

CALIFICACIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO DE TORRES (SEGUNDA PARTE)

Fecha de recepción: 14-07-2009, aprobación: 17-09-2009

MILLER JIMMY ALARCÓN

RESUMEN

Este documento evalúa la precisión de algunos métodos de pronóstico (suavizado por medias móviles, suavizado exponencial simple, suavizado lineal de Holt, suavizado estacional de Winters, suavizado exponencial de Brown y el de suavizado exponencial de Torres) basados en la suavización exponencial y muestra el comportamiento de cada uno de ellos frente a diferentes series de datos históricos.

El método que nos interesa evaluar es el de Torres, para determinar su comportamiento frente otros métodos de suavización exponencial. Se hicieron varias pruebas (usando diferentes series de datos históricos), con el propósito de determinar las bondades o debilidades que este método de pronóstico tiene frente a los demás basados en la suavización exponencial. La prueba es muy sencilla: se toman datos reales y se reservan algunos como datos de prueba. Posteriormente, se comparan con los pronósticos aportados por cada uno de los métodos y de allí se hace una escala para ver cuáles se acercaron más a los datos reales.

ABSTRACT

This document evaluates the accuracy of some forecasting methods (Smoothing by moving measures, Simple exponential smoothing, Holt's linear smoothing, smoothing and Winters' seasonal exponential smoothing,

Brown's exponential smoothing and Torres' exponential smoothing), based on exponential smoothing shows the behavior of each of the methods evaluated on different sets of historical data.

The method that interests us to evaluate is Torres method, to determine its behavior in other exponential smoothing methods. What was done was to perform several tests (using different sets of historical data), determine the merits or weaknesses of the Torres method against other forecasting methods based on exponential smoothing. The test is simple, real data is taken and some is reserved as proof data, then it is compared with forecasts pooled by each of the methods, from there, a scale is made to see which came closest to the real data.

PALABRAS CLAVE

Método de Torres, pronóstico, series de tiempo, método Delphi, método Winters, método Brown, tendencia, ciclicidad, estacionalidad, MSE (mínimo error al cuadrado).

KEYWORDS

Forecast, Time Series, Exponential Smoothing, Delphi Method, Trend, Cyclicity, Seasonal Variation, Winter's Method, Brown's Method, Smoothing Coefficient, Minimum Square Error (MSE).

INTRODUCCIÓN

A partir de la investigación desarrollada para evaluar el método de Torres se propuso intensificar más el trabajo de medición y se creyó prudente calificar el desempeño de este método de pronóstico. A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta segunda parte de trabajo investigativo.

En este documento se compara el método de Torres (Alarcón, 2005), frente a otros métodos de pronóstico que poseen la misma estructura¹ es decir, están basados en series de tiempo que emplean la suavización exponencial para su predicción. La prueba consistente en medir la precisión servirá para ver qué tan bueno es este método, de acuerdo con los resultados del pronóstico y midiendo los errores de éste con datos reales reservados para tal fin. De este modo, al confrontarlo con métodos de pronóstico más divulgados se tendrá un ordenamiento que sirva de guía al usuario del método de Torres.

Los resultados de la prueba son meramente informativos. No pretenden imponer uno u otro método, pues para la selección del método de pronóstico hay que tener presente aspectos relacionados con la naturaleza de los datos históricos y las condiciones características de la serie datos, entre otros factores. Por ejemplo, para series que presentan una tendencia clara, se recomienda²

usar métodos como el de Holt o el lineal de Winters. Si la serie presenta estacionalidad clara, se recomienda usar el método estacional de Winters o el método de Brown. Lo que se debe hacer siempre, antes de decidir cuál método de pronóstico usar, es analizar detenidamente la serie para determinar el tipo de comportamiento que tiene, luego hacer una revisión de los diferentes métodos, ver la manera como se ajustan a la serie, revisar los MSE (mínimo error al cuadrado, por sus siglas en inglés) de cada una de los métodos y luego aplicarlo.

MÉTODOS SELECCIONADOS PARA LA PRUEBA

Existen diferentes métodos de pronóstico conocidos con el nombre de métodos cuantitativos. Como el método de Torres se puede agrupar en esta clasificación, lo enfrentaremos a algunos de los que se encuentran en ella.

Los métodos de media móvil y el de suavización exponencial trabajan con variaciones. En el caso del método de Media móvil, se debe elegir el n (tamaño del subgrupo que se va promediar). En el caso de suavización exponencial se debe elegir el α con el cual se quieren hacer los cálculos. Por esta razón se planteó como solución (para ser imparcial y minimizar el error que puedan generar los métodos de pronóstico), trabajar el método de Media móvil con tres diferentes tamaños de subgrupo = 12, $n=6$ 3 el método de suavización exponencial con tres diferentes valores de α : α 0.3, α 0.5 y α 0.7.

Para garantizar el mejor desempeño de los métodos de pronóstico se usará en el caso de los métodos de Holt, Brown y Winters, los índices alfa, beta y delta que mejor se ajusten a la serie de datos históricos. Para este propósito se hará uso del

Los métodos de media móvil y el de suavización exponencial trabajan con variaciones. En el caso del método de Media móvil, se debe elegir el n (tamaño del subgrupo que se va promediar). En el caso de suavización exponencial se debe elegir el α con el cual se quieren hacer los cálculos.

RESEÑA DE AUTORES

Miller Jimmy Alarcón

(Politécnico Grancolombiano)
(malarcon@poligran.edu.co)

El autor de este artículo es Ingeniero Industrial y especialista en Ingeniería de Producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Actualmente se desempeña como director del Departamento Académico de Ingeniería Industrial del Politécnico Grancolombiano y es catedrático de pregrado y posgrado en la Universidad del Rosario y en la Universidad Externado de Colombia.

aplicativo computacional SPSS^{®3} que automáticamente determina el mejor valor para cada uno de los índices en cada caso.

Para cada una de las pruebas se usarán los siguientes métodos de pronóstico:

- I. Media móvil con $N = 12$
- II. Media móvil con $N = 6$
- III. Media móvil con $N = 3$
- IV. Suavización exponencial simple con $\alpha 0.3$
- V. Suavización exponencial simple con $\alpha 0.5$
- VI. Suavización exponencial simple con $\alpha 0.7$
- VII. Método de suavizado lineal de Holt
- VIII. Método de suavizado exponencial de Brown
- IX. Método de suavizado estacional de Winters
- X. Método de Torres⁴ (mejorado con la variación del mayor R^2)

Cabe anotar que los métodos de suavización exponencial simple y Media móvil sirven para pronosticar un solo período, por lo cual es necesario usar los datos pronosticados como si fueran datos históricos, para seguir pronosticando más de un período. En otras palabras, se usarán estos métodos de una forma diferente a la que se conoce en los textos de pronóstico (Makridakis, 1978). Los demás métodos, Torres, Holt, Brown y Winters no tienen esta restricción, porque sirven para pronosticar más de un período.

Descripción de la prueba

El método de prueba usado es bastante simple: se tomó una colección de datos históricos de demanda. A través de los diferentes métodos de pronóstico se trató de ver el comportamiento del método de Torres para lo cual no se usaron todos los datos como históricos sino, que se reservó el último grupo de datos para comparar la dispersión de cada

uno de los métodos. Luego se midió el error al restar el dato pronosticado del dato real. Posteriormente se elevó al cuadrado para eliminar la incidencia de resultados negativos y finalmente se sumaron todos los errores elevados al cuadrado. El menor resultado indicó el mejor de los métodos. Adicionalmente, se ordenaron de menor a mayor los valores de los errores al cuadrado para crear el ranking de los métodos. A continuación se pueden ver los pasos de la prueba que corresponden a la técnica del MSE:

- I. Recopilar los datos de la serie
- II. Reservar datos reales para probar la eficiencia de los métodos
- III. Generar el pronóstico con cada uno de los métodos
- IV. Medir la dispersión de los pronósticos con respecto de los datos reales
- V. Elevar al cuadrado los errores
- VI. Sumar los errores al cuadrado de cada método de pronóstico
- VII. Ordenar de menor a mayor para generar el ranking

BREVE DESCRIPCIÓN DE CADA UNO DE LOS MÉTODOS

MEDIA MÓVIL

El método de Media móvil consiste en determinar los promedios de los datos históricos a partir del N (tamaño del subgrupo) escogido. Por ejemplo, si se elige un $N = 3$, en una serie de datos reales se pierden los tres primeros datos. Para el cuarto período se toma como pronóstico calculado el promedio de los tres anteriores. Para el quinto período, el dato pronosticado es igual al promedio de los datos históricos de los períodos dos al cuarto y así sucesivamente, hasta terminar con los datos históricos para poder determinar el período $t+1$.

Este método:

(...) combina los datos de demanda de la mayor parte de los períodos recién-

tes, siendo su promedio el pronóstico para el período siguiente. El promedio se “mueve” en el tiempo, en el sentido de que, al transcurrir un período, la demanda del período más antiguo se descarta y se agrega, en su reemplazo, la demanda para el período más reciente, superando así la principal limitación del modelo del promedio simple (Paredes, 2001, p. 10).

El método de Media móvil sirve para pronosticar un solo dato, el del período t+1. A pesar de la limitación anterior, usaremos el método de Media móvil introduciendo valores pronosticados para calcular los datos requeridos para la prueba. A continuación se puede ver el modelo del método de pronóstico:

$$\text{MM (Media móvil)} = \frac{\sum D_t}{n}$$

SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE

Paredes menciona que:

(...) la APICS⁵ ha recomendado el uso de esta técnica para sus asociados. Se distingue porque da pesos de manera exponencial a cada una de las demandas anteriores de calcular el promedio. La demanda de los períodos más recientes recibe un peso mayor; los pesos de los períodos sucesivamente anteriores decaen de una manera no lineal sino exponencial (Paredes, 2001 p.).

El cálculo correspondiente al método de suavización exponencial requiere de dos componentes: el primero es la demanda real del período más reciente. El segundo es el pronóstico más reciente obtenido por este mismo método, es decir el dato pronosticado. Por esta razón, el primer dato se pierde, sólo pronostica del período dos en adelante. Tal como sucede en el caso del método de Media móvil, sirve para pronosticar un solo dato. Pese a esta limitación del método, lo usaremos introduciendo valores pronosticados para calcular los datos requeridos para la prueba.

A continuación se puede ver el modelo del método de pronóstico:

Pronóstico de la demanda del período t + 1 = $\alpha \left(\begin{matrix} \text{Demanda} \\ \text{más reciente} \end{matrix} \right) + (1 - \alpha) \times \left(\begin{matrix} \text{Pronóstico} \\ \text{más reciente} \end{matrix} \right)$

es decir:

$$F_t = (\alpha \times D_{t-1}) + (1 - \alpha) \times S_{t-1}$$

En donde:

- F_t = Pronóstico del período t
- α = Coeficiente de suavización
- S_{t-1} = Dato ajustado o calculado del período t-1
- D_{t-1} = Demanda tomada como base para el pronóstico

MÉTODO DE SUAVIZADO LINEAL DE HOLT

El método de Holt (Makridakis, 1999), tiene como base la formulación del método de suavización exponencial, pero la ventaja significativa es que permite producir

el número de datos pronosticados que se desee, no sólo el siguiente dato t+1.

A continuación se puede ver el modelo del método de pronóstico (Pérez, 2005, p. 258)

$$S_t = (\alpha \times Y_t) + [(1 - \alpha) \times (S_{t-1})]$$

$$b_t = \beta \times (S_t - S_{t-1}) + [(1 - \beta) \times b_{t-1}]$$

$$F_{t+m} = S_t + (m \times b_t)$$

En donde:

- S_t = Suavizamiento al finalizar el periodo t
- b_t = Ajuste de tendencia al finalizar el periodo t
- α = Constante de alisamiento
- β = Constante de ajuste de tendencia
- m = Varía desde 1 hasta m, y determina el número de pronósticos que se deseen
- F_{t+m} = Pronostico en el periodo t+m

MÉTODO DE SUAVIZADO EXPONENCIAL DE BROWN

El método de suavización exponencial de Brown (Pindyck, 2001) produce una serie de datos suavizada a partir de una serie de datos históricos, ya que la nueva serie está constituida por promedios de valores de la serie original. Como en el caso de la suavización exponencial simple es muy importante fijar de manera de correcta el parámetro *alpha*, entre 0 y 1. Pérez menciona una regla práctica:

(...) si los datos presentan fuertes fluctuaciones o gran aleatoriedad se deben usar valores de *alpha* cercanos a 0; es decir, que si el parámetro de suavización *alpha* está próximo a cero, el valor inicial de la serie influirá durante muchos períodos de tiempo. Por el contrario, con valores de *alpha* próximos a uno, desaparecerá rápidamente la influencia del valor histórico (Pérez, 2005, p.).

A continuación se presenta la formulación del método de Brown:

$$S'_t = (\alpha \times X_t) + [(1 - \alpha) \times S'_{t-1}]$$

$$S''_t = (\alpha \times S'_t) + [(1 - \alpha) \times S''_{t-1}]$$

$$a_t = S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S'_t - S''_t)$$

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

Donde:

- S'_t = Valor del Suavizamiento exponencial simple al finalizar el periodo t
- S''_t = Valor del suavizamiento exponencial doble al finalizar el período t
- a_t = Ajuste de la serie al finalizar el período t
- b_t = Ajuste de tendencia al finalizar el periodo t
- α = Constante de alisamiento
- β = Constante de ajuste de tendencia
- m = Varía desde 1 hasta m, y determina el número de pronósticos que se deseen
- F_{t+m} = Pronostico en el periodo t+m

MÉTODO DE SUAVIZADO EXPONENCIAL ESTACIONAL DE WINTERS (PÉREZ, 2005)

(Pérez, 2005), aclara que el de Winters es un método de pronóstico que generalizó el método de Holt, para tratar con datos que presenten variaciones estacionales. Al respecto (Makridakis, 1978), menciona que el método de Winters es muy similar al método de Holt, pero a diferencia de éste incluye tres constantes de suavizamiento con valores entre 0 y 1, una ecuación adicional para trabajar con estacionalidad.

El método de Winters requiere conocer el valor de tres parámetros: *alpha*, beta y gamma. El primero está relacionado con

el componente de aleatoriedad, el segundo con el componente de tendencia de la serie de datos históricos y el tercero con el factor de estacionalidad de la serie. (Makridakis, 1978), aclara que la única manera de conocer el valor de estos tres parámetros es determinado estos valores con ensayo y error, hasta minimizar el MSE. En este documento se harán pruebas en las que, ayudados por programas de computador como SPSS® versión 13.0 y Statgraphics versión 5.1, se determinará automáticamente el valor de estos tres parámetros.

A continuación se puede ver la formulación del método de Winters:

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$$

$$I_t = \beta \frac{X_t}{S_t} + (1 - \beta)I_{t-L}$$

$$F_{t+m} = (S_t + b_t m)I_{t-L+m}$$

En donde:

S_t = Valor del Suavizamiento al finalizar el periodo t

b_t = Ajuste de tendencia al finalizar el periodo t

α = Constante de alisamiento

β = Constante de ajuste de tendencia

γ = Constante de ajuste a la estacionalidad

L = Longitud de la estacionalidad (por ejemplo número de meses o trimestres)

I = Factor de ajuste de la estacionalidad

m = Varía desde 1 hasta m , y determina el número de pronósticos que se deseen

F_{t+m} = Pronóstico en el periodo t+m

MÉTODO DE PRONÓSTICO DE TORRES

El método de Torres presenta la siguiente metodología⁶:

a. Cálculo del pronóstico simple;

$$\bar{S}_{t+1} = \alpha \times X_t + (1 - \alpha) \times S_t$$

Donde X_t se refiere a la demanda histórica en cada período de tiempo:

b. Cálculo del pronóstico doble;

$$\hat{S}_{t+1} = \alpha \times S_{t+1} + (1 - \alpha) \times S_t$$

c. Cálculo del pronóstico de ajuste;

$$S_{t+1}^{\wedge} = a + b$$

$$a = (2 \times S_{t+1}) - S_{t+1}'$$

$$b = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times (S_{t+1} - S_{t+1}')$$

$$b = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times (S_{t+1} - S_{t+1}')$$

Introduce un comportamiento heurístico que determina el porcentaje de crecimiento o decrecimiento general de la demanda para el periodo siguiente.

d. Pronósticos alternos

El método de Torres trabaja tres planes alternos: demanda alta, demanda baja y demanda constante. Para hallar los valores de los planes alternos: demanda alta, baja y constante se debe buscar, para cada uno de los períodos dentro de los datos ajustados (pronóstico simple y doble pronóstico de ajuste), el valor más alto, que lo toma como el pronóstico alternativo de demanda alta, el valor más bajo, que se refiere al pronóstico alternativo de demanda baja y el valor más cercano al dato histórico, que recibe el nombre de pronóstico alternativo de demanda constante.

e. Aseguramiento del pronóstico

Introduce un comportamiento heurístico que determina el porcentaje de crecimiento o decrecimiento general de la demanda para el período siguiente. Torres propone que usando otro método se determine este porcentaje, como por ejemplo el método Delphi, que usa un panel de expertos en el que a través de la experiencia se determina el porcentaje de crecimiento o decrecimiento general de la demanda.

f. Demanda Agregada Global:

$$DAG_t = D_t \times (1 + \%P)$$

Donde;

D_t = dato más cercano al histórico en cada período

$\%P$ = Crecimiento o decrecimiento⁷ general de la demanda para el siguiente período, si es decrecimiento debe usarse en la fórmula $-\%P$.

g. Índice de Aseguramiento:

$$IA_{t+1} = X_{t+1} / X_t$$

Donde;

IA_t = Índice de Aseguramiento del comportamiento de la variable en el período t

X_t = Demanda histórica o variable de entrada en el período t

h. Pronóstico Final DAT⁸:

$$DAT_{i=1..n} = DAG_t \times IA_t$$

Donde;

DAT_i = Demanda Agregada Total del período i, se refiere al valor pronosticado través del método, para los períodos siguientes.

DAG_t = Demanda Agregada Global del período t

IA_t = Índice de aseguramiento

PRUEBA NÚMERO UNO

La primera serie de datos está compuesta por ciento ocho datos de demandas mensuales (Vélez, 2004) es decir, nueve años. Los datos tomados como históricos son

noventa y seis y los últimos doce datos se reservan para probar la eficiencia de los métodos usados.

Los noventa y seis datos históricos son los siguientes:

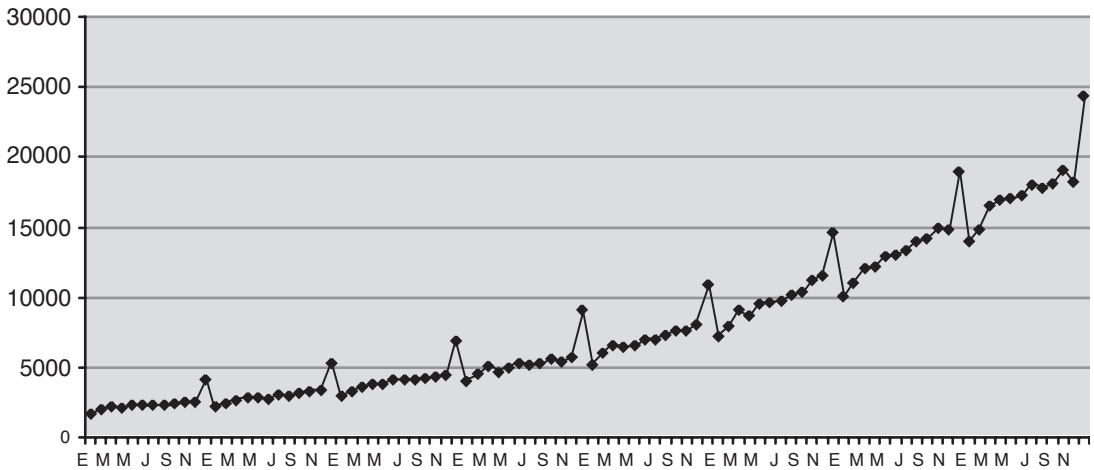
Mes	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Enero	1738	2224	2939	4009	5236	7242	10058	13959
Febrero	1983	2459	3320	4577	6037	7955	10997	14873
Marzo	2240	2657	3623	5039	6608	9149	12133	16568
Abril	2138	2858	3765	4717	6426	8670	12182	16972
Mayo	2330	2832	3812	4969	6614	9561	12916	17023
Junio	2333	2782	4157	5283	6986	9636	13032	17237
Julio	2320	3025	4100	5209	7017	9790	13379	18034
Agosto	2364	3002	4135	5250	7322	10182	13955	17789
Septiembre	2463	3151	4220	5597	7658	10441	14185	18168
Octubre	2579	3283	4313	5449	7661	11184	14984	19031
Noviembre	2545	3355	4440	5704	8070	11562	14825	18234
Diciembre	4091	5296	6909	9154	10877	14628	18964	24379

Los doce datos reservados para hacer la comparación son los siguientes:

Mes	Año 9
Enero	17176
Febrero	18327
Marzo	21819
Abril	19627
Mayo	20969
Junio	22046
Julio	22068
Agosto	21949
Septiembre	22630
Octubre	23609
Noviembre	22573
Diciembre	29583

En la siguiente gráfica se puede ver el comportamiento de la serie de datos de las demandas mensuales. Así mismo, se puede ver claramente la tendencia de la variable y su estacionalidad. La ciclicidad, por ser un elemento de largo plazo, no puede constatare debido al poco número de datos.

Demandas



Gráfica 1. Comportamiento de los 96 datos históricos para la prueba número uno.

Cabe recordar que para generar los pronósticos se usaron dos paquetes computacionales diseñados para este fin. Para los pronósticos de Winters se usó SPSS® versión 13.0. Para los pronósticos de Holt y Brown se usó el paquete Statgraphics versión 5.1. Estos paquetes eliminan el trabajo de hallar los mejores índices α , γ y β

que requiere cada uno de los métodos para generar los pronósticos.

A continuación pueden verse los resultados de la ejecución del programa Statgraphics para la prueba número uno. En ellos se observa el valor de los índices α , γ y β determinados automáticamente con la ayuda de este *software*:

Gráfico de Secuencia de tiempo para Demandas

(X 10000)

Suavizado exp. lineal de Holt con alfa = 0,0874 y beta= 0,253

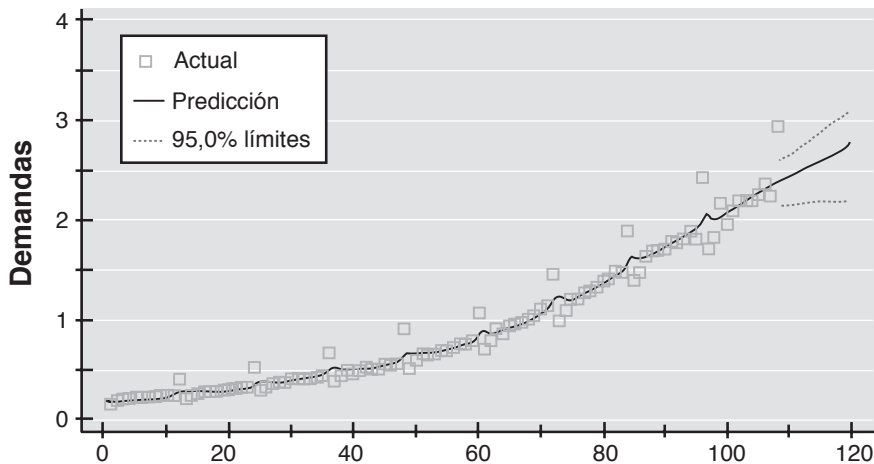
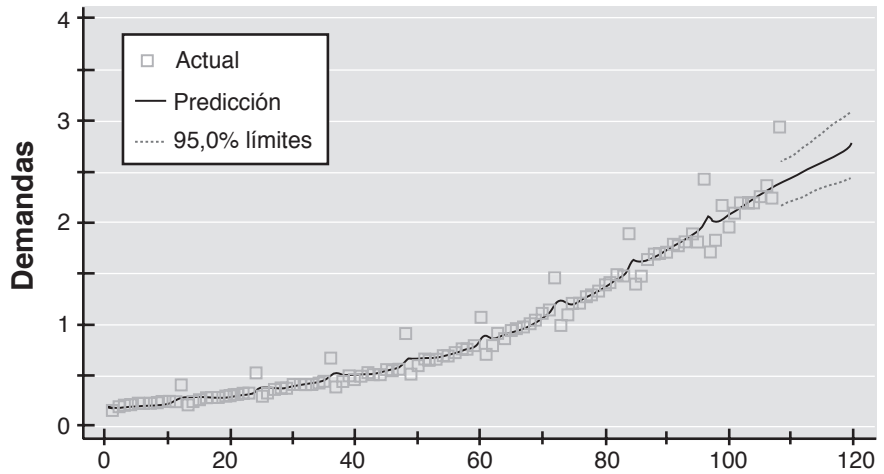


Gráfico de Secuencia de tiempo para Demandas

(X 10000)

Suavizado exp. lineal de Brown con alfa = 0,1308



Los resultados de los pronósticos usando cada uno de los métodos son los siguientes:

Per	Demanda Real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método Holt
		n =12	n =6	n =3			
Ene	17176	17689	16105	15133	19417	17510	24560
Feb	18327	18028	16785	16138	19725	18502	25022
Mar	21819	18344	17271	16854	20033	20430	25485
Abr	19627	18541	17537	17077	20341	20530	25947
May	20969	18737	17880	17431	20649	20535	26410
Jun	22046	18982	18082	17687	20957	20657	26872
Jul	22068	19273	19273	17997	21265	21288	27335
Ago	21949	19520	19520	18329	21573	21013	27797
Sep	22630	19953	19953	18478	21881	21411	28260
Oct	23609	20548	20548	20548	22189	22396	28723
Nov	22573	21307	21307	21307	22497	21654	29185
Dic	29583	24379	24379	24379	22805	28822	29648

Per	Demanda Real	Suavización exponencial simple			Método Torres
		Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
Ene	17176	21604	22819	20186	18547
Feb	18327	21842	23057	20424	19888
Mar	21819	22080	23295	20663	20758
Abr	19627	22319	23534	20901	21832
May	20969	22557	23772	21139	21663
Jun	22046	22795	24010	21378	22112
Jul	22068	23034	24249	21616	23145
Ago	21949	23272	24487	21854	21908
Sep	22630	23510	24725	22093	23307
Oct	23609	23749	24964	22331	24305
Nov	22573	23987	25202	22569	21608
Dic	29583	24225	25440	22808	31733

Errores en unidades: en la siguiente tabla se pueden ver los errores en unidades que tuvieron los pronósticos de cada uno de los métodos frente al dato histórico.

Per	Demanda Real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
Ene	17.176	513	1.071	2.043	2.241	334	7.384	4.428	5.643	3.010	1.371
Feb	18.327	299	1.543	2.189	1.398	175	6.695	3.515	4.730	2.097	1.561
Mar	21.819	3.476	4.549	4.965	1.786	1.389	3.666	261	1.476	1.156	1.061
Abr	19.627	1.086	2.090	2.550	714	903	6.320	2.692	3.907	1.274	2.205
May	20.969	2.232	3.089	3.538	320	434	5.441	1.588	2.803	170	694
Jun	22.046	3.064	3.964	4.359	1.089	1.389	4.826	749	1.964	668	66
Jul	22.068	2.796	2.796	4.071	803	780	5.267	966	2.181	452	1.077
Ago	21.949	2.429	2.429	3.620	376	936	5.848	1.323	2.538	95	41
Sep	22.630	2.677	2.677	4.152	749	1.219	5.630	880	2.095	537	677
Oct	23.609	3.061	3.061	3.061	1.420	1.213	5.114	140	1.355	1.278	696
Nov	22.573	1.267	1.267	1.267	76	919	6.612	1.414	2.629	4	965
Dic	29.583	5.204	5.204	5.204	6.778	761	65	5.358	4.143	6.775	2.150

Con este método de prueba se mide el menor error cuadrático partiendo de la diferencia entre el dato pronosticado menos la demanda y ese resultado elevado al cuadrado. Con la suma de todos los errores al

cuadrado RSE⁹ se puede determinar cuál estuvo más cerca del dato real. Los valores de las diferencias al cuadrado se muestran continuación:

Per	Demanda Real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt
		n =12	n =6	n =3			
Ene	17.176	263.084	1.146.327	4.172.487	5.022.081	111.556	54.523.456
Feb	18.327	89.401	2.379.306	4.793.180	1.954.404	30.625	44.823.025
Mar	21.819	12.079.100	20.688.852	24.647.915	3.189.796	1.929.321	13.439.556
Abr	19.627	1.179.879	4.367.403	6.500.800	509.796	815.409	39.942.400
May	20.969	4.982.382	9.539.862	12.515.085	102.400	188.356	29.604.481
Jun	22.046	9.389.847	15.711.975	19.003.787	1.185.921	1.929.321	23.290.276
Jul	22.068	7.814.820	7.814.820	16.573.041	644.809	608.400	27.741.289
Ago	21.949	5.899.069	5.899.069	13.101.987	141.376	876.096	34.199.104
Sep	22.630	7.166.329	7.166.329	17.241.872	561.001	1.485.961	31.696.900
Oct	23.609	9.369.721	9.369.721	9.369.721	2.016.400	1.471.369	26.152.996
Nov	22.573	1.604.022	1.604.022	1.604.022	5.776	844.561	43.718.544
Dic	29.583	27.081.616	27.081.616	27.081.616	45.941.284	579.121	4.225
Total		86.919.270	112.769.303	156.605.514	61.275.044	10.870.096	369.136.252

Per	Demanda Real	Suavización exponencial simple			Método Torres
		Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
Ene	17.176	19.604.056	31.843.449	9.060.100	1.879.641
Feb	18.327	12.355.036	22.372.900	4.397.409	2.436.721
Mar	21.819	68.277	2.178.576	1.336.336	1.125.721
Abr	19.627	7.244.849	15.264.649	1.623.076	4.862.025
May	20.969	2.521.592	7.856.809	28.900	481.636
Jun	22.046	561.418	3.857.296	446.224	4.356
Jul	22.068	932.392	4.756.761	204.304	1.159.929
Ago	21.949	1.750.147	6.441.444	9.025	1.681
Sep	22.630	774.853	4.389.025	288.369	458.329
Oct	23.609	19.484	1.836.025	1.633.284	484.416
Nov	22.573	1.999.141	6.911.641	16	931.225
Dic	29.583	28.705.632	17.164.449	45.900.625	4.622.500
Total		76.536.878	124.873.024	64.927.668	18.448.180

Los resultados de la clasificación son los siguientes:

Ranking	Método	Suma Errores cuadrado	Desviación Porcentual
Primero	Winters	10.870.096	0,00%
Segundo	Torres	18.448.180	69,71%
Tercero	Brown	61.275.044	463,70%
Cuarto	Suavización Alpha 0,3	64.927.668	497,31%
Quinto	Suavización Alpha 0,5	76.536.878	604,10%
Sexto	Promedio Móvil N = 12	86.919.270	699,62%
Séptimo	Promedio Móvil N = 6	112.769.303	937,43%
Octavo	Suavización Alpha 0,7	124.873.024	1048,78%
Noveno	Promedio Móvil N = 3	156.605.514	1340,70%
Décimo	Holt	369.136.252	3295,89%

PRUEBA NÚMERO DOS:

Para realizar una segunda prueba se eligió una nueva serie de datos que representa el consumo promedio de kilovatios de energía eléctrica en Colombia¹⁰ en los últi-

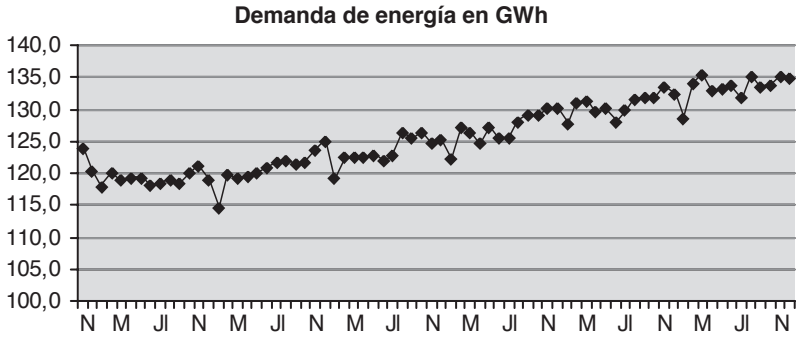
mos seis años es decir, una serie de setenta y dos datos. Los últimos doce datos se reservan para probar la eficiencia de los métodos usados. A continuación pueden verse los datos originales:

Demanda energía promedio						
Período	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ENERO	117,8	114,6	119,1	122,3	127,8	128,6
FEBRERO	120,1	119,7	122,3	127,2	130,9	134,0
MARZO	119,0	119,1	122,5	126,3	131,4	135,3
ABRIL	119,1	119,4	122,4	124,8	129,5	133,0
MAYO	119,2	119,9	122,7	127,2	130,1	133,2
JUNIO	118,0	120,7	122,0	125,4	128,0	133,6
JULIO	118,4	121,7	122,6	125,4	129,8	131,8
AGOSTO	118,9	121,8	126,3	127,9	131,5	135,1
SEPTIEMBRE	118,4	121,3	125,6	129,1	131,7	133,5
OCTUBRE	119,9	121,5	126,2	129,0	131,8	133,8
NOVIEMBRE	121,0	123,6	124,7	130,1	133,5	135,1
DICIEMBRE	118,8	124,9	125,3	130,1	132,4	134,9

Los doce datos reservados para hacer la comparación son los siguientes:

Mes	Año 9	Mes	Año 9
Enero	128,6	Julio	131,8
Febrero	134,0	Agosto	135,1
Marzo	135,3	Septiembre	133,5
Abril	133,0	Octubre	133,8
Mayo	133,2	Noviembre	135,1
Junio	133,6	Diciembre	134,9

En la siguiente gráfica se puede ver el comportamiento de la serie de datos de los consumos mensuales de energía eléctrica de nuestro país:



Gráfica 2. Comportamiento de los 72 datos históricos para la prueba número dos

A continuación se muestran los resultados de la ejecución del programa Statgraphics® junto a los valores de los índices α , γ y β determinados automáticamente con la ayuda de este *software*:

Gráfico de Secuencia de tiempo para Energía

Suavizado exp. lineal de Brown con alfa = 0,1391

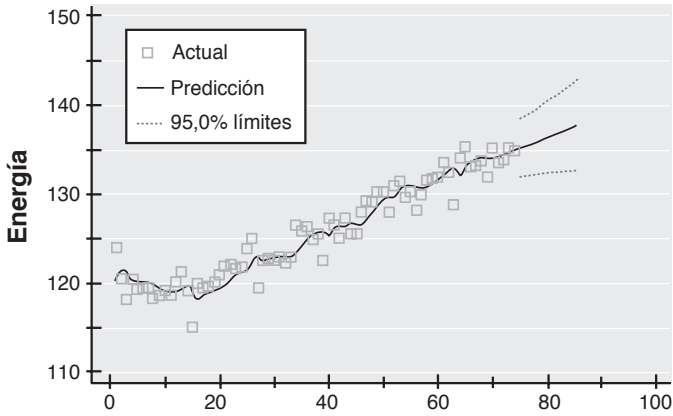
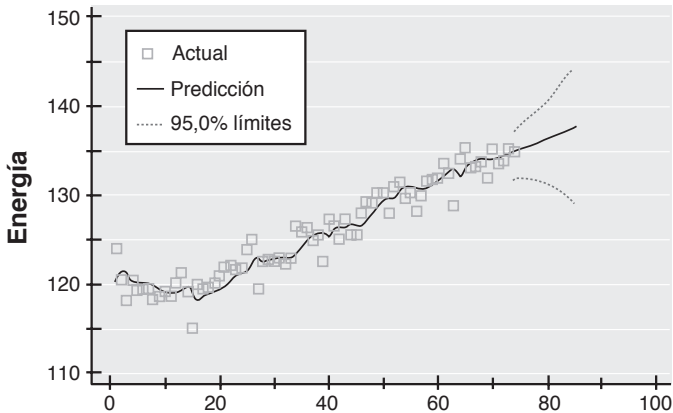


Gráfico de Secuencia de tiempo para Energía

Suavizado exp. lineal de Holt con alfa = 0,234 y beta = 0,1115



Los resultados de los pronósticos usando cada uno de los métodos son los siguientes:

Per	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,3	Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	
Ene	128,6	130,5	129,9	129,3	132,9	128,7	132,851	132	132,6	132,7	131
Feb	134	130,7	130	129,6	133,2	133,1	133,169	132,2	132,7	132,9	138,6
Mar	135,3	131	129,6	130	133,5	132,6	133,487	132,3	132,9	133	134,22
Abr	133	131	129,9	130,6	133,9	132,0	133,805	132,5	133	133,1	130,79
May	133,2	130,9	130	130,3	134,2	132,7	134,122	132,6	133,1	133,3	133,19
Jun	133,6	131,1	130,1	129,2	134,5	131,7	134,44	132,8	133,3	133,4	134,44
Jul	131,8	131,2	130,5	129,3	134,8	132,4	134,758	132,9	133,4	133,6	131,13
Ago	135,1	131,8	131	129,7	135,1	134,1	135,075	133	133,6	133,7	137,43
Sep	133,5	132,2	131,8	131	135,4	134,4	135,393	133,2	133,7	133,8	132,4
Oct	133,8	132,4	132,2	131,7	135,7	135,0	135,711	133,3	133,9	134	134,28
Nov	135,1	132,6	132,4	132,3	136,1	135,9	136,029	133,5	134	134,1	136,35
Dic	134,9	133	132,6	132,6	136,4	135,2	136,346	133,6	134,1	134,3	134,79

Errores en unidades: en la siguiente tabla se pueden ver los errores en unidades que tuvieron los pronósticos de cada uno de los métodos frente al dato histórico.

Per	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
Ene	129	1,900	1,300	0,700	4,320	0,082	4,251	3,400	4,000	4,100	2,400
Feb	134	3,300	4,000	4,400	0,766	0,928	0,831	1,800	1,300	1,100	4,600
Mar	135	4,300	5,700	5,300	1,752	2,662	1,813	3,000	2,400	2,300	1,080
Abr	133	2,000	3,100	2,400	0,862	0,954	0,805	0,500	0,000	0,100	2,210
May	133	2,300	3,200	2,900	0,976	0,515	0,922	0,600	0,100	0,100	0,010
Jun	134	2,500	3,500	4,400	0,890	1,947	0,840	0,800	0,300	0,200	0,840
Jul	132	0,600	1,300	2,500	3,004	0,611	2,958	1,100	1,600	1,800	0,670
Ago	135	3,300	4,100	5,400	0,018	0,995	0,025	2,100	1,500	1,400	2,330
Sep	134	1,300	1,700	2,500	1,932	0,902	1,893	0,300	0,200	0,300	1,100
Oct	134	1,400	1,600	2,100	1,946	1,182	1,911	0,500	0,100	0,200	0,480
Nov	135	2,500	2,700	2,800	0,960	0,819	0,929	1,600	1,100	1,000	1,250
Dic	135	1,900	2,300	2,300	1,474	0,271	1,446	1,300	0,800	0,600	0,110

Con este método de prueba se mide el menor error cuadrático partiendo de la diferencia entre el dato pronosticado menos la demanda y ese resultado elevado al cuadrado. Con la suma de todos los errores al cuadrado RSE se puede determinar cuál estuvo más cerca del dato real. Los valores de las diferencias al cuadrado se muestran a continuación:

Per	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
Ene	129	3,610	1,690	0,490	18,662	0,007	18,071	11,560	16,000	16,810	5,760
Feb	134	10,890	16,000	19,360	0,587	0,861	0,691	3,240	1,690	1,210	21,160
Mar	135	18,490	32,490	28,090	3,070	7,084	3,287	9,000	5,760	5,290	1,166
Abr	133	4,000	9,610	5,760	0,743	0,910	0,648	0,250	0,000	0,010	4,884
May	133	5,290	10,240	8,410	0,953	0,265	0,850	0,360	0,010	0,010	0,000
Jun	134	6,250	12,250	19,360	0,792	3,790	0,706	0,640	0,090	0,040	0,706
Jul	132	0,360	1,690	6,250	9,024	0,373	8,750	1,210	2,560	3,240	0,449
Ago	135	10,890	16,810	29,160	0,000	0,990	0,001	4,410	2,250	1,960	5,429
Sep	134	1,690	2,890	6,250	3,733	0,813	3,583	0,090	0,040	0,090	1,210
Oct	134	1,960	2,560	4,410	3,787	1,397	3,652	0,250	0,010	0,040	0,230
Nov	135	6,250	7,290	7,840	0,922	0,672	0,863	2,560	1,210	1,000	1,563
Dic	135	3,610	5,290	5,290	2,173	0,073	2,091	1,690	0,640	0,360	0,012
Total		73,290	118,810	140,670	44,445	17,236	43,192	35,260	30,260	30,060	42,569

Los resultados de la clasificación son los siguientes:

Ranking	Método	Suma Errores cuadrado	Desviación Porcentual
Primero	Winters	17,236	0,00%
Segundo	Suavización Alpha 0,7	30,060	74,40%
Tercero	Suavización Alpha 0,5	30,260	75,56%
Cuarto	Suavización Alpha 0,3	35,260	104,57%
Quinto	Torres	42,569	146,98%
Sexto	Holt	43,192	150,59%
Séptimo	Brown	44,445	157,86%
Octavo	Promedio Móvil N = 12	73,290	325,21%
Noveno	Promedio Móvil N = 6	118,810	589,31%
Décimo	Promedio Móvil N = 3	140,670	716,14%

PRUEBA NÚMERO TRES

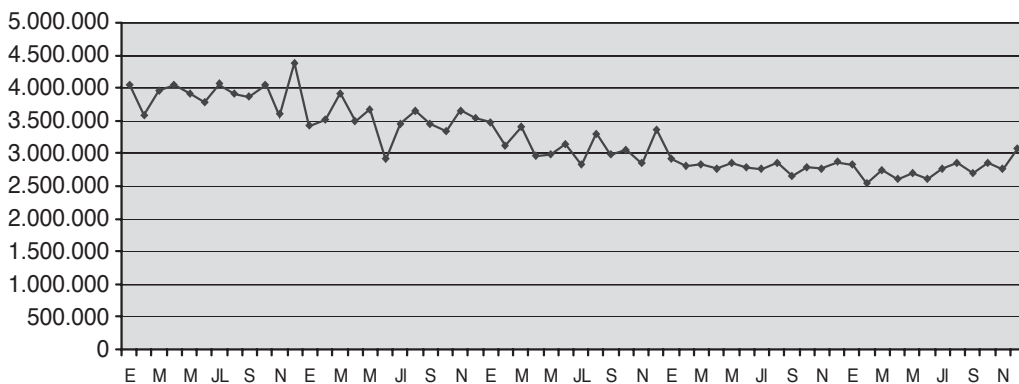
Para realizar una tercera prueba se eligió una nueva serie de datos que representa el consumo promedio de Barriles¹¹ de gasolina en Colombia en los últimos

seis años es decir, una serie de setenta y dos datos. Los últimos doce datos se reservan para probar la eficiencia de los métodos usados. A continuación pueden verse los datos originales:

Meses	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
ENERO	4.051.669	3.428.972	3.465.862	2.919.208	2.835.900	2.926.130
FEBRERO	3.583.328	3.523.296	3.120.432	2.820.748	2.540.126	2.631.980
MARZO	3.957.212	3.916.447	3.411.364	2.831.137	2.733.109	2.751.183
ABRIL	4.041.930	3.493.440	2.960.790	2.773.560	2.615.014	2.505.301
MAYO	3.923.608	3.666.091	2.995.530	2.846.079	2.701.131	2.704.137
JUNIO	3.783.510	2.925.570	3.151.680	2.783.370	2.602.845	2.633.125
JULIO	4.068.037	3.457.771	2.836.531	2.765.355	2.754.818	2.616.546
AGOSTO	3.909.565	3.657.721	3.299.919	2.860.773	2.849.311	2.679.817
SEPTIEMBRE	3.882.690	3.443.310	2.987.790	2.652.210	2.693.766	2.549.386
OCTUBRE	4.045.035	3.339.444	3.047.796	2.779.336	2.854.967	2.680.441
NOVIEMBRE	3.616.980	3.646.680	2.847.810	2.770.260	2.766.433	2.601.652
DICIEMBRE	4.387.182	3.536.945	3.360.307	2.868.585	3.070.043	3.063.701

En la siguiente gráfica se puede observar de gasolina (medido en barriles al mes), el comportamiento del consumo nacional desde el año 1998 hasta el año 2003.

Consumo nacional de combustibles



Gráfica 3. Comportamiento de los 72 datos históricos para la prueba número tres

Los doce datos reservados para hacer la comparación son los siguientes:

Mes	Año 9	Mes	Año 9
Enero	2.926.130	Julio	2.616.546
Febrero	2.631.980	Agosto	2.679.817
Marzo	2.751.183	Septiembre	2.549.386
Abril	2.505.301	Octubre	2.680.441
Mayo	2.704.137	Noviembre	2.601.652
Junio	2.633.125	Diciembre	3.063.701

En las siguientes pantallas se muestran los resultados de la ejecución del programa Statgraphics® junto a los valores de los índices α , γ y β determinados automáticamente con la ayuda de este software:

Gráfico de Secuencia de tiempo para Gasolina

(X 100000) Suavizado exp. lineal de Holt con alfa = 0,1395 y beta = 0,1475

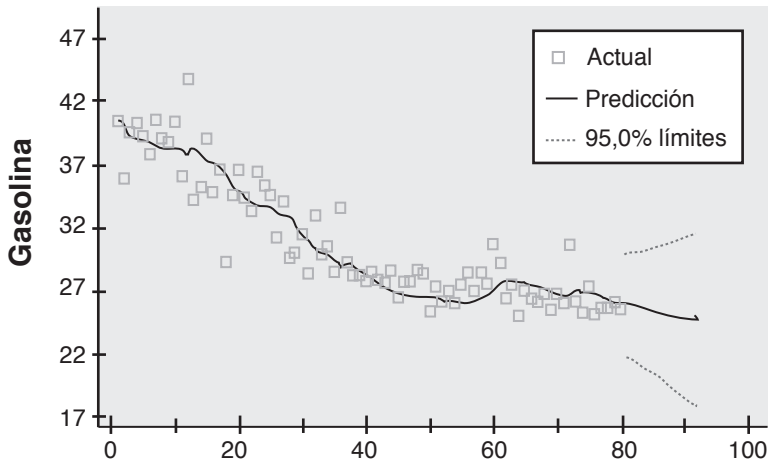
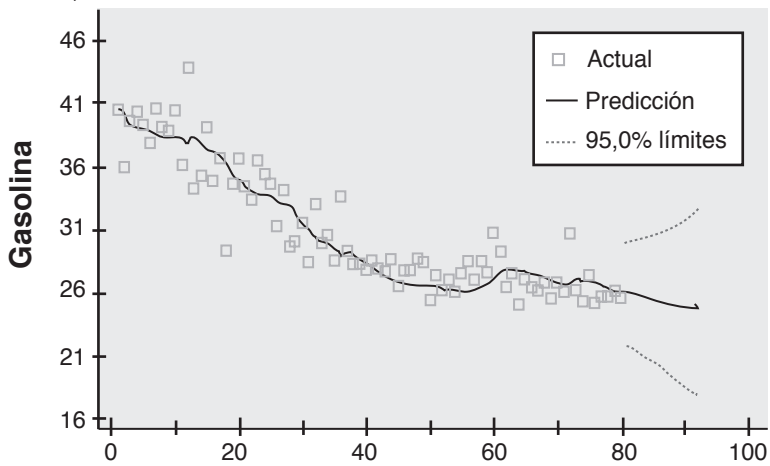


Gráfico de Secuencia de tiempo para Gasolina

(X 100000) Suavizado exp. lineal de Brown con alfa = 0,1608



Los resultados de los pronósticos usando cada uno de los métodos son los siguientes:

Períodos	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters
		n =12	n =6	n =3		
Ene	2.926.130	2750243	2640378	2651269	2630260	2.478.473
Feb	2.631.980	2741987	2641778	2633646	2620080	2.564.734
Mar	2.751.183	2746006	2623544	2633820	2609890	2.477.378
Abr	2.505.301	2736926	2643251	2639579	2599700	2.787.369
May	2.704.137	2734467	2633104	2635682	2589520	2.524.434
Jun	2.633.125	2706502	2633100	2636360	2579330	2.362.485
Jul	2.616.546	2688200	2635859	2637207	2569140	2.521.111
Ago	2.679.817	2692885	2635106	2636416	2558960	2.321.650
Sep	2.549.386	2688027	2633994	2636661	2548770	2.425.739
Oct	2.680.441	2703254	2635736	2636761	2538580	2.351.006
Nov	2.601.652	2703181	2634483	2636613	2528400	2.380.815
Dic	3.063.701	2709019	2634713	2636679	2518210	2.464.163

Períodos	Demanda real	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
			Alpha = 0,3	Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	
Ene	2.926.130	2650060	2642189	2613489	2603995	2838652
Feb	2.631.980	2648450	2621714	2593014	2583520	2452023
Mar	2.751.183	2646840	2601238	2572539	2563044	2892366
Abr	2.505.301	2645230	2580763	2552063	2542569	2491402
May	2.704.137	2643620	2560288	2531588	2522093	2914986
Jun	2.633.125	2642010	2539812	2511112	2501618	2569408
Jul	2.616.546	2640400	2519337	2490637	2481143	2660738
Ago	2.679.817	2638800	2498861	2470161	2460667	2732878
Sep	2.549.386	2637190	2478386	2449686	2440192	2496049
Oct	2.680.441	2635580	2457910	2429211	2419716	2822310
Nov	2.601.652	2633970	2437435	2408735	2399241	2536239
Dic	3.063.701	2632360	2416960	2388260	2378765	3134661

Errores en unidades: en la siguiente tabla se pueden ver los errores en unidades que tuvieron los pronósticos de cada uno de los métodos frente al dato histórico.

Períodos	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters
		n =12	n =6	n =3		
Ene	2.926.130	175.887	285.752	274.861	295.870	447.657
Feb	2.631.980	110.007	9.798	1.666	11.900	67.246
Mar	2.751.183	5.177	127.639	117.363	141.293	273.805
Abr	2.505.301	231.625	137.950	134.278	94.399	282.068
May	2.704.137	30.330	71.033	68.455	114.617	179.703
Jun	2.633.125	73.377	25	3.235	53.795	270.640
Jul	2.616.546	71.654	19.313	20.661	47.406	95.435
Ago	2.679.817	13.068	44.711	43.401	120.857	358.167
Sep	2.549.386	138.641	84.608	87.275	616	123.647
Oct	2.680.441	22.813	44.705	43.680	141.861	329.435
Nov	2.601.652	101.529	32.831	34.961	73.252	220.837
Dic	3.063.701	354.682	428.988	427.022	545.491	599.538

Períodos	Demanda real	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
			Alpha = 0,3	Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	
Ene	2.926.130	276.070	283.941	312.641	322.135	87.478
Feb	2.631.980	16.470	10.266	38.966	48.460	179.957
Mar	2.751.183	104.343	149.945	178.644	188.139	141.183
Abr	2.505.301	139.929	75.462	46.762	37.268	13.899
May	2.704.137	60.517	143.849	172.549	182.044	210.849
Jun	2.633.125	8.885	93.313	122.013	131.507	63.717
Jul	2.616.546	23.854	97.209	125.909	135.403	44.192
Ago	2.679.817	41.017	180.956	209.656	219.150	53.061
Sep	2.549.386	87.804	71.000	99.700	109.194	53.337
Oct	2.680.441	44.861	222.531	251.230	260.725	141.869
Nov	2.601.652	32.318	164.217	192.917	202.411	65.413
Dic	3.063.701	431.341	646.741	675.441	684.936	70.960

Con este método de prueba se mide el menor error cuadrático partiendo de la diferencia entre el dato pronosticado menos la demanda y ese resultado elevado al cuadrado. Con la suma de todos los errores al

cuadrado RSE se puede determinar cuál estuvo más cerca del dato real. Los valores de las diferencias al cuadrado se muestran en las siguientes tablas:

Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters
	n =12	n =6	n =3		
2.926.130	30.936.295.398	81.654.110.253	75.548.569.321	87.539.056.900	200.397.174.634
2.631.980	12.101.591.997	96.001.348	2.776.667	141.610.000	4.522.083.693
2.751.183	26.803.858	16.291.706.048	13.773.969.447	19.963.711.849	74.969.427.188
2.505.301	53.649.979.462	19.030.258.915	18.030.471.872	8.911.171.201	79.562.232.514
2.704.137	919.896.148	5.045.747.909	4.686.115.759	13.137.056.689	32.293.178.272
2.633.125	5.384.211.855	617	10.467.009	2.893.902.025	73.246.188.223
2.616.546	5.134.289.220	372.999.504	426.872.216	2.247.328.836	9.107.828.727
2.679.817	170.773.519	1.999.070.558	1.883.619.256	14.606.414.449	128.283.786.136
2.549.386	19.221.314.055	7.158.519.422	7.616.953.506	379.456	15.288.689.913
2.680.441	520.438.287	1.998.563.762	1.907.902.704	20.124.543.321	108.527.469.958
2.601.652	10.308.045.031	1.077.882.247	1.222.269.924	5.365.855.504	48.769.177.997
3.063.701	125.799.613.254	184.030.668.759	182.348.189.518	297.560.431.081	359.445.489.694
TOTALES	264.173.252.082	318.755.529.342	307.458.177.199	472.491.461.311	1.134.412.726.949

Demanda real	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		Alpha = 0,3	Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	
2.926.130	76.214.644.900	80.622.491.481	97.744.394.881	103.770.958.225	7.652.400.484
2.631.980	271.260.900	105.390.756	1.518.349.156	2.348.371.600	32.384.521.849
2.751.183	10.887.461.649	22.483.503.025	31.913.678.736	35.396.283.321	19.932.639.489
2.505.301	19.580.125.041	5.694.513.444	2.186.684.644	1.388.903.824	193.182.201
2.704.137	3.662.307.289	20.692.534.801	29.773.157.401	33.140.017.936	44.457.300.801
2.633.125	78.943.225	8.707.315.969	14.887.172.169	17.294.091.049	4.059.856.089
2.616.546	569.013.316	9.449.589.681	15.853.076.281	18.333.972.409	1.952.932.864
2.679.817	1.682.394.289	32.745.073.936	43.955.638.336	48.026.722.500	2.815.469.721
2.549.386	7.709.542.416	5.041.000.000	9.940.090.000	11.923.329.636	2.844.835.569
2.680.441	2.012.509.321	49.520.045.961	63.116.512.900	67.977.525.625	20.126.813.161
2.601.652	1.044.453.124	26.967.223.089	37.216.968.889	40.970.212.921	4.278.860.569
3.063.701	186.055.058.281	418.273.921.081	456.220.544.481	469.137.324.096	5.035.321.600
TOTALES	309.767.713.751	680.302.603.224	804.326.267.874	849.707.713.142	145.734.134.397

Los resultados de clasificación son los siguientes:

Ranking	Método	Suma Errores cuadrado	Desviación Porcentual
Primero	Torres	145.734.134.397	0,00%
Segundo	Promedio Móvil N = 12	264.173.252.082	81,27%
Tercero	Promedio Móvil N = 3	307.458.177.199	110,97%
Cuarto	Holt	309.767.713.751	112,56%
Quinto	Promedio Móvil N = 6	318.755.529.342	118,72%
Sexto	Brown	472.491.461.311	224,21%
Séptimo	Suavización Alpha 0,3	680.302.603.224	366,81%
Octavo	Suavización Alpha 0,5	804.326.267.874	451,91%
Noveno	Suavización Alpha 0,7	849.707.713.142	483,05%
Décimo	Winters	1.134.412.726.949	678,41%

PRUEBA NÚMERO CUATRO

Para realizar una cuarta prueba se eligió una nueva serie de datos que representa el consumo promedio de papel¹² en Colombia dado en miles de toneladas de papel para el consumo interno desde el año 1974 hasta

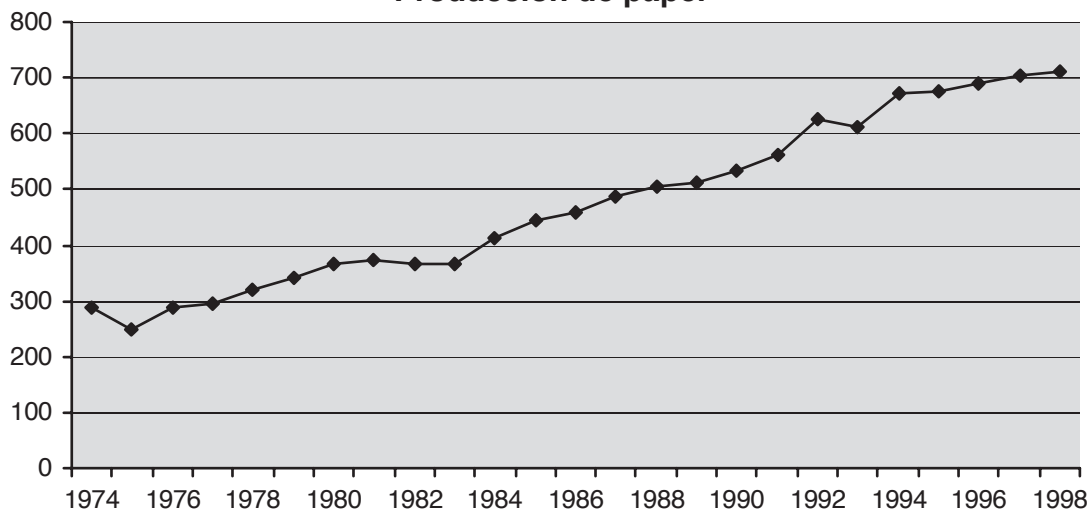
el año 2003. Es decir, una serie de treinta datos. Los últimos cinco datos se reservan para probar la eficiencia de los métodos usados. En la siguiente tabla pueden verse los datos originales:

Año	Producción	Año	Producción
1974	289	1989	511
1975	248	1990	534
1976	287	1991	563
1977	295	1992	627
1978	321	1993	610
1979	342	1994	673
1980	367	1995	677
1981	372	1996	691
1982	366	1997	705
1983	365	1998	711
1984	412	1999	734
1985	446	2000	771
1986	457	2001	772
1987	488	2002	848
1988	504	2003	865

En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento del consumo nacional de papel (medido en miles de toneladas al año), desde el año 1974 hasta el año 2003. Se tomarán las demandas de 1994 hasta 1998

para pronosticar las demandas de 1999 hasta el 2003. La información real de estos años se reservará para medir la eficiencia del método de Torres.

Producción de papel



Gráfica 4. Comportamiento de los 30 datos históricos para la prueba número cuatro.

Los cinco datos reservados para hacer la comparación son los siguientes:

Año	Producción
1999	734
2000	771
2001	772
2002	848
2003	865

En las siguientes pantallas se muestran los resultados de la ejecución del programa Statgraphics® junto a los valores de los índices α , γ y β determinados automáticamente con la ayuda de este *software*:

Gráfico de Secuencia de tiempo para Papel

Suavizado exp. lineal de Holt con $\alpha=0,8876$ y $\beta=0,0822$

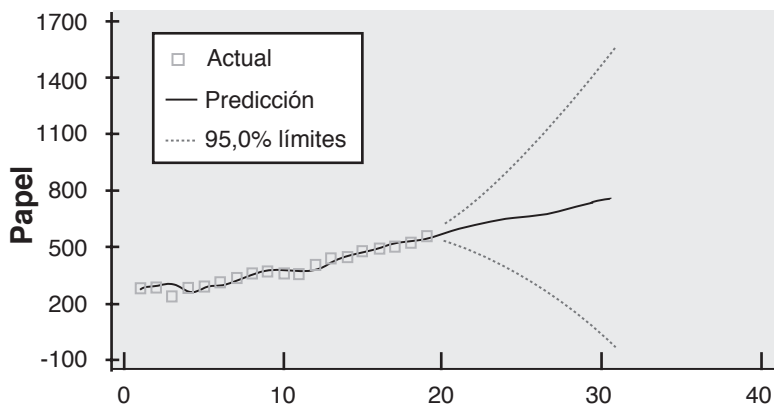
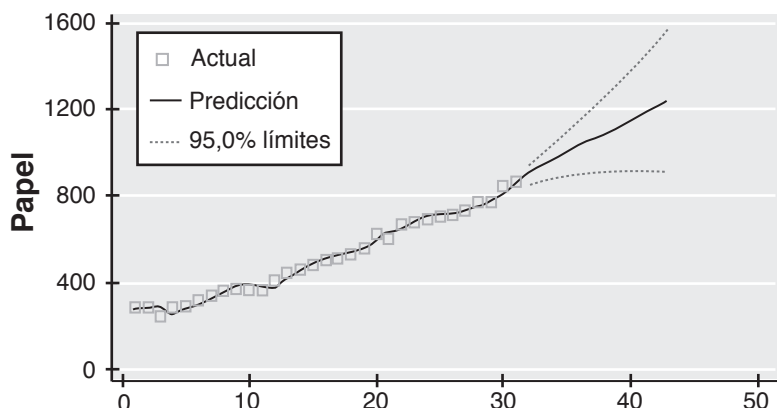


Gráfico de Secuencia de tiempo para Papel

Suavizado exp. lineal de Brown con $\alpha = 0,5023$



Los resultados de los pronósticos usando cada uno de los métodos son los siguientes:

Año	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,3	Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	
1999	734	449	509	536	569	598	570	527	529	528	678
2000	770	455	518	544	587	612	590	543	544	543	684
2001	772	462	523	548	605	623	610	558	560	559	692
2002	847	471	526	543	623	659	631	574	575	574	710
2003	865	479	529	545	641	599	651	589	591	589	715

Errores en unidades: en la siguiente tabla se pueden ver los errores en unidades que tuvieron los pronósticos de cada uno de los métodos frente al dato histórico.

Año	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
1999	734	285	225	198	165	136	164	207	205	206	56
2000	770	315	252	226	183	158	180	227	226	227	86
2001	772	310	249	224	167	149	162	214	212	213	80
2002	847	376	321	304	224	188	216	273	272	273	137
2003	865	386	336	320	224	266	214	276	274	276	150

Con este método de prueba se mide el menor error cuadrático partiendo de la diferencia entre el dato pronosticado menos la demanda y ese resultado elevado al cuadrado.

Con la suma de todos los errores al cuadrado RSE se puede determinar cuál estuvo más cerca al dato real. Los valores de las diferencias al cuadrado se muestran a continuación:

Año	Demanda real	Media Móvil			Método de Brown	Método de Winters	Método de Holt	Suavización exponencial simple			Método Torres
		n =12	n =6	n =3				Alpha = 0,5	Alpha = 0,7	Alpha = 0,3	
1999	734	81.420	50.475	39.244	27.225	18.496	26.896	42.849	42.025	42.436	3.136
2000	770	98.912	63.476	50.956	33.489	24.964	32.400	51.529	51.076	51.529	7.396
2001	772	95.803	61.952	50.271	27.889	22.201	26.244	45.796	44.944	45.369	6.400
2002	847	141.750	102.807	92.628	50.176	35.344	46.656	74.529	73.984	74.529	18.769
2003	865	148.769	112.924	102.462	50.176	70.756	45.796	76.176	75.076	76.176	22.500
Total		566.654	391.634	335.560	188.955	171.761	177.992	290.879	287.105	290.039	58.201

Los resultados de la clasificación son los siguientes:

Ranking	Método	Suma Errores cuadrado	Desviación Porcentual
Primero	Torres	58.201	0,00%
Segundo	Winters	171.761	195,12%
Tercero	Holt	177.992	205,82%
Cuarto	Brown	188.955	224,66%
Quinto	Suavización Alpha 0,5	287.105	393,30%
Sexto	Suavización Alpha 0,7	290.039	398,34%
Séptimo	Suavización Alpha 0,3	290.879	399,78%
Octavo	Promedio Móvil N = 3	335.560	476,55%
Noveno	Promedio Móvil N = 6	391.634	572,90%
Décimo	Promedio Móvil N = 12	566.654	873,62%

CONCLUSIONES

A partir de cuatro pruebas con colecciones de datos históricos se logró, generar un ranking en cada uno de los casos para comparar los resultados del método de Torres frente otros métodos de suavización.

En dos de las cuatro ocasiones es decir, en el 50 por ciento de los casos el método de

Torres estuvo en el primer lugar superando los nueve métodos restantes. Estuvo por encima de los métodos de Holt, Winters y Brown que forman parte de paquetes computacionales. Este fue un resultado grato para este documento, y para el documento anterior, ya que muestra la validez de las pruebas y la pertinencia de los dos análisis.

En una de las cuatro ocasiones es decir, en un 25 por ciento de los casos logró el segundo puesto entre los diez métodos estando sólo por debajo del método de Winters, pero nuevamente sobre métodos más convencionales.

Finalmente, en una de las cuatro pruebas es decir, en un 25 por ciento estuvo en quinto lugar viéndose superado por el método de Winters y por los de suavización exponencial simple planteados en las pruebas. En esta prueba estuvo seguido muy de cerca por los métodos de Holt y Brown.

Los resultados de estas pruebas permiten inferir que el método debe ser analizado detenidamente ya que si se usa

correctamente es decir, determinando de una manera fiable el %P requerido como variación general de la serie se pueden obtener resultados satisfactorios.

Una de las recomendaciones antes de usar el método de Torres es determinar el mejor ajuste usando los diferentes métodos propuestos en el documento: revisión del método de pronóstico para elevar el nivel de precisión del mismo.

Otra recomendación es usar diferentes métodos para verificar el ajuste que tienen con cada una de las series de datos históricos. Esto se logra fácilmente a través de los programas de computador disponibles en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, M. (2005). *Revisión de método de pronóstico*. Bogotá: Politécnico Granacolombiano.
- Fogarty, D. (1999). *Administración de la producción e inventarios*. México: Editorial CECSA.
- Hiller, F. (2001). *Investigación de operaciones*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- Makridakis, S. (1997). *Métodos de pronóstico*. México: Editorial Limusa.
- Makridakis, S. (1978). *Forecasting Methods and Applications*. México: Editorial Limusa.
- Paredes, J. (1994). *Planificación de la producción*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- El libro completo se puede bajar de: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/ecuador/idiuc/teoria.doc>. Visitado en septiembre de 2005.
- Pérez López, C. (2005). *Métodos estadísticos avanzados con SPSS*. Madrid: Editorial Thompson.
- Pindyck, R. (2001). *Econometría y modelos de pronóstico*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- Prawda, J. (1999). *Métodos y modelos de investigación de operaciones*. México: Editorial Limusa.
- Torres Acosta, J. H. *Elementos de producción*. Bogotá: Editorial Universidad Católica de Colombia. Sin año de publicación.
- Turoff, M. & Linstone, H. (2002). *The Delphi Method, Techniques and Applications*. Boston, Massachusetts. Editorial: Addison Wesley Longman Publishing Co.

- El libro completo en versión digital se puede bajar de: <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/index.html>. Visitado en octubre 11 de 2005.
- Vélez Pareja, I. (2004). *Decisiones empresariales bajo incertidumbre*. Bogotá: Editorial Norma.

NOTAS

1. No se incluyen en la prueba métodos de pronóstico diferentes a los de suavización exponencial, como los ARIMA y los de descomposición, por tener una manera diferente de suavización exponencial. Pero si se quiere probar la precisión del método de Torres en comparación con estos métodos, la prueba presentada serviría para dicho fin.
2. Estas recomendaciones han sido obtenidas de la descripción de los diferentes métodos de pronóstico. Para ampliar estos conceptos ver: Makridakis (1978).
3. Este software tiene un módulo específico para los pronósticos a través de series de tiempo y un apartado para los métodos de suavizado exponencial.
4. En el documento anterior sobre la revisión del método de Torres, se puede ver la manera propuesta de calcular el componente subjetivo de acuerdo con la tendencia que tenga el mayor R2. Si desea ampliar este concepto puede dirigirse a: <http://www.poligran.edu.co/documentos>
5. American Production and Inventory Control Society. Puede accederse desde: www.apics.org
6. Si se quiere revisar completamente el funcionamiento del método de Torres puede verse: Torres (2000). Si se quiere ver la descripción completa del análisis del método puede verse: Alarcón (2005) desde www.poligran.edu.co/documentos
7. %P, denota el crecimiento o disminución de la tendencia general de los datos para el siguiente período. Torres menciona este dato como el método Delphi.
8. Se debe aclarar que para reemplazar el dato subjetivo %P, lo que se hizo fue seguir la metodología del paper Revisión del método de pronóstico, que consiste en usar la línea de tendencia que tenga el mayor R2 (error al cuadrado)¹⁷, y extrapolar la tendencia de la serie de datos históricos.
9. RSE hace referencia al valor de la suma de los errores elevados al cuadrado. Para este caso llámese error, al valor de diferencia entre el dato pronosticado y el dato real. Si se desea ampliar el concepto de RSE diríjase a Makridakis, S. (1997). *Métodos de pronóstico*. México, Editorial Limusa, pp. 75-81.
10. Consumo promedio de kilovatios de energía eléctrica por año. Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Puede accederse a esta serie de datos desde: <http://www.dnp.gov.co>, en el apartado de estadísticas.
11. Consumo promedio de barriles de gasolina por mes. Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Puede accederse a esta serie de datos desde: <http://www.dnp.gov.co>, en el apartado de estadísticas.
12. Consumo anual de papel en Colombia desde el año 1974 hasta el año 2003. Fuente: Cámara de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI. Tomado de: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Puede accederse a esta serie de datos desde: <http://www.dnp.gov.co>, en el apartado de estadísticas.