidos de fábricas:** Mensualmente por el Commerce Department, pedidos para bienes duraderos y no duraderos.
- **Producto interno bruto:** Trimestralmente por el Commerce Department, bienes y servicios en Estados Unidos.
- **Índice de la construcción:** Mensualmente por el Commerce Department.
- **Índice de indicadores económicos adelantados:** Mensualmente por el Commerce Department, una canasta de indicadores diseñados para predecir el estado de la economía con seis a nueve meses de adelanto.
- **Producción industrial:** Mensualmente por la Federal Reserve, el volumen de producción de fábricas, minas y servicios públicos estadounidenses.
- **Comercio de mercancías:** Mensualmente por el Commerce Department, volumen de bienes que Estados Unidos vende o compra en el extranjero.
- **Ingresos y consumos personales:** Mensualmente por el Commerce Department, crecimiento en negocios y consumo personal.
- **Índice de precios del productor:** Mensualmente por el Labor Department, inflación a nivel de mayorista.
- **Índice del gerente de compras:** Mensualmente por el National Association of Purchasing Management, poder de la economía manufacturera estadounidense.
- **Ventas al menudeo:** Mensualmente por el Commerce Department, desembolsos de los consumidores.

Fuente: "Which Indicators Are Truly Indicative of Economy's Health?" *Houston Chronicle*, 8 de agosto, 1993, 10E.

niente del U.S. Department of Commerce, el U.S. Department of Labor y del Office of the President. La tabla 3.10 lista algunas fuentes de datos disponibles. A nivel local, muchas cámaras de comercio han desarrollado gran cantidad de datos relacionados con la actividad económica de su área. Tal información y datos pueden proporcionar a las empresas pequeñas y negocios que empiezan, datos de la industria y económicos regionales que pueden combinarse con sus propios datos como bases de pronóstico.

También muchas asociaciones industriales cuentan con una enorme cantidad de información y datos sobre la actividad económica. El National Home Builders Association, la American Manufacturers Association, la American Bar Association, el Conference Board y otras asociaciones no lucrativas disponen de ricos recursos de información y datos para sus miembros. Estas asociaciones son un buen sitio para que los negocios pequeños y los que se están iniciando empiecen a desarrollar información sobre datos para pronósticos.

Otra fuente de ayuda para pronósticos son las empresas de consultoría. Los consultores gerenciales como Booz, Allen & Hamilton y Andersen Consulting pueden realizar estudios de profundidad de productos nuevos y estimar su potencial de ventas. Este tipo de servicios son utilizados de igual manera por negocios pequeños, los negocios que arrancan, y las grandes empresas, particularmente en el caso de productos nuevos, para los cuales las empresas tienen poca o ninguna experiencia. Los consultores de las grandes empresas nacionales de consultoría pueden obtener datos de fuentes no disponibles para el cliente. Por ejemplo, gracias a su red de clientes, estas personas tienen acceso a muchas empresas con productos competidores o similares. Aunque son costosos para los negocios pequeños y que empiezan, los consultores gerenciales proporcionan una fuente de servicios de pronóstico de ventas.



## RECOPIACIÓN

### LO QUE HACEN LOS PRODUCTORES DE CLASE MUNDIAL

En la administración de la producción y de las operaciones los pronósticos consisten en estimar la demanda futura de productos y servicios y los recursos necesarios para su producción. Los pronósticos son parte integral

de la planeación de los negocios; de su precisión depende la supervivencia, el crecimiento y la rentabilidad a largo plazo, así como la eficiencia y efectividad a corto plazo.

Los pronósticos a largo plazo por lo general abarcan un año o más, los pronósticos a mediano plazo varios meses y los pronósticos a corto plazo unas cuantas semanas. Ejemplos de los métodos cualitativos de pronóstico son el consenso de comité ejecutivo, el de Delfos, la encuesta de la fuerza de ventas, la encuesta de los clientes, la analogía histórica y la investigación de mercados. En este capítulo se demuestran los modelos cuantitativos de pronóstico de la regresión lineal y análisis de correlación, la regresión lineal estacionalizada, los promedios móviles, los promedios móviles ponderados, la suavización exponencial y la suavización exponencial con tendencia.

Los productores de clase mundial, grandes o pequeños, están organizados para tener métodos efectivos de pronóstico, porque tienen instalados sistemas excepcionales de planeación de negocios a largo plazo y los pronósticos forman parte integral de estos planes. Los planes de negocio a largo plazo penetran en toda la organización y afectan todas las facetas del negocio. Estos planes se actualizan a menudo, dado que las empresas tienen incorporada tanto la perspectiva de visión a futuro a largo plazo, que genera continuamente oportunidades de negocios, así como las acciones necesarias. Estos planes se desarrollan involucrando una gran variedad de personal de las diferentes funciones de la organización. Es literalmente tarea de todos la preparación de la planeación del negocio a largo plazo y todos se ven afectados por los pronósticos a largo plazo.

Dado que los pronósticos son parte integral de la planeación a largo plazo de los negocios, los productores de clase mundial desarrollan un esfuerzo formal de pronóstico. Los asesores especialistas mantienen software complejo capaz de incorporar grandes cantidades de datos. Estos especialistas también están suscritos a fuentes de pronóstico y de datos fuera de sus empresas, provenientes de mu-

chas fuentes en todo el mundo. Se utilizan los grupos de investigación de sistemas bancarios, los centros de investigación de asociaciones gremiales industriales, la investigación universitaria, las publicaciones de dependencias gubernamentales y otras fuentes. Este esfuerzo se dirige a proporcionar las mejores estimaciones a largo plazo de las ventas de productos y servicios nuevos y existentes en los mercados mundiales, permitiendo de esta manera que los planes de negocio de las empresas incluyan las acciones necesarias para la captura de su participación en el mercado.

Los productores de clase mundial desarrollan métodos para vigilar el desempeño de sus modelos de pronóstico. Debido a que los planes de negocio se actualizan con frecuencia, es vital que reflejen cualquier desviación de importancia de los datos reales en comparación con los pronósticos. Este esfuerzo no sólo da como resultado planes de negocio que reflejen la información más actualizada, sino que permite que los modelos de pronóstico evolucionen, para que resulten con la mayor precisión posible para su tipo particular de aplicaciones.

Aunque los productores de clase mundial pueden estar inclinados hacia el largo plazo, ello no significa que pasen por alto el corto plazo. Lo que realmente tienen es una inclinación hacia la planeación y el control, y esto los lleva a desarrollar también excelentes pronósticos a corto plazo. Esto es particularmente cierto en la producción. El pronóstico efectivo de la capacidad de producción, el tamaño de la fuerza de trabajo, la cantidad de los materiales comprados, los niveles de inventario y de efectivo dan lugar a un estricto manejo del sistema de planeación de la producción. Este sistema asegura la producción oportuna de productos y servicios de la calidad más alta, al costo más bajo, con muy poco inventario y que al mismo tiempo se mantenga sensible a las necesidades de los clientes.

## PREGUNTAS DE REPASO Y ANÁLISIS

1. ¿Qué es hacer un pronóstico?
2. Nombre tres razones fundamentales por las que los gerentes de operaciones deben pronosticar.
3. Nombre y describa tres métodos cualitativos de pronóstico utilizados en los negocios actuales. ¿Qué métodos cualitativos de pronóstico serían apropiados para productos nuevos?
4. Describa la manera en que los pronósticos son una parte integral de la planeación de los negocios.
5. Describa brevemente los pasos en el análisis de regresión lineal.
6. El análisis de regresión lineal se basa en la identificación de variables independientes y en la recolección de datos históricos para dichas variables. Nombre algunas variables independientes para poder pronosticar estas

variables dependientes: a) demanda de servicios hospitalarios, b) estudiantes que se inscriben a escuelas de administración, c) ventas del puesto local de hamburguesas, d) servicios del departamento de policía del condado.

7. Nombre los cuatro componentes o patrones de datos de la demanda a largo plazo en los pronósticos.
8. Explique lo que significa dar rangos a un pronóstico.
9. Defina y describa el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación.
10. ¿Cuáles son los tres tipos de variaciones de la variable dependiente y en el análisis de regresión lineal? ¿Cómo están relacionados estos tres tipos de variación? ¿Cómo se calculan?
11. ¿Qué es el análisis de regresión múltiple? ¿En qué se distingue la regresión múltiple de la regresión lineal simple?



12. ¿Qué es la respuesta de impulso y la amortiguación de ruido? ¿Cómo se relacionan?
13. ¿Qué insumos se requieren en el análisis de regresión lineal? ¿Cuáles son los resultados de este análisis?
14. ¿Cuáles son las ventajas clave de los promedios móviles y de la suavización exponencial? ¿Cuáles son las desventajas?
15. Explique la forma en que el método de los promedios móviles se diferencia del método de promedios móviles ponderados. ¿Cuál del número de periodos promediados  $NP = 3$  o  $NP = 5$  tiene una respuesta de impulso más elevada? Explique.
16. ¿Son los pronósticos de suavización exponencial promedios ponderados? Explique.
17. ¿En qué difiere la suavización exponencial de la suavización exponencial con tendencia? ¿Por qué se conoce la suavización exponencial con tendencia como *suavización exponencial doble*?
18. ¿Qué es  $s_{y,x}$ ? ¿Cómo se calcula? ¿Cuáles son sus usos? ¿Qué es error medio cuadrático? ¿Cómo se calcula?
19. ¿Cuál es la desviación media absoluta? ¿Cómo se calcula? ¿Cuáles son sus usos?
20. Nombre tres razones comunes por las cuales los sistemas de pronóstico fracasan.
21. ¿Qué es la señal de seguimiento? ¿Cómo se calcula? ¿Cómo se utiliza?

## TAREAS EN INTERNET



1. Busque en Internet sitios Web de empresas que produzcan software de pronóstico. Encuentre una empresa que enliste los métodos de pronóstico que aparecen en su software. Imprima esta página Web e indique la dirección del sitio Web donde encontró la información.
2. Busque en Internet un artículo reciente de revista o de algún periódico de importancia que se ocupe de pronósticos. Imprima o resuma este artículo e indique la dirección del sitio Web.
3. Visite el sitio WWW del *Institute of Business Forecasting* ([www.ibforecast.com/](http://www.ibforecast.com/)) y localice la página de Web correspondiente a "Jobs in Forecasting". Haga una lista de empresas y de títulos de puestos. ¿En qué puesto estaría usted más interesado y por qué?

## PROBLEMAS

### Regresión simple

1. RCB manufactura aparatos de televisión en blanco y negro para los mercados del extranjero. Las exportaciones anuales durante los últimos seis años aparecen abajo en miles de unidades. Dada esta declinación a largo plazo de las exportaciones, pronostique el número esperado de unidades a exportar el año entrante.

Año	Exportaciones	Año	Exportaciones
1	33	4	26
2	32	5	27
3	29	6	24

2. Un pequeño hospital está planeando las necesidades de su ala de maternidad. Los datos que aparecen a continuación muestran el número de nacimientos en cada uno de los últimos ocho años.

Año	Nacimientos	Año	Nacimientos
1	565	5	615
2	590	6	611
3	583	7	610
4	597	8	623

- a. Utilice la regresión lineal simple para pronosticar la cantidad anual de nacimientos para cada uno de los tres años siguientes.
- b. Determine el coeficiente de correlación para los datos e interprete su significado.
- c. Encuentre el coeficiente de determinación de los datos e interprete su significado.

Año	Construcción de viviendas (millones)	Ventas anuales de Comfort Zone (millones de dólares)
1	2.1	230
2	1.8	215
3	2.4	270
4	2.8	310
5	3.1	360
6	2.6	370
7	2.4	375

- Desarrolle un análisis de regresión simple entre las ventas de CZC y la construcción de viviendas. Pronostique las ventas de CZC durante los siguientes dos años. El National Home Builders Association estima que la inversión en construcción de viviendas será de 2.6 millones y de 3.0 millones para los dos años siguientes.
  - ¿Qué porcentaje de variación en ventas de CZC queda explicado por la inversión en construcción de viviendas?
  - ¿Recomendaría usted que CZC utilizara el pronóstico del inciso a para planear una expansión de las instalaciones? ¿Por qué? ¿Qué podría hacerse para mejorar el pronóstico?
7. Chasewood Apartments es un complejo habitacional de 300 unidades cerca de Fairway University, y atrae principalmente a estudiantes universitarios. La gerente, Joan Newman, sospecha que la cantidad de unidades arrendadas durante cada semestre está influida por el número de estudiantes que se inscriben en la universidad. Las inscripciones en la universidad y el número de apartamentos alquilados durante los últimos ocho semestres es:

Semestre	Inscripciones a la universidad (miles)	Número de unidades arrendadas
1	7.2	291
2	6.3	228
3	6.7	252
4	7.0	265
5	6.9	270
6	6.4	240
7	7.1	288
8	6.7	246

- Utilice un análisis simple de regresión para desarrollar un modelo para pronosticar el número de apartamentos arrendados con base en las inscripciones a la universidad. Si se espera que la inscripción para el semestre siguiente sea de 6,600 estudiantes, pronostique la cantidad de apartamentos que se alquilarán.
- ¿Qué porcentaje de variación en unidades arrendadas queda explicado por las inscripciones en la universidad?
- ¿Qué tan útil cree usted que sean las inscripciones a la universidad para pronosticar la cantidad de apartamentos arrendados?

#### Promedios móviles

8. La planta de IPC estima la demanda semanal de los muchos materiales que tiene en inventario. Está estudiando uno de estos componentes, el CTR 5922. Las 12 semanas más recientes de demanda para el CTR 5922 son:

Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)	Semana	Demanda (unidades)
1	169	4	171	7	213	10	158
2	227	5	163	8	175	11	188
3	176	6	157	9	178	12	169

Utilice el método de promedios móviles para pronósticos a corto plazo, con un promedio de tres semanas, para desarrollar para la semana 13 un pronóstico de la demanda para el componente CTR 5922.

9. Holiday Lodge es un gran hotel y casino en Lago Tahoe, California. El hotel es relativamente nuevo, de dos años, y el gerente está intentando desarrollar un plan para el personal del departamento de mantenimiento. El gerente del hotel desea utilizar los dos años de datos que aparecen a continuación para pronosticar con un mes de anticipación la cantidad de llamadas para mantenimiento.

Mes	Llamadas por mantenimiento	Mes	Llamadas por mantenimiento	Mes	Llamadas por mantenimiento
1	46	9	9	17	12
2	39	10	13	18	14
3	28	11	18	19	16
4	21	12	15	20	12
5	14	13	12	21	13
6	16	14	6	22	9
7	14	15	19	23	14
8	13	16	9	24	15

- a. Desarrolle pronósticos de promedio móvil para los últimos diez meses (meses 15-24) con número de periodos promediados de 2, 4, 6 y 8 meses.
- b. ¿Qué cantidad de periodos promediados da como resultado el error de pronóstico medio absoluto más bajo? ¿Qué número de periodos promediados recomendaría usted? ¿Por qué?
- c. Utilizando la cantidad de periodos promediados que usted recomienda, pronostique el número de llamadas para mantenimiento para el mes siguiente (mes 25).
10. El gerente del Holiday Lodge del problema 9 se pregunta si los datos del pasado más reciente tienen mayor importancia que los más antiguos. Suponga que la cantidad de llamadas para mantenimiento del mes 25 se pondera en 0.5 y los pesos de los meses anteriores se reducen de manera secuencial por un factor de 0.5 (es decir, 0.5, 0.25, 0.125, etcétera).
- a. Desarrolle los pesos o coeficientes de ponderación a utilizarse en el pronóstico de promedios móviles ponderados.
- b. Utilice los pesos del inciso a para pronosticar la cantidad de llamadas para mantenimiento para el mes 25 de los datos del problema 9 si la cantidad de periodos promediados = 10.
11. La cantidad de auditores fiscales que necesita el Internal Revenue Service de Texas varía de un trimestre a otro. Los últimos 12 trimestres aparecen a continuación:

Año	Trimestre	Auditores
1	1	132
	2	139
	3	136
	4	140
2	1	134
	2	142
	3	140
	4	139
3	1	135
	2	137
	3	139
	4	141

- a. Utilice los promedios móviles para pronosticar la cantidad de auditores que se necesitan durante el trimestre siguiente, si la cantidad de periodos promediados = 2, si el número de periodos promediados = 4 y si la cantidad de periodos promediados = 6.
- b. ¿Cuál de estos pronósticos, con base en la desviación media absoluta, despliega mayor precisión de pronóstico a lo largo de los últimos seis trimestres de datos históricos?



12. Utilizando los datos del problema 2, determine si deberá utilizarse un número de periodos promediados = 1, una cantidad de periodos promediados = 2 o una cantidad de periodos promediados = 4 para desarrollar pronósticos de promedio móvil, de forma que el MAD de los últimos cuatro periodos se reduzca al mínimo. Considerando el patrón de datos del pasado, ¿por qué se esperaría que este valor de la cantidad de periodos promediados nos diera una precisión de pronóstico mayor?



#### Suavización exponencial

13. The Sporting Charge Company adquiere grandes cantidades de cobre que se emplean en sus productos manufacturados. Bill Bray está desarrollando un sistema de pronóstico para los precios del cobre. Ha acumulado estos datos históricos:

Mes	Precio del cobre/ libra	Mes	Precio del cobre/ libra
1	\$0.99	9	\$0.98
2	0.97	10	0.91
3	0.92	11	0.89
4	0.96	12	0.94
5	0.93	13	0.99
6	0.97	14	0.95
7	0.95	15	0.92
8	0.94	16	0.97

- a. Utilice la suavización exponencial para pronosticar los precios mensuales del cobre. Calcule cuáles hubieran sido los pronósticos para todos los meses de datos históricos, con  $\alpha = 0.1$ ,  $\alpha = 0.3$ , y  $\alpha = 0.5$ , si para todas las  $\alpha$  el pronóstico del primer mes fue de 99 centavos de dólar.
- b. ¿Qué valor de alfa ( $\alpha$ ) resulta a lo largo del periodo de 16 meses en una desviación media absoluta más baja?
- c. Utilizando el alfa ( $\alpha$ ) del inciso b, pronostique el precio del cobre para el mes 17.
14. Bill Bray desea comparar dos sistemas para el pronóstico de precios del cobre de los datos del problema 13: promedios móviles (cantidad de periodos promediados = 3) y suavización exponencial ( $\alpha = 0.3$ ).
- a. Calcule los dos conjuntos de pronósticos mensuales a lo largo de los últimos 10 meses (del 7 al 16). El pronóstico de suavización exponencial del mes 6 fue de 54 centavos de dólar.
- b. Trace en una gráfica, para cada uno de los últimos 10 meses, ambos pronósticos en función de los precios reales del cobre. ¿A qué conclusiones puede usted llegar en relación con la gráfica?
- c. Seleccione el mejor sistema y pronostique los precios del cobre para el mes siguiente.
15. En el problema 8, si se utiliza una constante de suavización de 0.25 y el pronóstico de suavización exponencial de la semana 11 fue de 170.76 unidades, ¿cuál es el pronóstico de suavización exponencial correspondiente a la semana 13?
16. En los problemas 8 y 15, ¿cuál sería el método de pronóstico preferido: el método de promedios móviles con cantidad de periodos promediados = 3, o el método de suavización exponencial, con  $\alpha = 0.25$ ? El criterio para elegir entre los métodos es la desviación media absoluta a lo largo de las nueve semanas más recientes. Suponga que el pronóstico de suavización exponencial para la semana 3 es la misma que la demanda real.
17. Utilizando los datos del problema 2, determine si para desarrollar pronósticos de suavización exponencial debería utilizarse una constante de suavización  $\alpha = 0.1$ ,  $\alpha = 0.5$ , o  $\alpha = 0.9$ , de forma que MAD quede minimizado a lo largo de ocho periodos. Suponga que el pronóstico del primer periodo es de 565. ¿Por qué se habría previsto que este valor de  $\alpha$  tendría la mejor precisión de pronóstico?



18. Utilice los datos del problema 2 para desarrollar un pronóstico para el año 9, utilizando el modelo de suavización exponencial con tendencia. Inicie su análisis en el año 4:  $FT_4 = 497$ ,  $T_4 = 7$ ,  $\alpha = 0.4$ , y  $\beta = 0.3$ .
19. Utilice los datos del problema 3 para desarrollar un pronóstico para el año 7 utilizando el modelo de suavización exponencial con tendencia. Inicie su análisis en el año 1 y suponga que  $\alpha = 0.3$  y  $\beta = 0.2$ . Estime  $FT_1$  y  $T_1$ , como en el ejemplo 3.7.

### Regresión múltiple

20. General Computer Services (GCS) suministra en la región de Seattle, Washington, servicios de cómputo a pequeños fabricantes, bajo pedido. Los trabajos generalmente incluyen procesamientos rutinarios de datos y de cómputo para aumentar el aprovechamiento de las computadoras en las instalaciones de los clientes. Un analista de producción de GCS ha desarrollado una ecuación de regresión lineal que estima el número de horas de facturación de una orden de servicio:

$$Y = 19.0 + 0.075X_1 + 5.95X_2 + 25.50X_3$$

donde:

- $Y$  = cantidad de horas de facturación por orden de servicio  
 $X_1$  = cantidad de órdenes en el pasado del cliente durante los últimos cinco años  
 $X_2$  = número de la semana en el mes cuando se recibió la orden (1, 2, 3 y 4)  
 $X_3$  = inverso del número de empleados de servicio de computación en las instalaciones del cliente  
 $R^2 = 0.89$

- a. Estime la cantidad de horas de facturación requeridos en la siguiente orden, donde  $X_1 = 150$ ,  $X_2 = 2$ , y  $X_3 = 5$ .
- b. ¿Cuál es el significado de  $R^2 = 0.89$ ?
21. Omega Engineering de Omaha, Nebraska, modifica todos los trimestres el tamaño de su personal de ingeniería en función de la demanda. En el pasado, la cantidad de ingenieros que se necesitaba había estado relacionado con el número de licencias de construcción comerciales emitidas por la ciudad, la cantidad de empresas de manufactura en el área y el producto interno bruto norteamericano. Omega ha desarrollado este modelo de pronóstico de regresión múltiple para la cantidad de ingenieros que necesita cada trimestre:

$$Y = -96.651 + 0.228X_1 + 0.094X_2 + 13.077X_3$$

donde:

- $Y$  = cantidad de ingenieros que se necesita el siguiente trimestre  
 $X_1$  = número de licencias de construcción comerciales emitidas el último trimestre  
 $X_2$  = número de empresas de manufactura en el área  
 $X_3$  = producto interno bruto estadounidense trimestral más reciente (millones de millones de dólares)

Ahora es el momento en que Omega tiene que planear sus necesidades de personal del siguiente trimestre. Los registros de la ciudad muestran que en el último trimestre se emitieron 81 licencias de construcción comerciales y en el área actualmente están ubicadas 212 empresas de manufactura. El producto interno bruto de Estados Unidos trimestral más reciente fue de seis billones 270 mil millones de dólares.

- a. Utilice el modelo de pronóstico de regresión múltiple para desarrollar un pronóstico para la cantidad de ingenieros que se necesita el siguiente trimestre.
- b. Explique los supuestos implícitos en su pronóstico.
22. La Burling Company ha observado que sus ventas mensuales parecen estar relacionadas con el número de vendedores que contrata, con la cantidad gastada por publicidad y con el precio de su producto. Ha desarrollado un modelo de pronóstico de ventas de regresión múltiple:

$$Y = 12,348 + 657X_1 + 0.469X_2 - 240X_3$$

donde:

- Y = cantidad de unidades vendidas en un mes
- $X_1$  = cantidad de vendedores contratados
- $X_2$  = monto en dólares desembolsado en publicidad en un mes
- $X_3$  = precio cargado por una unidad de producto

El gerente de ventas de Burling desea un pronóstico de ventas para el mes siguiente, si se utilizan 17 vendedores, se desembolsan 21 mil dólares en publicidad y el precio se fija en 31.99 dólares.

- a. Utilice el modelo de pronóstico de regresión múltiple para desarrollar un pronóstico para el número de unidades del producto que se venderán el mes siguiente.
- b. Explique los supuestos implícitos en su pronóstico.

#### Establecimiento de rangos en el pronóstico

23. De los datos del problema 2:
  - a. Calcule el error estándar del pronóstico.
  - b. Determine los límites de confianza superior e inferior que se pueden estimar para el pronóstico del año 11 si se utiliza un nivel de significancia de 0.01.
24. De los datos del problema 3, ¿cuál es el rango del pronóstico para el año siguiente, si se utiliza un intervalo de confianza de 95%?
25. De los datos del problema 5:
  - a. Si usted todavía no lo ha hecho, calcule el pronóstico de los ingresos por ventas de IPC para el año que viene.
  - b. ¿Cuál es el rango del modelo de pronóstico de ingresos de ventas de IPC para el año que viene si se utiliza un nivel de significancia de 0.01% (un intervalo de confianza de 99%)?
26. De los datos del problema 7:
  - a. Calcule el pronóstico de las unidades de apartamentos arrendadas el siguiente semestre, si se espera que las inscripciones a la universidad sean de 6,600 estudiantes.
  - b. Determine el rango del pronóstico para las unidades de apartamento arrendadas del siguiente semestre si se utiliza un nivel de significancia de 10% (intervalo de confianza de 90%).
  - c. Determine la probabilidad de que el número real de unidades de apartamentos arrendados durante el siguiente semestre quede dentro de 10 unidades de su pronóstico. ¿Cuál es la probabilidad en un rango de cinco unidades?

#### Pronósticos estacionalizados

27. Un fabricante de computadoras desea desarrollar los pronósticos trimestrales de los ingresos por ventas del año siguiente de su línea de computadoras personales. La empresa cree que los ocho trimestres más recientes de ventas deben ser representativos de las ventas del próximo año:

Año	Trimestre	Ventas (millones de dólares)	Año	Trimestre	Ventas (millones de dólares)
1	1	9.2	2	1	10.3
1	2	5.4	2	2	6.4
1	3	4.3	2	3	5.4
1	4	14.1	2	4	16.0

Utilice el análisis de regresión de series de tiempo estacionalizadas para desarrollar un pronóstico de los ingresos por ventas del año que viene para la línea de computadoras personales.



28. Un distribuidor de tractores ha estado operando durante tres años y medio y necesita estimar las ventas del año que viene. Las ventas de los años pasados han tendido a ser estacionales, como se observa a continuación:

Año	Ventas trimestrales (número de productos)			
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
1				32
2	49	72	114	41
3	55	88	135	44
4	60	93	149	49
5	63			

- Desarrolle pronósticos para los siguientes cuatro trimestres.
  - Desarrolle un intervalo de confianza de 90% para cada uno de sus pronósticos.
29. Servco, una gran empresa de servicios de almacén en el Chicago suburbano, almacena productos farmacéuticos para sus clientes, mientras éstos están en tránsito hacia los detallistas locales. En su instalación actual Servco puede almacenar un máximo de 325 mil cajas de productos. Dado que el volumen de su negocio está creciendo, la administración de la empresa se pregunta si deberían adquirir otros almacenes. Un analista ha acumulado estos datos de demanda:

Año	Trimestre	Inventario	Año	Trimestre	Inventario	Año	Trimestre	Inventario
		(miles de cajas)			(miles de cajas)			(miles de cajas)
1	1	205	2	1	220	3	1	240
1	2	180	2	2	190	3	2	210
1	3	210	2	3	230	3	3	265
1	4	230	2	4	250	3	4	280

- Utilice el análisis de serie de tiempo estacionalizada para pronosticar los niveles de inventario para cada uno de los cuatro trimestres del año que viene.
  - Encuentre los límites superior e inferior de la capacidad de los inventarios con un intervalo de confianza de 95%.
  - ¿Deberá Servco adquirir más capacidad de almacén?
30. De los datos del problema 11:
- Utilice promedios móviles para pronosticar la cantidad de auditores necesarios en el primer trimestre del año que viene si número de periodos promediados = 4 y cantidad de periodos promediados = 8.
  - ¿Reflejan estos pronósticos un patrón estacional? ¿Por qué?
  - Desarrolle índices estacionales trimestrales de los datos originales. Aplique el índice estacional apropiado a sus pronósticos del inciso a.

## CASOS

### SAN DIEGO RETAILERS



El presidente y director general de San Diego Retailers está estudiando la información de ventas más reciente de la empresa. Ha llamado a una reunión a todos los vendedores de la región, que ocurrirá dentro de una semana, y está intentando estimar los niveles de ventas que deberían esperarse de su empresa a lo largo de los siguientes tres meses. Es necesario que tenga esta información, de forma que se puedan establecer cuotas de ventas individuales para cada uno de los vendedores. Su personal ha acumulado estos datos de ventas históricos:

Año 1	Ventas (millones de dólares)	Año 2	Ventas (millones de dólares)	Año 3	Ventas (millones de dólares)
Enero	4.1	Enero	4.6	Enero	4.7
Febrero	5.1	Febrero	5.4	Febrero	5.6
Marzo	3.5	Marzo	3.6	Marzo	4.1
Abril	2.4	Abril	3.1	Abril	2.8
Mayo	4.2	Mayo	4.3	Mayo	4.6
Junio	8.3	Junio	8.8	Junio	9.1
Julio	9.6	Julio	10.5	Julio	11.9
Agosto	10.1	Agosto	12.2	Agosto	13.1
Septiembre	8.0	Septiembre	8.5	Septiembre	9.0
Octubre	5.4	Octubre	5.6	Octubre	6.1
Noviembre	3.2	Noviembre	3.8	Noviembre	4.1
Diciembre	4.2	Diciembre	3.9	Diciembre	4.4

Estos patrones y tendencias de ventas se espera continúen.

### Tarea

1. Trace los datos de ventas sobre una gráfica y examínelos.
2. De su gráfica de la tarea 1, ¿qué patrones están presentes? ¿Qué modelos de pronóstico serían apropiados, partiendo de estos datos, para efectuar pronósticos a corto plazo?
3. Utilice el *POM Computer Library*, y determine, si se aplicara a estos datos el modelo de suavización exponencial con tendencia, ¿qué valores de alfa y beta dan como resultado el valor más bajo de desviación media absoluta de estos datos a lo largo de los últimos doce meses.
4. Utilice *POM Computer Library* y el análisis de regresión de series de tiempo estacionalizadas para desarrollar un pronóstico para las ventas de los siguientes tres meses. ¿Cuánto confía usted en estos pronósticos? Desarrolle un enunciado estadístico sobre el pronóstico del siguiente mes (año 4, enero) que refleje su nivel de confianza si usa un intervalo de confianza de 95%.
5. En base a lo que usted encuentre en las tareas 3 y 4, ¿recomendaría usted que la empresa utilizara la suavización exponencial con tendencia, o el análisis de la regresión de series de tiempo estacionalizadas? En este caso ¿cuáles serían los pros y los contras de cada uno de estos métodos?

## CHASEWOOD APARTMENTS



En el problema 7, Joan Newman acaba de terminar un análisis de regresión simple de la relación entre inscripciones a la universidad y número de apartamentos arrendados. Newman sospecha que la cantidad de unidades arrendadas también pudiera quedar afectado por el precio promedio de renta de los apartamentos. Ella ha recolectado la información siguiente:

Semestre	Inscripciones a la universidad (mlles)	Precio promedio del arrendamiento (dólares)	Número de unidades arrendadas
1	7.2	450	291
2	6.3	460	228
3	6.7	450	252
4	7.0	470	265
5	6.9	440	270
6	6.4	430	240
7	7.1	460	288
8	6.7	440	246

### Tarea

Utilice el *POM Computer Library*, para que le auxilie a responder estas preguntas:

1. Si no lo ha hecho en el problema 7, efectúe un análisis de regresión simple para pronosticar el número de apartamentos arrendados, con base únicamente en inscripciones en la universidad. ¿Cuál es su pronóstico, si se espera que las inscripciones sean de 6,600 estudiantes? ¿Qué porcentaje de variación en el número de unidades arrendadas queda explicado por inscripciones en la universidad? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
2. Realice un análisis de regresión simple para pronosticar el número de apartamentos arrendados con base únicamente en el precio promedio de arrendamiento. ¿Cuál es su pronóstico, si el precio promedio de arrendamiento es de 455 dólares? ¿Qué porcentaje de variación en la cantidad de unidades arrendadas queda explicado por el precio promedio de arrendamiento? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
3. Efectúe un análisis de regresión múltiple para pronosticar el número de apartamentos arrendados, con base tanto en inscripciones a la universidad como en el precio promedio de arrendamiento. ¿Cuál es su pronóstico, si las inscripciones a la universidad se espera sean de 6,500 estudiantes y el precio promedio de arrendamiento de 465 dólares? ¿Qué porcentaje de la variación en el número de unidades arrendadas queda explicado por este modelo? Evalúe las bondades de este modelo de pronóstico.
4. ¿Cuál de los modelos de pronóstico arriba citados le recomendaría usted a Joan Newman? ¿Por qué?
5. Con base en su modelo de regresión múltiple y su pronóstico de la tarea 3, ¿cuál sería el impacto financiero neto, si el precio del arrendamiento del apartamento se incrementara en seis dólares? ¿Cuál es su recomendación para el establecimiento del precio del arrendamiento de los departamentos?

## SUNDANCE CHEMICAL COMPANY



Tyler Jones acaba de ser contratado como nuevo gerente de producción en Sundance Chemical Company (SCC). Cree que su primera acción debería ser desarrollar sus propios pronósticos de ventas para el producto químico más importante de la empresa. Jones solicitó a su asistente que recolectara datos de las ventas trimestrales correspondientes a los últimos 10 años, según se muestra a continuación:

Año	Ventas trimestrales (miles de galones)			
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
1	594	570	560	565
2	540	531	515	498
3	485	479	463	456
4	319	324	336	340
5	348	355	354	367
6	375	379	385	396
7	404	416	422	430
8	436	439	450	459
9	470	475	485	489
10	505	513	516	518

El presidente de SCC ha quedado descontento en años recientes por la poca precisión en los pronósticos del gerente de producción anterior. A fin de dar una buena impresión a la gerencia superior, Tyler Jones tiene la intención de llevar a cabo un análisis total de los pronósticos a fin de pronosticar las ventas de los siguientes cuatro trimestres.

### Tarea

Utilice el *POM Computer Library*, para ayudarse en su respuesta a estas preguntas:

1. Grafique los datos. ¿Qué tipo de patrones se observan?
2. Decida cuánto de los datos del pasado se deberá utilizar para desarrollar un modelo de pronóstico. Dé una explicación que justifique su decisión.
3. ¿Qué métodos de pronóstico del capítulo serían los más apropiados para evaluación? ¿Por qué?

4. Utilizando sólo los datos que usted decida del inciso 2, decida si deberían utilizarse la regresión de serie de tiempo o la suavización exponencial con tendencia ( $\alpha = 0.4$ ,  $\beta = 0.4$ , pronóstico inicial = 319, tendencia inicial = 7), con base en un MAD calculado a lo largo de los últimos cuatro años.
5. Utilizando el método de pronóstico que usted haya recomendado en la tarea 4, pronostique las ventas del siguiente trimestre.

## XYZ INC.



María Cortés es analista de inversiones para un negocio de planeación financiera en Santa Rosa, California. Se le ha pedido que seleccione un modelo de pronóstico para predecir el precio de cierre del día siguiente de las acciones comunes de XYZ Inc. Cortés ha obtenido los precios de cierre de las acciones de los últimos 40 días, que aparecen a continuación:

Día	Precio	Día	Precio	Día	Precio	Día	Precio
1	43.50	11	41.25	21	44.50	31	45.00
2	42.75	12	42.00	22	44.50	32	44.00
3	42.75	13	42.00	23	43.75	33	43.75
4	42.00	14	42.75	24	44.75	34	44.00
5	42.25	15	43.00	25	45.25	35	43.25
6	42.50	16	43.50	26	45.25	36	43.75
7	41.50	17	42.75	27	45.00	37	43.00
8	41.25	18	43.00	28	45.50	38	42.00
9	41.75	19	44.25	29	45.75	39	42.25
10	41.25	20	44.00	30	44.75	40	41.75

### Tarea

Utilice el *POM Computer Library* o software de hoja de cálculo, como Excel, para ayudarse con el análisis de pronóstico.

1. Trace los datos en una gráfica.
2. Pronostique los días 4 hasta el 40 utilizando estos procedimientos de pronóstico:
  - a. Promedio móvil con número de periodos promediados = 1
  - b. Promedio móvil con número de periodos promediados = 3
  - c. Suavización exponencial con  $\alpha = 0.4$  ( $F_1 = 43.00$ )
  - d. Suavización exponencial con  $\alpha = 0.8$  ( $F_1 = 43.00$ )
3. Utilice valores MAD basados en los días 4 a 40 para decidir cuál de los modelos de pronóstico elegir. Pronostique el día 41 utilizando este procedimiento.
4. Explique por qué se pudieran esperar métodos de pronóstico con una respuesta de impulso más elevada que sean más precisos que los métodos con una respuesta de impulso inferior para el pronóstico de los precios de acciones de un día al siguiente.

## NOTAS FINALES

1. Georgoff, David M., and Robert G. Murdick. "Manager's Guide to Forecasting." *Harvard Business Review* 64 (enero-febrero 1986): 110-111.
2. "Compaq Expects to Be No. 1." *Dallas Morning News*, 1 de diciembre, 1994, 30A.
3. "Compaq's Slice of PC Pie Expands." *Houston Chronicle*, 27 de octubre, 1997, 7D.
4. "Compaq Beat Toshiba for September Sales of Notebook PCs." *Wall Street Journal*, 3 de noviembre, 1997, B6.
5. Georgoff and Murdick, "Manager's Guide to Forecasting," 112-119.
6. Grove, Andrew S. *High Output Management*, pp. 22-23. New York: Random House, 1983.

---

**BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA**

- Bowerman, Bruce L., y Richard T. O'Connell. *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, tercera edición. Belmont, CA: Duxbury Press, 1993.
- Box, George E. P., Gwilym M. Jenkins, y Gregory C. Reinsel. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
- Brown, Robert G. *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1963.
- Chambers, J. C., et al. "How to Choose the Right Forecasting Technique." *Harvard Business Review* 49, no. 4 (julio-agosto 1971): 45-74.
- Fisher, Marshall L., Janice H. Hammond, Walter R. Obermeyer, y Ananth Raman. "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World." *Harvard Business Review* 72, no. 3 (mayo-junio 1994): 83-89.
- Galbraith, Craig S., y Gregory B. Merrill. "Politics of Forecasting: Managing the Truth." *California Management Review* 38, no. 2 (1996): 29-43.
- Gardner, Everette S. "Exponential Smoothing: The State of the Art." *Journal of Forecasting* 4 (marzo 1984): 1-28.
- Georgoff, David M., y Robert G. Murdick. "Manager's Guide to Forecasting." *Harvard Business Review* 64 (enero-febrero 1986): 110-123.
- Jain, Chaman L., ed. *A Managerial Guide to Judgmental Forecasting*. Flushing, NY: Graceway Publishing Co., 1987.
- Kwong, Kwok Keung, Cheng Li, Vladimir Simunek, y Chaman L. Jain. *Bibliography on Forecasting and Planning*. Flushing, NY: Graceway Publishing Co., 1995.
- Makridakis, Spyros G. "Accuracy Measures; Theoretical and Practical Concerns." *International Journal of Forecasting* 9, no. 4 (1993): 527-529.
- Makridakis, Spyros G. *Forecasting, Planning, and Strategy for the 21st Century*. Nueva York: The Free Press, 1990.
- Makridakis, Spyros. "The Art and Science of Forecasting." *International Journal of Forecasting* 2 (1986): 15-39.
- Makridakis, Spyros G., Steven C. Wheelwright, and Rob J. Hyndman. *Forecasting: Methods and Applications*, tercera edición. Nueva York: Wiley, 1998.
- Sanders, Nada R. "Measuring Forecast Accuracy: Some Practical Suggestions." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 1 (1997): 43-46.
- Sanders, Nada R. "The Status of Forecasting in Manufacturing Firms." *Production and Inventory Management Journal* 38, no. 2 (1997): 32-36.
- Smith, Bernard T. *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control*. Essex Junction, VT: O. Wight Limited Publications, 1984.