

# EVALUACIÓN DE MODELOS DE SERIE DE TIEMPO EN EL SERVICIO DE CARGA DE AUTOTANQUES CON ORTOXILENO EN UNA TERMINAL PETROQUÍMICA

César David Rivera Toscano MIA, [cesar.rivera.86@gmail.com](mailto:cesar.rivera.86@gmail.com)

Manuel Ángel Rosales Montiel, [Montiel1402@gmail.com](mailto:Montiel1402@gmail.com)

Francisco Gerardo Ponce Del Ángel MII, [fgpda@live.com.mx](mailto:fgpda@live.com.mx)

División de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

**Resumen**— Se analizan los modelos de series de tiempo en un estudio aplicado al número de servicios semanales de carga de autotanques con ortoxileno que se realizan una terminal petroquímica marítima. Se validan los métodos de promedios móviles y suavizamiento exponencial en este caso de estudio, logrando una comparación entre los mismo. El alza de la demanda de los consumidores del servicio de cargas de autotanques ha aumentado a 26 mil toneladas en los últimos meses, por lo cual las operaciones requieren de procesos esbeltos en el que estas se lleven a cabo dentro de los parámetros establecidos de servicios por la organización. El análisis permitirá conocer las tendencias de los niveles de prestación sobre los datos históricos reales a través de la aplicación de los métodos cuantitativos de estadísticas de pronósticos mencionados, y de esta manera predecir tendencias del número de cargas de los autotanques por semana con ortoxileno. Este estudio contribuye a la identificación del método de series de tiempo, con el que se obtiene el resultado más favorable en el proceso de planeación de los servicios futuros ante un escenario altamente competitivo en el cual se desarrolla el negocio de la TPM.

**Palabras clave**— Métodos cuantitativos, modelos de series de tiempo, promedio móvil, suavización exponencial.

## Introducción

La evaluación de las tendencias de consumo por parte de los clientes es una actividad que está en el centro de las decisiones por parte de las organizaciones. El análisis de los datos históricos es de suma importancia para las empresas. La capacidad de la realización de los pronósticos ha mejorado con el paso del tiempo en la industria, pero el contexto económico global cada vez nos presenta retos más complejos, la tarea de predecir eventos futuros enfrenta diversos retos que se deben superar, ya que el pronóstico es la única estimación de la demanda hasta que se conoce la demanda real.

El estudio se aplica a una operadora de servicios dentro de la industria petroquímica, la cual es una de los pilares de la economía del país, ya que sirve de plataforma de desarrollo de las actividades de los productos derivados del petróleo. Las operadoras portuarias en México direccionan las actividades diarias en busca del incremento de la productividad para maximizar las oportunidades en un ambiente demandante y competitivo como es el sector petroquímico. Las Terminales petroquímicas marítimas (TPM) son responsables de las operaciones de recepción, almacenamiento y distribución de diversos productos químicos enfrentan retos que requieren seguridad y eficiencia en las operaciones.

El escenario actual de las TPM experimenta un incremento en la recepción de productos químicos, de los cuales se han recibido en promedio mensualmente más de 120 mil toneladas, debido a esto las operaciones en la demanda de servicios de carga de autotanques han aumentado, lo que conlleva a procedimientos eficientes en una industria exigente. Las regulaciones portuarias también son aspectos que las TPM deben cumplir, algunas de estas son el acato de los porcentajes de ocupación de recipientes estacionarios y el uso de los

muelles de carga-descarga; bajos indicadores de desempeño en estos rubros resultan en multas para la organización.

La utilización de los modelos de series de tiempo al proceso de la terminal petroquímica marítima se basa en el registro de una secuencia de datos puntuales igualmente espaciados semanalmente. El propósito de este estudio es analizar el método matemático aplicado a datos de series de tiempo de las demanda de servicios de cargas autotanque con ortoxileno en una terminal petroquímica marítima que maneje el mejor desempeño de pronóstico en comparación con la demanda real obtenida en los periodos a evaluar. De esta manera reduciendo la incertidumbre se predice los comportamientos en las tasas de servicio y se toman las decisiones adecuadas para el aseguramiento de calidad en el servicio.

## **Descripción del Método**

### **Pronósticos**

La predicción de eventos futuros es una herramienta que utilizan las empresas para planear las diferentes operaciones claves del negocio y así lograr tener una respuesta rápida antes las necesidades de los clientes para la satisfacción de los mismos. Los registros históricos por parte de las empresas por lo general permiten hacer predicciones más puntuales, alcanzando anticiparse a las demandas venideras, mejorar operaciones y dando como resultado una menor fluctuación a la hora de tomar decisiones, lo que lleva al desarrollo de ventajas competitivas en los negocios. La administración al realizar la planeación de operaciones enfrenta retos, entre los que podemos mencionar las condiciones cambiantes en los mercados, clientes cada vez más exigentes, factores incontrolables, rápidos avances tecnológicos, entre otros. Una de las principales funciones de los administradores bajo la cual el éxito de las operaciones está en riesgo, sucede cuando se realizan las estimaciones de lo que ocurrirá en el futuro, esta operación debe ser ejecutada con niveles bajos de incertidumbre para el aseguramiento adecuado de la planeación.

(Ballou, 2004) El pronóstico de la demanda es vital para la firma como un todo, ya que proporciona los datos de entrada para la planeación y control de todas las áreas funcionales, incluyendo logística, marketing, producción y finanzas. Los niveles de demanda y su programación afectan en gran medida los niveles de capacidad, las necesidades financieras y la estructura general del negocio

(DuBrin, 2008) Menciona que todas las planeaciones involucran a los pronósticos, o la predicción de eventos futuros. La importancia de los pronósticos radica en que si la evaluación de las tendencias no es la adecuada al proceso en estudio y no permite a la empresa reaccionar a las demandas del mercado antes que la competencia, la competencia puede obtener una ventaja invaluable. El gran valor de realizar pronósticos adecuados en la industria permite la adaptación a fenómenos volátiles. La manera en que los negocios reaccionan a las recientes tendencias emergentes es quizá el mejor indicador de un futuro exitoso. Los pronósticos utilizados en planeación estratégica son especialmente difíciles de realizar porque involucran un gran número de tendencias a analizar. Los pronósticos pueden ser basados en información cualitativa y cuantitativa, la combinación de ambos métodos es la utilizada para la planeación estratégica. Los métodos cuantitativos involucran ya sea la extensión de datos históricos o el desarrollo de modelos para identificar la causa de un resultado particular. Un enfoque histórico ampliamente usado es el análisis de series de tiempo. Un análisis de series de tiempo es una secuencia de observaciones que toman lugar en intervalos regulares a través de un periodo de tiempo.

Existen dos opciones generales para realizar los pronósticos, de manera que existen dos maneras de abordar todos los modelos de decisión. Los enfoques con los cuales se puede realizar las estimaciones futuras son los análisis cuantitativos y cualitativos.

Los pronósticos cuantitativos basan su operación en el uso de modelos matemáticos complementados con datos históricos y/o variables causales para la realización de pronósticos de la demanda. A diferencia de los pronósticos cuantitativos los pronósticos cualitativos incorporan factores como la intuición, las emociones, las experiencias personales y el sistema de valores de quien toma las decisiones para llegar a un pronóstico. La decisión de cual tipo de modelos de estimación seguir depende del enfoque que las empresas necesites, en el desarrollo de las operaciones de pronósticos la combinación de ambos métodos resulta más efectiva.

(Render, 2009) Los métodos cuantitativos caen en dos categorías:

- |                             |   |                             |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| 1. Enfoque intuitivo        | } | Modelos de Series de tiempo |
| 2. Promedios móviles        |   |                             |
| 3. Suavización exponencial  |   |                             |
| 4. Proyección de tendencias |   |                             |
| 5. Regresión lineal         | } | Modelo asociativo           |

Para la realización de este estudio se analizaran dos métodos cuantitativos de los modelos de series de tiempo.

(Render, 2009) Los modelos de series de tiempo predicen bajo el supuesto de que el futuro es una función del pasado. En otras palabras, observan lo que ha ocurrido durante un periodo y usan una serie de datos históricos para hacer un pronóstico.

Descomposición de una serie de tiempo

Analizar una serie de tiempo significa desglosar los datos históricos en componentes y después proyectarlos al futuro. Una serie de tiempo tiene cuatro componentes:

- La tendencia es el movimiento gradual, hacia arriba o hacia abajo, de los datos en el tiempo.
- La estacionalidad es un patrón de datos que se repite después de un periodo de días, semanas, meses o trimestres.
- Los ciclos son patrones, detectados en los datos, que ocurren cada cierta cantidad de años. Usualmente están sujetos al ciclo comercial y son de gran importancia para el análisis y la planeación del negocio a corto plazo.
- Las variaciones aleatorias son “señales” generadas en los datos por casualidad o por situaciones inusuales. No siguen ningún patrón discernible y, por lo tanto, no se pueden predecir.

(Morales, 2001) Los modelos de series de tiempos no explica el fenómeno económico bajo estudio, sino que sencillamente predicen el futuro de la variable, en base a la conducta histórica de esa variable (su propio pasado); sin ninguna influencia de otra variable (económica, comercial, laboral, social, etc.). En otras palabras, los modelos de series de tiempo proyectan a la variable en estudio, en base a su pasado histórico y sus propios componentes. Ejemplo de estas variables, constituyen, índices de producción; ventas, índice de precios, etc.

(Krajewski & Ritzman, 2000) En el método de promedio móvil pueden incluirse todos los periodos pretéritos de demanda que se desee. Generalmente, la estabilidad de la serie correspondiente a la demanda determina cuantos periodos será necesario incluir (es decir el valor de  $n$ ). Las series de demanda estables son aquellas para las cuales el promedio (que habrá de calcularse mediante el método de pronóstico) cambia solamente en forma infrecuente. Deberán utilizarse valores grandes de  $n$  para la series de demanda que sean estables, y valores pequeños de  $n$  para los que sean susceptibles de cambios en el promedio fundamental.

(Hanke, 2006) El modelo de promedios simples utiliza la media de todos los datos para hacer el pronóstico. ¿Qué pasa si el analista se preocupa más por las observaciones recientes? Se puede especificar un número constante de puntos de datos al inicio y se puede calcular una media para las observaciones más recientes. El término promedio móvil se usa para pronosticar el siguiente periodo. La siguiente ecuación da el pronóstico como el promedio móvil simple. Matemáticamente, el promedio móvil simple se expresa como

$$\text{Promedio móvil} = \frac{\Sigma \text{Demanda en los } n \text{ periodos}}{n} \quad \text{Ecuación 1}$$

El promedio móvil para el periodo  $t$  es la media aritmética de las observaciones más recientes  $k$ . En un promedio móvil se asignan pesos iguales a cada observación. Cada nuevo punto de datos se incluye en el promedio al estar disponible y se elimina el punto de datos más antiguo. La tasa de respuesta a los cambios en el patrón subyacente de datos depende del número de periodos,  $k$ , incluidos en el promedio móvil. El modelo del promedio móvil no maneja muy bien la tendencia ni la estacionalidad, aunque lo hace mejor que el método de promedio simple.

(Render, 2009) Cuando se presenta una tendencia o un patrón localizable, pueden utilizarse ponderaciones para dar más énfasis a los valores recientes. Esta práctica permite que las técnicas de pronóstico respondan más rápido a los cambios, pueden darse mayor peso a los periodos más recientes.

### **Suavizamiento exponencial**

(Render, 2009) El suavizamiento exponencial es un sofisticado método de pronóstico de promedios móviles ponderado que sigue siendo bastante fácil de usar. Implica mantener muy pocos registros de datos históricos. La fórmula básica para el suavizamiento exponencial se expresa como sigue:

Nuevo pronóstico = Pronóstico del periodo anterior +  $\alpha$ (Demanda real del mes anterior – Pronóstico del periodo anterior) Ecuación 2

donde  $\alpha$  es la ponderación, o constante de suavizamiento, elegida por quien pronostica, que tiene un valor de entre 0 y 1. La ecuación 2 también puede escribirse matemáticamente como:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

$F_t$  = nuevo pronóstico

$F_{t-1}$  = pronóstico del periodo anterior

$\alpha$  = constante de suavizamiento (o ponderación) ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$A_{t-1}$  = demanda real en el periodo anterior

El concepto no es complicado. La última estimación de la demanda es igual a la estimación anterior ajustada por una fracción de la diferencia entre la demanda real del último periodo y la estimación anterior. La constante de suavizamiento,  $\alpha$ , se encuentra generalmente en un intervalo de .05 a .50 para aplicaciones de negocios. Puede cambiarse para dar más peso a datos recientes (cuando  $\alpha$  es alta) o más peso a datos anteriores (si  $\alpha$  es baja).

El enfoque de suavizamiento exponencial es fácil de usar y se ha aplicado con éxito en prácticamente todo tipo de negocios. Sin embargo, el valor apropiado de la constante de suavizamiento,  $\alpha$ , puede hacer la diferencia entre un pronóstico preciso y uno impreciso. Se eligen valores altos de  $\alpha$  cuando el promedio subyacente tiene probabilidades de cambiar. Se emplean valores bajos de  $\alpha$  cuando el promedio en que se basa es bastante estable. Al elegir los valores de la constante de suavizamiento, el objetivo es obtener el pronóstico más preciso.

### **Medición del error de pronóstico**

La exactitud general de cualquier modelo de pronóstico puede determinarse al comparar los valores pronosticados con los valores reales u observados. Si  $F_t$  denota el pronóstico en el

periodo  $t$ , y  $A_t$  denota la demanda real del periodo  $t$ , el error de pronóstico (o desviación) se define como:

$$\begin{aligned} \text{Error de pronóstico} &= \text{Demanda real} - \text{Valor pronosticado} \\ \text{Error de Pronóstico} &= A_t - F_t \text{ Ecuación 4} \end{aligned}$$

En la práctica se usan varias medidas para calcular el error global de pronóstico. Estas medidas pueden usarse para comparar distintos modelos de pronóstico, así como para vigilar los pronósticos y asegurar su buen desempeño. Las tres medidas más populares son la MAD (*mean absolute deviation*; desviación absoluta media), el MSE (*mean squared error*; error cuadrático medio), y el MAPE (*mean absolute percent error*; error porcentual absoluto medio). La primera medición del error global de pronóstico para un modelo es la desviación absoluta media (MAD). Su valor se calcula sumando los valores absolutos de los errores individuales del pronóstico y dividiendo el resultado entre el número de periodos con datos ( $n$ ):

$$MAD = \frac{\sum |Real - Pronóstico|}{n} \text{ Ecuación 5}$$

**Error cuadrático medio** El error cuadrático medio (MSE) es una segunda forma de medir el error global de pronóstico. El MSE es el promedio de los cuadrados de las diferencias encontradas entre los valores pronosticados y los observados. Su fórmula es:

$$MSE = \frac{\sum (\text{Errores de pronóstico})^2}{n} \text{ Ecuación 6}$$

**Error porcentual absoluto medio (MAPE)** se calcula como el promedio de las diferencias absolutas encontradas entre los valores pronosticados y los reales, y se expresa como un porcentaje de los valores reales. Es decir, si hemos pronosticado  $n$  periodos y los valores reales corresponden a esa misma cantidad de periodos, el MAPE se calcula como:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100 |Real_i - Pronóstico_i| / Real_i}{n} \text{ Ecuación 7}$$

### Desarrollo del Estudio

El estudio de la demanda de autotanques al servicio de carga del producto químico ortoxileno en la TPM radica en el interés de la organización de analizar la información de los datos históricos registrados para conocer las tendencias del servicio ofrecido. Las prácticas de mejora continua están inmersas en la empresa, el objetivo de estas es el incremento en la eficiencia del servicio ofrecido a los clientes. Para lograr esto se aplicara el modelo de series de tiempo al servicio en análisis con el cual se realizara una prospección basada en los métodos de promedio móvil y suavización exponencial

Los métodos utilizados contienen una base metodológica de solidez lo cual ayudara al conocimiento de las tendencias, la comparación de los métodos y la elección del que tenga el mejor desempeño frente a la demanda real.

El primer paso para la realización de este análisis es validar los datos históricos y determinar los valores futuros mediante los métodos de pronósticos descritos con anterioridad para conocer la tendencia del servicio de cargas de autotanques. De esta manera se tiene la *tabla 1* donde se encuentran los datos de la serie de tiempo de número de cargas semanales de autotanques con Ortóxileno a analizar.

Tabla 1. Datos de la serie de tiempo de los números de cargas semanales de autotanques.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Servicios	14	9	17	15	17	34	11	12	8	22	18	14
Semana	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Servicios	31	21	15	15	12	15	18	12	19	16	19	

La representación de esta serie de tiempo de se puede observar en la *figura 1*. En la cual se aprecia el comportamiento de los datos. Se llevó a cabo la realización de los métodos de Promedio Móvil de 3 semanas y suavización exponencial con  $\alpha=0.1$ . Los cálculos se muestran en la *tabla 2*.

Tabla 2. Cálculos de los métodos de Promedio Móvil y Suavización Exponencial  $\alpha=0.1$ .

Semana	Número de Servicios	Promedio Móvil Ponderado 3 Meses	Pronóstico con $\alpha=0.1$	DA para Promedio Móvil de 3 Semanas	DA para suavización exponencial $\alpha=0.1$
1	14		18		4
2	9		17		8
3	17		16		1
4	15	13	17	2	2
5	17	14	16	3	1
6	34	16	16	18	18
7	11	22	18	11	7
8	12	21	18	9	6
9	8	19	17	11	9
10	22	10	16	12	6
11	18	14	17	4	1
12	14	16	17	2	3
13	31	18	17	13	14
14	21	21	18	0	3
15	15	22	18	7	3
16	15	22	18	7	3
17	12	17	18	5	6
18	15	14	17	1	2
19	18	14	17	4	1
20	12	15	17	3	5
21	19	15	16	4	3
22	16	16	17	0	1
23	19	16	17	3	2
			Suma de DA	<b>119</b>	<b>95</b>

### Resultados y discusión

Se aplican las medidas para el cálculo de los errores globales del pronóstico de los métodos de promedio móvil y suavización exponencial. Se llevan a cabo las operaciones de las ecuaciones 4,5,6 y 7. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los cálculos de las medidas de error.

Medidas de Error	Ecuación	Resultado para Promedio Móvil	Resultado para Suavización Exponencial $\alpha=0.1$
<b>MAD</b> Desviación Absoluta Media	$MAD = \frac{\Sigma Real-Pronóstico }{n}$	5.950	4.654
<b>MSE</b> Error Cuadrático Medio	$MSE = \frac{\Sigma(Errores\ de\ pronóstico)^2}{n}$	57.461	39.727
<b>MAPE</b> Error Porcentual Absoluto Medio	$MAPE = \frac{\Sigma_{i=1}^n 100 Real_i - Pronóstico_i /Real_i}{n}$	37.833	30.661

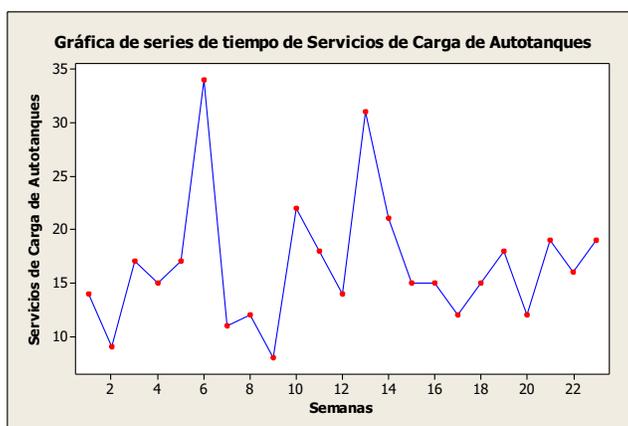


Imagen 1. Series de tiempo de servicios de carga.

En la imagen 1 se muestran los patrones y el comportamiento de los datos en el tiempo. En la imagen se puede apreciar el comportamiento de los servicios de carga respecto al número de semanas. La imagen 1 nos permite examinar variaciones semanales, como por ejemplo las ocurridas en la semana 6 y 14.

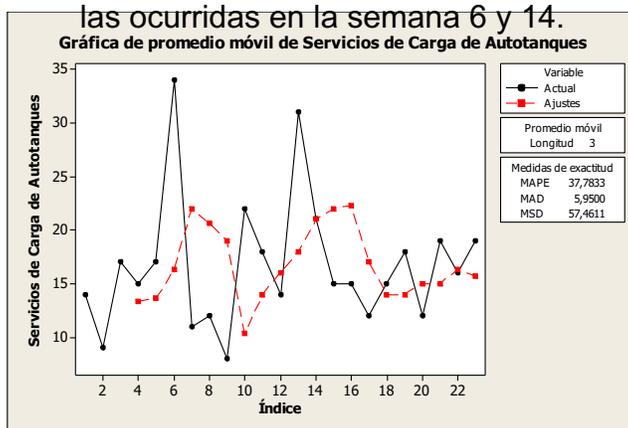


Imagen 2. Gráfica de promedio móvil.

Lo que se presenta en la imagen 2 es la gráfica que se obtiene a partir de las observaciones consecutivas de los datos de la serie de tiempo de la tabla 2, los datos están agrupados en subgrupos de 3 semanas, se calcula la media de estos subgrupos y los promedios móviles se crean entonces a partir de estas medias.

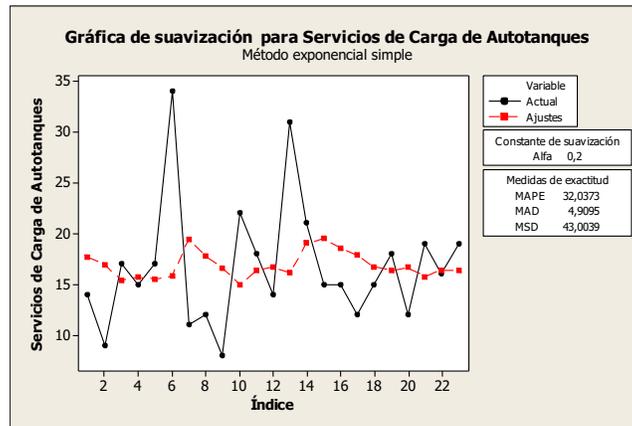


Imagen 3. Gráfica de suavización exponencial  $\alpha=0.1$ .

Se utilizó Minitab para la realización de las gráficas mostradas en las imágenes 1,2 y 3. Dentro de la imagen 3 se graficó la constante de suavización con valor de  $\alpha=0.1$ . Las tres medidas de exactitud se aprecian en los recuadros que están contenidos dentro de la misma imagen.

## Conclusiones

Las tres medidas de exactitud utilizadas, desviación absoluta media, error cuadrático medio y error porcentual absoluto medio, fueron calculados para la comparación entre los métodos de promedio móvil y suavización exponencial; lo cual dio como resultado la tabla 3. La cual muestra una mejor tendencia de las medidas de error para los resultados del método de suavización exponencial. Debido a la diferencia entre las mediciones de exactitud de los dos métodos, se considera el método del modelo de series de tiempo más apto al de suavización exponencial en comparación de promedio móvil, para el pronóstico del número de servicios semanales de carga de autotanques con ortoxileno en una terminal petroquímica. Con esta información la administración de la terminal puede tomar decisiones tomando en cuenta estos resultados.

## Referencias Bibliográficas

- Ballou, R. (2004). Logística Administración de la cadena de suministro. México: Pearson Educación.
- DuBrin, A. (2008). Essentials of management. Mason: Cengage Learning.
- Hanke, J. (2006). Pronóstico en los negocios. México: Pearson educación.
- krajewski, L., & Ritzman, L. P. (2000). Administración de Operaciones. Estrategia y análisis. México: Pearson Educación.
- Morales, E. (2001). Introducción a la Econometría. Quito: Abya-Yala.
- Render, B. (2009). Principios de administración de operaciones. México: Pearson Educación.