

SELECCIÓN DE UN MODELO DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL PARA PRONOSTICAR EL PRECIO DE LAS ACCIONES DE UNA AEROLÍNEA

EXPONENTIAL SMOOTHING MODEL SELECTION TO FORECAST PRICES OF AN AIRLINE STOCK

Joel Arturo Sánchez Borboa

Tecnológico Nacional de México / IT de Culiacán, México
joel.sb@culiacan.tecnm.mx

José Luis Hernández Juárez

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
joselh@uas.edu.mx

Baltazar Pérez Cervantes

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
baltazarpc@uas.edu.mx

Recepción: 28/febrero/2024

Aceptación: 31/julio/2024

Resumen

El presente documento pretende brindar una orientación al analista de negocio y al inversionista para analizar, aplicar y seleccionar el modelo de pronóstico de suavización exponencial más apropiado, que permita mejorar su proceso de toma de decisiones, y por lo tanto potenciar sus utilidades. El análisis propuesto servirá de apoyo para predecir el comportamiento del precio de las acciones de la aerolínea Controladora Vuela Compañía de Aviación SAB de CV (Volaris), tomando como base la información histórica correspondiente al periodo septiembre 2013-diciembre 2023.

Se describen, aplican y contextualizan las técnicas de suavización exponencial simple, doble y triple (Holt Winters), demostrando que el método Holt Winters aditivo es el más adecuado debido a que arroja el índice de la raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) menor en comparación con las otras técnicas analizadas.

Palabras clave: Modelos de pronóstico, series de tiempo, suavización exponencial.

Abstract

The present document is aimed to provide guidance for business analysts and investors to analyze, apply and select the proper exponential smoothing model, in order to improve the decision-making process and thus, enhance benefits. The proposed analysis will serve as support to predict behavior of stock market prices of the airline Controladora Vuela Compañía de Aviación, SAB de CV (Volaris), based on its historical information corresponding the period September 2013 – December 2023. Exponential, double and triple exponential (Holt Winters) techniques are described and applied, probing that the additive Holt Winters method is selected since it shows the smallest root mean squared error (RMSE) in comparison with the other techniques explored.

Keywords: *Exponential smoothing, forecasting models, time series.*

1. Introducción

Hoy en día, los conceptos de eficiencia y eficacia se han vuelto cada vez más populares en las organizaciones para alcanzar un mejor desempeño. Sin importar el sector donde se clasifiquen, las empresas se interesan en generar ventajas competitivas que les permitan colocarse en una mejor posición en el mercado. El adecuado y estratégico manejo de los recursos, contempla también el empleo apropiado de la información para la toma de decisiones.

Contreras et al [2016] afirman que las organizaciones operan en un ambiente de inseguridad, por lo que es necesario disminuir los riesgos en la toma de decisiones en todos los niveles modelando lo que pasará en el futuro. La incertidumbre debe matizarse, por lo que es necesario que las instituciones empleen adecuadamente toda la información disponible (histórica y actual). Las organizaciones no deben basarse en supuestos con el fin de evitar tomar malas decisiones, apegando los modelos a la realidad de la empresa, y no del entorno. La elección de un método de pronóstico debe tener la consideración principal de facilitar la toma de decisiones de organizaciones e individuos. El objetivo de un pronóstico es posibilitar la toma de decisiones sobre el futuro, considerando los riesgos estimados e involucrados en la misma.

La información histórica de una organización representa una oportunidad para replantear objetivos y planes, así como también para evaluar su desempeño. No obstante, esta información también permite, a través de diferentes herramientas estadísticas, pronosticar y planear actividades futuras en diversas áreas de la empresa, ya sea de producción, adquisición, financiamiento, contratación, etc. De acuerdo con Sarmiento, los dueños de las empresas se enfrentan diariamente con el reto de pronosticar el nivel de actividad económica futura, ya sea en los aspectos de utilidades, ventas, inversiones, costos, etc. Cualquier elemento importante que permita planificar los negocios. Para lograr este propósito, es necesario contar con información confiable y suficiente concerniente al aspecto histórico con el objetivo de analizarla [2008]. El análisis de series de tiempo representa una herramienta fundamental en el desarrollo de pronósticos.

Yu et al [2024] establecen que el pronóstico basado en el análisis de series de tiempo ha cobrado atención significativa al tratar de explorar las leyes y tendencias intrínsecas ocultas en los datos. Como resultado de la observación durante un periodo de tiempo específico, las series de tiempo pueden ser definidas como un conjunto de variables aleatorias durante ese intervalo. La obtención de pronósticos precisos en las series de tiempo permite mejorar el empleo de la información disponible para la elaboración de análisis y la toma de decisiones. Las técnicas de análisis pueden emplearse en el estudio del tráfico vehicular, en la elaboración pronósticos de datos financieros, del clima, y del empleo de recursos, como en muchas otras aplicaciones.

Bello y Martínez [2007] afirman que una serie de tiempo hace referencia a un conjunto de datos numéricos obtenidos en periodos regulares de tiempo. También se les conoce como series temporales o cronológicas. Se pueden establecer en diferentes unidades de tiempo como la hora, el día, el mes, año o cualquier periodo de interés. El análisis de la serie de tiempo supone que los patrones y tendencias del pasado y del presente, seguirán teniendo influencia de la misma forma en el futuro. Los objetivos de dicho análisis serán identificar y aislar los elementos o factores de influencia para realizar proyecciones futuras en la variable de estudio. Por otra parte, León, Betancur, Jaimes y Grisales [2016], establecen que los análisis

de series de tiempo representan una técnica que involucra el estudio de individuos o grupos, los cuales se observan en momentos de tiempo sucesivo. Permite estudiar relaciones causales entre diferentes variables que cambian a lo largo del tiempo, y que también mantienen relación entre sí. Este análisis representa la técnica más importante para desarrollar inferencias acerca del futuro, predicciones con base a la información del pasado y que pueden aplicarse a diferentes disciplinas de estudio. De acuerdo con Villavicencio [s.f.] las series temporales pueden emplearse en las áreas de economía y mercadotecnia, en áreas como proyecciones de empleo, evolución de índice de precios de diferentes artículos, beneficios de entidades bancarias, e índice de precios del petróleo. En el aspecto demográfico, se pueden emplear para proyectar habitantes por periodo de tiempo (años) y tasas de mortalidades. En el estudio del medio ambiente permite proyectar la evolución horaria de elementos en ciudades por diversos años, la cantidad de lluvia en localidades, temperatura mensual, hasta la medición de residuos tóxicos en ríos. También pueden aplicarse en áreas de salud y ecología, entre otros sectores. En este artículo se desarrolla el análisis de series de tiempo orientadas a analizar el comportamiento del precio de las acciones de la empresa Controladora Vuela Compañía de Aviación SAB de CV (Volaris).

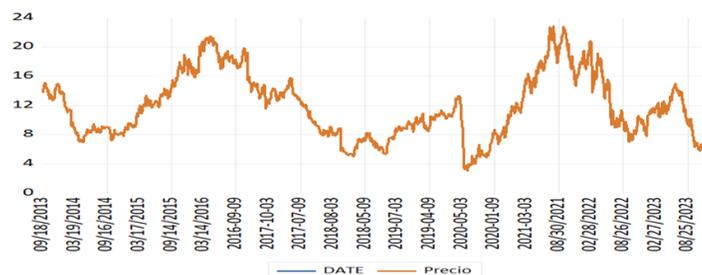
La industria de aerolíneas en México es un sector dinámico, en total existen 31 tanto nacionales como internacionales. De este conjunto, solamente son siete las que dominan el mercado nacional; Aeroméxico, Aeroméxico Connect (antes Aerolitoral), Calafia Airlines, Magnicharters, TAR, VivaAerobus y Volaris [Flores, 2023]. Aeromar cerró sus operaciones tras 15 años en el mercado debido a problemas financieros y dificultad para cerrar acuerdos en condiciones viables para operar en un largo plazo. Volaris encabeza la participación de mercado y Viva Aerobus desbancó a Aeroméxico [Munguía, 2023]. Sin embargo, después de 13 años fuera del mercado, Mexicana de Aviación empezó a operar el día 26 de diciembre de 2023 como la primera aerolínea del Estado tras su quiebra en 2010 [Paredes, 2023].

El análisis de series de tiempo permitirá al analista tener un panorama más amplio al contar con más información para la toma de decisiones, referente a las alternativas de adquisición o venta de las acciones de una compañía en cuestión,

el cual es propósito de este artículo. Al explorar, aplicar y analizar los resultados de los diferentes modelos de suavización exponencial simple, doble y triple, se demuestra cómo este último, llamado también Holt-Winters (de tipo aditivo), es el más adecuado para realizar pronósticos del comportamiento del valor de las acciones. En comparación con los otros modelos, este presenta el menor índice de error. Siempre es importante complementar el análisis exploratorio con el uso de un software estadístico especializado, evitando tomar conclusiones precipitadas al analizar tendencias que no se presentan de primera instancia de manera muy clara.

2. Métodos

Para el desarrollo del presente artículo, se consultaron las bases de datos históricas de la empresa Controladora Vuela Compañía de Aviación S.A.B. de C.V. (Volaris) en las fechas de 18 de septiembre de 2013 al 29 de diciembre de 2023. En su página de relación con inversionistas puede consultarse la información de precio de la acción al cierre, los puntos más altos y bajos alcanzados por jornada, así como también el volumen de acciones correspondiente al día. La figura 1 incluye una gráfica que describe el comportamiento del precio de las acciones a lo largo del periodo de tiempo referido, la cual permite realizar inicialmente un análisis exploratorio.



Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Investor Relations Volaris (2023).

Figura 1 Comportamiento de las acciones de Volaris periodo sept 2013-dic 2023.

Se puede observar a simple vista, que en la figura 1 la línea concerniente al comportamiento del precio de las acciones no muestra claramente los elementos de tendencia ni estacionalidad. Inicialmente, se propone para el estudio emplear la técnica de suavizado exponencial simple, sin embargo, se aplicarán posteriormente

también el suavizado exponencial doble, y suavizado exponencial triple (Holt-Winters) sin estacionalidad, aditivo y multiplicativo. Ello permitirá evaluar los posibles índices de estacionalidad y tendencia que no son observables, para seleccionar (junto con el resultado arrojado de la raíz del error cuadrático medio), el modelo que mejor se ajuste para predecir del precio de la acción. Para el desarrollo más profundo del análisis se emplea el software EViews.

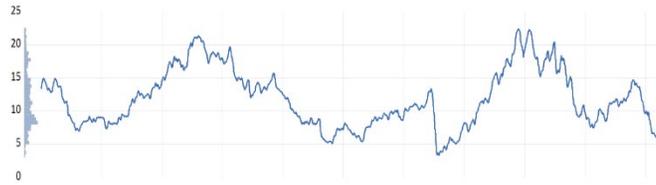
Composición de las series de tiempo

Inicialmente para su análisis se descompuso la serie de tiempo. Fierro, Castillo y Torres [2022], establecen que las series de tiempo presentan los componentes:

- Tendencia: concepto que hace referencia al movimiento gradual sucesivo y continuo, hacia arriba o abajo.
- Estacionalidad: El patrón de los datos que se repite después de n periodos de tiempo. Son menores a un año (días, semanas, meses, trimestres, semestres etc.).
- Ciclos: se definen como patrones de datos superiores a un año, obedecen a factores diferentes a la estacionalidad. No son periódicos y los intervalos de tiempo de esa variación no son fijos.
- Variaciones aleatorias: representan a aquellos datos que se generan por casualidad o situaciones inusuales. No siguen patrones, no pueden predecirse.

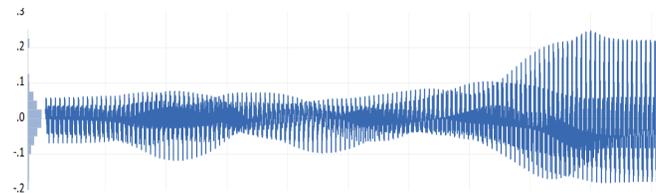
Descomposición de la serie

La figura 2 muestra la descomposición de la serie de tiempo mostrando el componente de tendencia. La figura 3 proyecta el componente de estacionalidad de la serie de tiempo analizada a lo largo del periodo de estudio. La figura 4 proyecta el componente de residuo de tiempo de la serie analizada. Una vez descompuestas las series de tiempo para su análisis, se procede a aplicar las técnicas referidas de suavización exponencial para generar pronósticos. De acuerdo con Enríquez y Rodríguez [2021], un pronóstico consiste en la predicción de un evento futuro. No existen pronósticos perfectos, sin importar la técnica.



Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Figura 2 Componente de tendencia de la serie de tiempo.



Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Figura 3 Componente de estacionalidad de la serie de tiempo.



Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Figura 4 Componente residuo de la serie de tiempo.

Suavización Exponencial Simple

Bhattacharjee et al [2023], afirma que la suavización exponencial simple permite pronosticar datos que tienen una tendencia. También se le conoce como suavización exponencial lineal. También es definida como un método para pronosticar series de tiempo para datos univariados sin tendencia o estacionalidad. Requiere de un simple parámetro alfa, el factor o coeficiente de suavización. De acuerdo con Pretel, Galvis, Rendón y Osorio [2013], la suavización exponencial simple es una técnica que se basa en la atención de valores de una serie de tiempo. Se requiere obtener su promedio de manera exponencial. La ponderación de los datos se realiza brindando mayor peso a las observaciones más recientes y en grado menor a las antiguas. La ecuación 1 [Webster, 1998] muestra la expresión para realizar el cálculo de suavización exponencial simple. Los pesos de los datos pasados se ajustan otorgando un valor ($0 \leq \alpha \leq 1$) [Pretel et al, 2013].

$$P_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha (\alpha - 1) Y_{t-1} + \alpha (\alpha - 1)^2 Y_{t-2} + \dots (\alpha - 1)^{n-1} Y_{t-(n-1)} \quad (1)$$

Por otra parte, la ecuación 2 es considerada una expresión equivalente. Y_t es el valor de la serie en el periodo t . P_{t+1} es el pronóstico para el periodo $t + 1$, y P_t el pronóstico predicción para el periodo en cuestión. El parámetro α representa el factor de suavización tomando en cuenta ($0 \leq \alpha \leq 1$). [Pretel et al, 2013].

$$P_{t+1} = \alpha Y_t + (\alpha - 1)P_t \quad (2)$$

Suavización Exponencial Doble

De acuerdo con Sidqi y Sumitra [2019] el método de suavización exponencial doble se emplea cuando los datos muestran una tendencia. La suavización exponencial con tendencia es parecida a la suavización exponencial simple, con la diferencia de que ambos componentes deben actualizarse en cada nivel (periodo) y en su tendencia.

El nivel es una estimación suavizada de los valores de los datos al final de cada periodo. La tendencia es una estimación suavizada del crecimiento promedio al final de cada periodo.

Pretel et al [2013] describen que en este método se realizan dos suavizaciones exponenciales, de las cuales se genera el valor estimado o pronóstico. La primera suavización se aplica a los valores observados en la serie de tiempo, en la segunda a la serie atenuada, la cual se obtiene del primer proceso de atenuación. Ijujés y Franco [2019] establecen la ecuación 3 para el cálculo del suavizado exponencial doble, donde S_i representa el suavizado exponencial de la serie en el periodo i , dado el parámetro de suavizamiento para el promedio (valor entre 0 y 1).

$$S_i = \alpha x_i + (1 - \alpha) \quad (3)$$

En la ecuación 4, T_i representa el promedio suavizado exponencialmente de la tendencia (periodo i). β indica el parámetro de suavizamiento para la tendencia (valor entre cero y 1).

$$T_i = \beta(\bar{S}_i - \bar{S}_{i-1}) + (1 - \beta)T_{i-1} \quad (4)$$

En la ecuación 5, F_{i+1} representa la suma de $S_i + T_i$, parámetro de suavizamiento para la tendencia (valor entre 0 y 1).

$$F_{i+1} = S_i + T_i \quad (5)$$

Suavizado Exponencial Triple (Holt Winters)

Los modelos Holt-Winters fueron propuestos inicialmente por Holt y Winters, han ganado un amplio reconocimiento por su efectividad en el pronóstico de series de tiempo considerando los factores de tendencia y estacionalidad. Pueden aplicarse a series de tiempo que exhiben tendencias y estacionalidad no lineal. Una de sus ventajas principales es su simplicidad en el ámbito computacional, así como su versatilidad en modelado. Sin embargo, la interpretación de los componentes de tendencia y estacionales empleados en el pronóstico de la serie de tiempo con este modelo es menos directa [Shao et al, 2023]. De acuerdo con Mejía y Gonzales [2019], este método es también conocido como suavización exponencial triple ajustada a la tendencia y a la variación estacional. En particular, este modelo añade un parámetro estacional al modelo de Holt. Permite analizar series de tiempo univariantes que proyectan factores de tendencia y estacionalidad. Incluye métodos para patrones estacional aditivo y multiplicativo.

Modalidad Multiplicativa

La ecuación 6 hace referencia al valor de suavización para el nivel de la serie en el periodo t , α es la constante de suavización exponencial. A_t representa el valor real de la serie de tiempo en el periodo t . S_t forma el componente estacional de la serie para el periodo t , mientras que S_{t-s} , es el componente estacional de la serie para el periodo $t - s$ [Vesga, Contreras y Vesga, 2022].

$$A_t = \alpha \frac{X_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad \alpha \in (0,1) \quad (6)$$

La ecuación 7 desglosa el componente T_t para la estimación de la tendencia. La variable γ representa la constante de suavización exponencial para la tendencia. La ecuación 8 se emplea para el cálculo de la estimación de la estacionalidad.

$$T_t = \gamma (A_t - A_{t-1}) + (1 - \gamma) T_{t-1} \quad \gamma \in (0,1) \quad (7)$$

$$S_t = \delta \frac{X_t}{A_t} + (1 - \delta) S_{t-s} \quad \delta \in (0,1) \quad (8)$$

La variable δ representa la constante de suavización exponencial. S representa la longitud de tiempo de la estacionalidad, donde $s = 6$, semestral.

La ecuación 9 se emplea para la predicción de m periodos en el futuro. Corresponde a la predicción de Holt-Winters para el periodo $t + m$.

$$\hat{X}_{t+m} = (A_t + mT_t) S_{t-s} \quad \delta \in (0,1) \quad (9)$$

Modalidad Aditiva

La ecuación 10 obtiene el valor suavizado para el nivel de la serie en el periodo t . La constante de suavización exponencial para el nivel está representada por α . X_t hace referencia al valor real de la serie en el periodo t [Mejía y Gonzáles, 2019]. La ecuación 11 se aplica para la estimación de la tendencia. T_t se describe como el componente de tendencia de la serie en el periodo t , y γ representa la constante de suavización exponencial para la tendencia. La ecuación 12 se emplea para la estimación de la estacionalidad. S_t representa el componente estacional de la serie para el periodo t . δ es la constante de suavización exponencial para la estacionalidad. S_{t-s} es el componente estacional de la serie calculado para el periodo $t - s$. La ecuación 13 hace referencia a la predicción de Holt-Winters para el periodo $t + m$. Predicción de m periodos en el futuro. La variable s representa la longitud de tiempo de la estacionalidad.

$$A = \alpha (X_t - S_{t-s}) + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad \alpha \in (0, 1) \quad (10)$$

$$T_t = \gamma (A_t - A_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1} \quad \gamma \in (0, 1) \quad (11)$$

$$S_t = \delta (X_t - A_t) (1 - \delta) S_{t-s} \quad \delta \in (0, 1) \quad (12)$$

$$\hat{X}_{t+m} = A_t + mT_t + S_{t+m-s} \quad \delta \in (0, 1) \quad (13)$$

Cálculo del error

Después de emplear las diferentes técnicas de suavización exponencial, se procede a calcular la raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés), el cual es un factor importante en la decisión de la técnica adecuada. De acuerdo con Cabrera [s.f.], la raíz del error cuadrático cuantifica la magnitud de la desviación de los valores que se proyectaron, con respecto a los observados. El rango de valores que toma puede alcanzar desde 0 hasta el infinito (positivo). El 0 indica un ajuste perfecto, los valores grandes un ajuste menor.

Ibujés y Franco establecen que el RMSE se calcula mediante la siguiente fórmula correspondiente a la ecuación 14, donde R_i representa los datos reales del periodo, F_i es el dato que se pronostica en el periodo i , y n es el número de periodos que tiene un valor real como otro pronosticado [2019].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - F_i)^2} \quad (14)$$

De acuerdo con Alipour et al el RMSE ha sido ampliamente adoptado por los científicos de datos en décadas recientes. Este índice se desarrolló basándose en la lógica para calcular el valor promedio de errores cuadrados en lugar de considerar el valor del error en sí. Los puntos de datos con errores sustanciales ejercen una gran influencia en la precisión de las métricas, y en el modelo [2024].

La metodología para el desarrollo de este artículo culmina en el análisis de los diferentes resultados arrojados al aplicar las diferentes técnicas de suavización exponencial, el factor alfa y el error de cada uno como base para desarrollar discusión y conclusiones.

3. Resultados

Aplicación de la técnica de Suavización Exponencial Simple

A la serie de tiempo analizada se le aplicó la técnica de suavizado exponencial simple empleando el software estadístico EViews, en la tabla 1 se observa que arroja un pronóstico para el siguiente periodo que asciende a 9.380130.

Tabla 1 Parámetros de la técnica Suavización Exponencial Simple.

| | |
|----------------------------------|----------|
| Parámetros: Alfa | 0.9990 |
| Suma de los errores al cuadrado: | 298.9210 |
| Raíz del error cuadrático medio: | 0.339988 |
| Pronóstico: | 9.38013 |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Se considera que los datos, por ser diarios, son de tipo no estructurados. En el sistema arrojó el valor de la RMSE de 0.339988 inicialmente.

Aplicación de la técnica de Suavización Exponencial Doble

La aplicación de la técnica de suavizado exponencial doble, a la serie de tiempo planteada, empleando el mismo software, arroja los siguientes resultados en la tabla 2 el RMSE muestra un resultado de 0.367230. Este valor es mayor al registrado en la aplicación de la técnica de suavizado exponencial simple. En la tabla 3 se pueden observar los pronósticos para el mes de enero de 2024.

Tabla 2 Parámetros de la técnica Suavización Exponencial Doble.

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Parámetros: Alfa | 0.5420 |
| Suma de los errores al cuadrado: | 348.7430 |
| Raíz del error cuadrático medio: | 0.367230 |
| Tendencia: | -0.004690 |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Tabla 3 Pronósticos para el mes de enero de 2024 (Suavización exponencial doble).

| Enero 2024 | Valor de la acción | Enero 2024 | Valor de la acción |
|------------|--------------------|------------|--------------------|
| 2 | 9.42094 | 16 | 9.374035 |
| 3 | 9.416249 | 17 | 9.369344 |
| 4 | 9.411559 | 18 | 9.364654 |
| 5 | 9.406868 | 19 | 9.359963 |
| 8 | 9.402178 | 22 | 9.355273 |
| 9 | 9.397487 | 23 | 9.350582 |
| 10 | 9.392797 | 24 | 9.345892 |
| 11 | 9.388106 | 25 | 9.341201 |
| 12 | 9.383416 | 26 | 9.336511 |
| 15 | 9.378725 | | |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Aplicación de la técnica de Suavización Exponencial Triple (Holt Winters) modalidad no estacional

En la tabla 4, El RMSE muestra un resultado de 0.338319, el cual es menor al registrado en la aplicación de la técnica de suavizado exponencial simple y doble. Dicho valor es menor que aquellos resultados arrojados aplicando las técnicas de suavizado exponencial simple y doble. En la tabla 5 se muestran los pronósticos para el mes de enero de 2024 empleando la técnica de suavizado exponencial triple (Holt Winters) modalidad no estacional.

Tabla 4 Parámetros técnica Suavización Exponencial Triple (Holt Winters) no estacional.

| | | |
|----------------------------------|------|-----------|
| Parámetros: | Alfa | 1.0000 |
| | Beta | 0.0000 |
| Suma de los errores al cuadrado: | | 295.9928 |
| Raíz del error cuadrático medio: | | 0.338319 |
| Tendencia: | | -0.005522 |

Fuente: Elaboración propia (software EViews).

Tabla 5 Pronósticos para el mes de enero de 2024 (Holt Winters no estacional).

| Enero 2024 | Valor de la acción | Enero 2024 (Día) | Valor de la acción |
|------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 2 | 9.374478 | 16 | 9.319258 |
| 3 | 9.368956 | 17 | 9.313735 |
| 4 | 9.363434 | 18 | 9.308213 |
| 5 | 9.357912 | 19 | 9.302691 |
| 8 | 9.35239 | 22 | 9.297169 |
| 9 | 9.346868 | 23 | 9.291647 |
| 10 | 9.341346 | 24 | 9.286125 |
| 11 | 9.335824 | 25 | 9.280603 |
| 12 | 9.330302 | 26 | 9.275081 |
| 15 | 9.32478 | | |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Suavizado Exponencial Triple (Holt Winters) modalidad aditivo

En la tabla 6 el RMSE arroja un resultado de 0.338150, el cual es menor al registrado en la aplicación de la técnica de suavizado exponencial simple, doble y Holt Winter no estacional. La tabla 7 muestra los pronósticos para el mes de enero de 2024 (Holt Winters modalidad aditivo).

Tabla 6 Parámetros de aplicación técnica Holt Winters (modalidad aditiva)

| Parámetros | |
|----------------------------------|-----------|
| Alfa | 1.0000 |
| Beta | 0.0000 |
| Gamma | 0.0000 |
| Suma de los errores al cuadrado: | 295.6968 |
| Raíz del error cuadrático medio: | 0.338150 |
| Tendencia: | -0.001784 |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Suavizado Exponencial Triple (Holt Winters) modalidad multiplicativo

En la tabla 8 el RMSE muestra un resultado de 0.338184, el cual es menor al registrado en la aplicación de la técnica de suavizado exponencial simple, doble, Holt Winter no estacional, sin embargo, es mayor que el resultado arrojado en el

Holt Winter aditivo. En la tabla 9 muestra detalladamente los pronósticos para el mes de enero de 2024 empleando esta herramienta.

Tabla 7 Pronósticos para el mes de enero de 2024 (Holt Winters modalidad aditivo).

| Enero 2024 | Valor de la acción | Enero 2024 (Día) | Valor de la acción |
|------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 2 | 9.377157 | 16 | 9.359312 |
| 3 | 9.390716 | 17 | 9.372871 |
| 4 | 9.393443 | 18 | 9.3755988 |
| 5 | 9.388143 | 19 | 9.370298 |
| 8 | 9.371078 | 22 | 9.353233 |
| 9 | 9.368234 | 23 | 9.350389 |
| 10 | 9.381793 | 24 | 9.363948 |
| 11 | 9.38452 | 25 | 9.366675 |
| 12 | 9.379221 | 26 | 9.361376 |
| 15 | 9.362155 | | |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Tabla 8 Parámetros de la técnica Holt-Winters (modalidad multiplicativo).

| | | |
|----------------------------------|-------|-----------|
| Parámetros: | Alfa | 1.0000 |
| | Beta | 0.0000 |
| | Gamma | 0.0000 |
| Suma de los errores la cuadrado: | | 295.7570 |
| Raíz del error cuadrático medio: | | 0.338184 |
| Tendencia: | | -0.001784 |

Fuente. Elaboración propia (software EViews)

Tabla 9 Pronósticos para el mes de enero de 2024 (Holt Winters modalidad mutiplicativo).

| Enero 2024 | Valor de la acción | Enero 2024 (Día) | Valor de la acción |
|------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 2 | 9.372377 | 16 | 9.354549 |
| 3 | 9.378441 | 17 | 9.360598 |
| 4 | 9.384818 | 18 | 9.366959 |
| 5 | 9.38157 | 19 | 9.363714 |
| 8 | 9.37108 | 22 | 9.353241 |
| 9 | 9.363463 | 23 | 9.345635 |
| 10 | 9.369519 | 24 | 9.351676 |
| 11 | 9.375888 | 25 | 9.35803 |
| 12 | 9.372642 | 26 | 9.354786 |
| 15 | 9.362161 | | |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

Comparación del RMSE entre los modelos aplicados

La tabla 10 describe un resumen comparativo de los diferentes valores de RMSE y alfa arrojados empleando el software estadístico, aplicando cada uno de los modelos explorados. De acuerdo esta información, puede observarse que el método Holt-Winters aditivo es el más adecuado, debido a que muestra un índice de error

más pequeño. De acuerdo con Oliva de Con y Molina [2020], la aplicación del método Holt Winters y sus variantes son adecuados para modelar la serie futura, considerando que la constante arroja valor de 1. Condición que indica que los valores históricos más cercanos tienen mayor impacto en el pronóstico, y que la raíz del error cuadrático medio es muy similar. Por ello, se plantean las 19 observaciones posteriores a partir de la última que se observó, la cual finaliza el día 26 de enero de 2024. El total de observaciones consideradas en diciembre de 2023 fueron 19.

Tabla10 Comparativo de los resultados del RMSE en todos los modelos.

| Parámetros | Suavizado Exponencial Simple | Suavizado Exponencial Doble | Holt Winters no estacional | Holt Winters aditivo | Holt Winters multiplicativo |
|------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Alfa | 0.9990 | 0.5420 | 1 | 1 | 1 |
| RMSE | 0.339988 | 0.367230 | 0.338319 | 0.338150 | 0.338184 |

Fuente. Elaboración propia (software EViews).

4. Discusión

Existen diversos métodos que pueden emplearse para pronosticar el comportamiento del precio de las acciones. Los resultados de la aplicación de la suavización exponencial en este caso, señalan que el Modelo Holt Winters aditivo es el más apropiado. Sin embargo, esta condición no es regla para todos los sectores e industrias de la economía. Por ejemplo, Valdivia [2016], en su investigación, señaló que el método de pronóstico promedio móvil simple y ponderado, resulta ser más efectivo que el suavizado exponencial cuando se pretende comprar y vender acciones en la Bolsa de Valores de Lima. Sin embargo, su análisis se enfoca a una empresa clasificada dentro de la industria cementera, mientras que la presente investigación se centró en el sector de las aerolíneas.

5. Conclusiones

El presente trabajo ha delineado la trascendencia e implementación de modelos econométricos, centrándose de manera específica en la aerolínea Controladora Vuela Compañía de Aviación SAB de CV (Volaris). En este sentido, se erige como una metodología de alto valor al análisis de series temporales, respaldado por la

literatura consultada, se consolida como una herramienta esencial que faculta a los analistas para discernir patrones, tendencias y relaciones causales que inciden en la variable de estudio. Este enfoque constituye una herramienta valiosa que capacita a los analistas e inversores para tomar decisiones informadas y estratégicas en el ámbito de la inversión dentro del mercado de aerolíneas mexicanas. Es importante que el analista emplee con cautela las herramientas del análisis exploratorio, pero no de manera definitiva, ya que a simple vista no se percibe algún nivel de tendencia. Sin embargo, los resultados arrojados en el software estadístico indicaron cierto nivel de este componente y un margen de error en cada uno de los modelos, lo que llevó a determinar que el Método Holt Winters aditivo es el más adecuado para desarrollar pronósticos al emplear los modelos de suavización exponencial. Por otra parte, también es importante documentarse de las condiciones del ambiente externo, así como también de las características del mercado. El año 2024 plantea nuevos retos, entre ellos el fin de sexenio, las condiciones del tipo de cambio, el ambiente político, la aplicación del TUA, la dinámica y ocupación de los aeropuertos, la salida y la entrada de nuevos competidores al mercado, los precios del combustible, entre muchos otros factores. El desafío es sin duda, emplear adecuadamente la información cuantitativa y cualitativa en la toma de decisiones, siendo interesante revisar a final del año la validez de los métodos, considerando que las tendencias pueden cambiar en cualquier momento.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Alipour, S., Russo, G., Morandi, A., Yazdani, M. (2024). A comprehensive machine learning-based investigation for the index-value prediction of 2G HTS coated conductor tapes. PROQUEST. <https://www.proquest.com/docview/3054469039/DC1D8A5BEAB84FCCPQ/1?accountid=133045&source=Scholarly%20Journals>.
- [2] Bello, L., Martínez, S. (2007). Una metodología de series de tiempo para el área de la salud; caso práctico. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. <https://www.redalyc.org/pdf/120/12025215.pdf>.

- [3] Bhattacharjee, A., Vishwakarma, G., Gajare, N., Singh, N. (2023). Time series analysis using different forecast methods and case fatality rate for COVID-19 pandemic. *Science Direct*. <https://www.sciencedirect.com/basesuas.idm.oclc.org/science/article/pii/S1757780223002214>
- [4] Cabrera, J. (s.f.) Calibración de Modelos Hidrológicos. Instituto para la mitigación de los efectos del fenómeno del niño. https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- [5] Contreras, A., Zúñiga, C., Martínez, J., Sánchez, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Science Direct*. <https://www.sciencedirect.com/basesuas.idm.oclc.org/science/article/pii/S0123592316300754>.
- [6] Enríquez, L. y Rodríguez, M. (2021). Uso de técnicas de pronósticos para la planeación del inventario de una PYME comercializadora en Tlaxcala, México. *REDALYC*. <https://www.redalyc.org/journal/6379/637968303002/637968303002.pdf>.
- [7] Fierro, C., Castillo, V., Torres, C. (2022). Análisis comparativo de modelos tradicionales y modernos para pronóstico de la demanda: enfoques y características. *RIDE*. <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1203/3556>.
- [8] Flores, K. (2023). ¿Cuánta aerolíneas hay en México en 2023 y cuáles son? *El Debate*. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/mexicana-vuelve-a-levantar-vuelo-13-anos-fuera-mercado/1627204>.
- [9] Ibujés, J, Franco, A. (2019). Uso de las TICS y relación con los objetivos de Desarrollo Sostenible en Ecuador. *REDALYC*. <https://www.redalyc.org/journal/5045/504558496003/504558496003.pdf>.
- [10] León, A., Betancour, J., Jaimes, F., Grisales, H. (2016). Ronda clínica y epidemiológica series de tiempo. Universidad de Antioquía Colombia. *REDALYC*. <https://www.redalyc.org/pdf/1805/180546208012.pdf>.
- [11] Mejía, E., Gonzáles, Salome. Predicción del consumo de energía eléctrica residencial en la Región Cajamarca mediante modelos Holt Winters. *REDALYC*. <https://www.redalyc.org/journal/3291/329160723002/html/#:~:>

text=El%20enfoque%20de%20suavizaci%C3%B3n%20exponencial,aditivo%20y%20multiplicativo%20%5B8%5D.&text=La%20suavizaci%C3%B3n%20exponencial%20es%20probablemente,exponencial%20simple%2C%20doble%20o%20triple.

- [12] Munguía, Aldo (2024). Aerolíneas de bajo costo reinan en México. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2024/01/18/aerolíneas-de-bajo-cost-reinan-en-mexico/>.
- [13] Oliva de Con, F., Molina, R. (2020) Propuesta de procedimiento para la predicción del tipo de cambio a corto plazo mediante técnicas contrastadas. SCIELO. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612020000200007.
- [14] Paredes, M. (2023). Mexicana vuelve a levantar el vuelo; la marca estuvo 13 años fuera del mercado. Excelsior. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/mexicana-vuelve-a-levantar-vuelo-13-anos-fuera-mercado/1627204>.
- [15] Pretel, C., Galvis, O, Rendón, I. Osorio, J. (2013). Dinámica de sistemas para la selección de un sistema de pronóstico con base en el impacto de excesos y faltantes. REDALYC. <https://www.redalyc.org/pdf/4115/411534392004.pdf>.
- [16] Sarmiento, E. (2008). Predicción con series de tiempo y regresión. Universidad de la Rioja. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4780125.pdf>.
- [17] Shao, Q., Aldhafeeri, A., Qiu, S., Khuder, S. (2023). A mutiplicative Holt-Winters model and autorgressive moving-average for hyponatremia mortality rates. Science Direct <https://www-sciencedirect-com.basesuas.idm.oclc.org/science/article/pii/S2772442523001296#b11>.
- [18] Sidqi, F., Sumitra, I. (2019). Forecasting Product Selling Using Single Exponential Smoothing and Double Exponential Smoothing Methods. PROQUEST. <https://www.proquest.com/docview/2561396758/458A053357054517PQ/1?accountid=133045&sourcetype=Scholarly%20Journals>.
- [19] Valdivia, L. (2016). Efectividad entre pronósticos: promedio móvil y suavizado exponencial, en la compra y venta de acciones. *Revistas Universidad*

Nacional del Callao. <https://revistas.unac.edu.pe/index.php/CYT/article/view/50?articlesBySameAuthorPage=7>.

- [20] Vesga, J., Contreras, M., Vesga, J. (2022). Uso del modelo Holt Winters como estrategia para la predicción de condiciones ambientales durante el procesamiento del cacao. Universidad EIA. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1593/1469>.
- [21] Villavicencio, J. (s.f.) Introducción a las series de tiempo. Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D.
- [22] Volaris (2024). Stock quote & chart. Investor Relations Volaris. <https://ir.volaris.com/stock-information/stock-quote-and-chart/>.
- [23] Webster, A. (1998). Técnicas de suavización. Renán Quispe Llanos. <https://renanquispellanos.com/assets/custom/2.2.0/Documentos/Aporte%20Intelectual/Tecnicas%20Prediccion/12.unidad9.pdf>.
- [24] Yu X., Wang, H., Wang, J, Wang, X. (2024). A common feature-driven prediction model for multivariate time series data. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025524008818>.