

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

Trabajo de Postgrado para optar por el título de
Maestría en Matemática.

Título

Aplicación del Método de Holt en la Estadística

Sustentante

Lucia Bautista Manzueta

Asesor

MA. Danny Daniel Manzueta Pérez

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año académico, 2023.

Título

Aplicación del Método de Holt en la Estadística

Declaración de Autoría

Yo, Lucia Bautista Manzueta, declaro que este trabajo de investigación titulado 'Aplicación del Método de Holt en la Estadística', realizado como requisito para obtener el grado de Maestría en Matemáticas, es resultado de mi propio esfuerzo y trabajo intelectual. Todas las fuentes utilizadas han sido debidamente citadas y referenciadas. Atestiguo que este trabajo es original y no ha sido presentado previamente como requisito para obtener ningún otro título académico.

Título

Aplicación del Método de Holt en la Estadística

Trabajo presentado por **Lucia Bautista Manzueta** para la obtención del grado de Magister en Matemáticas.

Composición del tribunal evaluador

Jurado de metodología

Jurado de contenidos

Jurado de redacción

Lic. Yuderka Reyes

Directora de postgrado

CALIFICACIÓN FINAL:_____

Índice general

Declaración de autoría	III
Agradecimientos	VI
Dedicatorias	VIII
Resumen	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	1
1.2.1. Antecedentes históricos	1
1.2.2. Antecedentes académicos	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4. Justificación	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Alcances y límites	6
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Introducción	7
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. Estadística	7
2.2.2. Método de Holt	10
2.3. Series de tiempo con tendencias no lineales	12
2.3.1. Clasificación de series temporales	12
2.3.2. Componentes de una serie temporal	15
2.3.3. Análisis de la tendencia	15
2.3.4. Tendencia evolutiva	15
2.3.5. Diferenciación de la serie	16
2.3.6. Diferenciación estacional de la serie	17
2.4. Series de tiempo multivariadas	17

2.4.1. Funciones Matriciales de covarianza y correlación	18
2.4.2. Función matricial de correlación muestral	19
2.4.3. Matrices de autocorrelación parcial	20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	22
3.1. Introducción	22
3.2. Método de investigación	22
3.3. Diseño de investigación	22
3.4. Tipo de investigación	23
3.5. Enfoque de investigación	23
3.6. Procedimiento de investigación	23
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	24
4.1. Introducción	24
4.2. Eficacia del método de Holt para pronosticar series de tiempo con tendencias no lineales	24
4.3. Comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas	25
4.4. Precisión del método de Holt en la predicción de series de tiempo fi- nancieras	30
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	33
5.1. Introducción	33
5.2. Conclusiones	33
5.3. Lineas futuras de investigación	34
Referencias	35

Agradecimientos

A Dios: Muchas gracias Padre Celestial por ser la luz que ilumina todo el camino en mi vida, te agradezco infinitamente que me haya permitido alcanzar una meta más y seguir avanzando cada día más a la cima del éxito. Gracias por ser mi guía, por darme la vida, la sabiduría y acompáñame en mi trayecto de vida. Gracias padre celestial.

A la Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTECO): Por ser una alta y majestuosa casa de estudios, por acogernos y abrir las puertas para permitir insertarnos al desarrollo profesional y para poder recibir el pan de la enseñanza con más alto nivel. Esta se convirtió en mi segundo hogar y son muchas las experiencias maravillosas vividas en la misma.

A los docentes: Agradezco infinitamente y con especial aprecio a cada uno de los docentes, que se esforzaron para impartir experiencias y maravillosas enseñanzas a través de las asignaturas, cursos, seminarios, asesorías y consultas, en la promoción de este programa.

Al ex- y coordinador de la Maestría Efraín Martínez y Manuel Arismendy Batista: Efraín de manera muy especial gracias por siempre estar dispuesto ayudarme y guiarme en el transcurso, aunque no termino de coordinar la maestría por motivo de salud, siempre estaré agradecida de usted por su esfuerzo y compromiso con el grupo.

Arismendy gracias por aceptar continuar con el grupo. Gracias por estar pendiente y contestar a cada duda de manera inmediata.

Al asesor Danny Daniel Manzueta: Es un excelente asesor, gracias por aceptar ser mi guía en este trabajo de investigación y por su apoyo incondicional, sugerencias, aportaciones, tiempo, esfuerzo y dedicación para mejorar el presente

proyecto; además, por su gran sencillez y humildad, características que la hacen una buena persona. Muchas gracias.

Dedicatorias

A Dios: A Dios omnipotente por ser mi amigo fiel y fortaleza en los momentos más difíciles, ya que en él he encontrado consuelo y la luz que ha guiado mis pasos y me salva día a día de la oscuridad. Por darme la vida y salud. Gracias señor por cada oportunidad que me brinda de crecer, por cada despertar y siempre estar ahí cuando te necesito, sin ti nada de esto fuera posible, eres mi guía donde quiera que voy por eso todos te lo debo a ti padre de amor y bondad.

A mi padre Virgilio Bautista Hernández: Aunque no esté en físico conmigo sé que donde este debe de estar orgulloso de verme alcanzar este logro más en mi vida, agradecerle por darme la vida y siempre cuando estaba en vida darme su apoyo. Quiero papi que donde estés te sienta orgulloso de tu hija. Te amaré por siempre papi.

A mi madre Eduvigis Manzueta Ventura: Por ser un padre, madre, amiga y consejera, dispuesta a ayudarme en los momentos más difíciles, y por ser la persona más importante en mi vida, por trabajar, preocuparte y confiar en mí, por todos los sacrificios que has hecho para sacar a mí y mis hermanos hacia delante sé que sin ti nada de esto hubiera sido posible. Gracias mami por ser un ejemplo para mí. Te amo

A María De La Cruz Mariano: Por ser una segunda madre para mí, por quererme como una hija y apoyarme de manera incondicional. Gracias maría por sus consejos, amor y cariño hacia mí, por hacerme parte de su familia, por formarme y hacerme hoy quien soy. Este es un más logro que se lo debo a usted también.

A mis hermanos: Francisca Manzueta, Joan Manuel Manzueta, Dominga Bautista y Altagracia Bautista darle gracias por todo su apoyo y siempre estar pendiente de mí.

A Alexis Torres: Te doy las gracias por formar parte de mi vida. Gracias por tu apoyo incondicional hacia mí.

A Candy María Rosario: Gracias te doy desde el fondo de mi corazón por tu ayuda, disposición, comprensión en este proceso, sin ti no hubiese sido posible este logro en mi vida. Eres esa hermana que me regalo Dios y la universidad.

A Anyelina Suarez De La Rosa: A ti te doy las gracias por formar parte de mi vida y por hacer que este proceso de la maestría fuera más dinámico y llevadero, sin lugar a dudas, te has ganado una parte importante en mi corazón. Fue un placer coincidir contigo en este proceso. Te quiero mucho.

A mis compañeras de estudio: Julissa Díaz, Marileida Bautista, Sorivel veras, Candy Rosario, Anyelina Suarez. Gracias por formar parte de mi vida y por soportarme en todo momento, juntas hemos tenidos muchas experiencias buenas y malas, pero siempre juntas, no me puedo quejar de las excelentes compañeras que han sido que a pesar de tener pensares diferentes sabemos llevar la situación. Gracias, las quiero como mis hermanas.

A los profesores: Efraín Martínez, Wilson Lucilo Heredia, Leomar Antonio Reyes, Rainier Sánchez y demás. Por ser guías fundamentales en este proceso, porque me han brindado su tiempo y dedicación para compartir un poco de sus conocimientos.

A todos: Aquellos que siempre me brindaron su apoyo y su voto de confianza en mí, gracias por formar parte de mí existir y brindarme animo cuando sentía caer porque este proceso no es fácil, pero con personas como ustedes sé que se puede lograr. De corazón gracias

República Dominicana

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
(UTECO)

Facultad de Postgrado y Educación Continuada



MAESTRÍA EN MATEMÁTICA
Aplicación del Método de Holt en la Estadística

Lucia Bautista Manzueta
Sustentante

MA. Danny Manzueta
Asesor

RESUMEN

Esta investigación que lleva por título “Aplicación del Método de Holt en la Estadística” se fundamentó en analizar la aplicación del método de Holt en la estadística, en la cual se analiza la eficacia del método de Holt en el pronóstico de series de tiempo con tendencias no lineales, concluyendo que puede capturar dichas tendencias, aunque su precisión puede verse afectada por cambios inesperados. Además, se evaluó el comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas, observando que puede ser efectivo para pronosticar múltiples variables simultáneamente, pero se recomienda considerar la interdependencia y las relaciones entre las variables para obtener resultados precisos y luego finalmente, se determinó la precisión del método de Holt en la predicción de series de tiempo financieras, como el precio de las acciones o las tasas de interés, encontrando que puede ser útil para pronosticar tendencias financieras.

Palabras clave: Eficacia, método de Holt, pronóstico, series de tiempo, tendencias no lineales.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En este capítulo se hace un estudio riguroso sobre los elementos que conducen al método de Holt aplicado en la Estadística, para lo cual se presenta el sustento histórico y académico del tema en estudio, también se enfatiza en el planteamiento del problema, objetivos, la justificación y la limitaciones del mismo.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes históricos

Charles Holt fue quien en 1957 desarrolló un modelo de tendencias lineales que evolucionan en una serie de tiempo y puede usarse para generar pronósticos, este modelo recibe el nombre de suavización o suavizamiento exponencial doble (método de Holt).

La técnica de suavizamiento exponencial doble según Holt, C. (1957), se usa para pronosticar series de tiempo que tienen tendencia lineal. Para su planteamiento y solución se utilizan conceptos básicos que son similares a los de los promedios móviles dobles.

Según Bergstrom, T. y Miller, J. (2022), el método Holt es una ampliación perfeccionada del enfoque de la suavización exponencial, mientras que el procedimiento de suavización proporciona una impresión general, movimientos a largo plazo en la información y permite la elaboración de pronósticos a corto plazo. Este método permite también el estudio de tendencia a futuro mediante la elaboración de pronósticos a mediano y largo plazo.

1.2.2. Antecedentes académicos

Según Marin, J., Garcia, J. y Gómez, O. (2018) en su estudio sobre “Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC”, de la Universidad Tecnológica de Pereira Colombia, cuyo objetivo fue minimizar el capital de trabajo invertido en inventarios, tomando como restricción principal el cumplimiento de niveles de servicio establecidos por política de la empresa. En el mismo se concluye, permitió implementarse en las empresas comerciales y en los servicios produjo resultados satisfactorios, tanto en su desempeño computacional como en el aumento del nivel de servicio al mismo costo inicial, o en la reducción del costo de inventario prestando el mismo nivel de servicio. También ha permitido reducir las acciones emergentes para evitar la pérdida de ventas por falta de inventario y los rompimientos de inventario totales.

Según Dedios L.,y Hernández M. (2019), en su estudio sobre “Pronóstico del número de accidentes de tránsito mediante suavización exponencial doble, región Piura 1991-2019”, de la Universidad de PIURA, cuyo objetivo fue pronosticar el número de accidentes de tránsito, en la región Piura 1991-2019, mediante suavización exponencial doble, concluyeron que al analizar la serie de tiempo del número de accidentes de tránsito en la Región Piura durante los años 1991-2018 observamos que los accidentes de tránsito han aumentado año tras año evidenciando así una tendencia creciente a largo plazo, alcanzando su punto más alto en el año 2013 con 4089 accidentes.

Montemayor E. (2019), en su estudio sobre “Métodos de pronósticos para negocios”, de la Universidad Tecnológica de Monterrey, cuyo objetivo fue divulgar el conocimiento y experiencia didáctica de los profesores del Tecnológico de Monterrey a través del uso innovador de la tecnología, en la cual se aprendió que el pronóstico es utilizado para la planeación teniendo en consideración que no hay que confundir meta con pronóstico, como comúnmente se hace. El pronóstico es lo que se espera observar de acuerdo a las estrategias actuales de la empresa y la meta es lo que se desea observar, de esta manera si el pronóstico está por debajo de la meta la empresa

tendrá que hacer ajustes en sus estrategias o en sus metas para que sean alcanzables.

En el mismo sentido, Corres, G., et al., (2020), en su estudio sobre “Análisis de series temporales” de la Revista Ingeniería Industrial, de la Universidad del Mar del Plata - Buenos Aires, cuyo objetivo principal fue hallar un buen método de pronóstico para las ventas y para la programación de inventarios y producción de una empresa de conservas de la zona, que mejore el proceso que actualmente utilizan, y colaborar en una mejor programación de las operaciones desarrolladas en la misma. Concluyeron que no se encontró un único método que sea el mejor para todos los productos, aunque sí se puede observar que, para el 60 % de los productos analizados, los mejores métodos son aquellos que consideran a la estacionalidad dentro del modelo.

Santoyo, E. y González, J. (2020) en su estudio sobre “Comparación de predicción basada en redes neuronales contra métodos estadísticos en pronósticos de ventas” de la Universidad de Carabobo Venezuela. El objetivo del presente artículo, se enfocó al uso de redes neuronales para realizar pronósticos de ventas y contrastar los resultados obtenidos contra pronósticos de métodos estadísticos clásicos en función de un error cuadrático medio. Los resultados observados en esta investigación muestran que los métodos estadísticos para pronosticar utilizados parten del comportamiento de los datos históricos, en estos modelos se supone que el futuro será igual que el pasado, excepto por las variables reconocidas por el modelo.

1.3. Planteamiento del problema

El análisis de series de tiempo es una herramienta importante utilizada para estudiar conjuntos de datos indexados en intervalos regulares de tiempo. Una parte esencial de este análisis radica en su capacidad para predecir datos futuros basándose en la información histórica disponible. Para estos fines, existen diversas técnicas para pronosticar series de tiempo, entre las cuales se encuentra el método de Holt, el cual es un modelo de suavizado exponencial que destaca por su habilidad para manejar datos tanto con tendencias como estacionalidades. No obstante, a pesar de su utilidad,

la implementación efectiva de este método en la estadística todavía enfrenta varias dificultades.

Una de esas problemáticas está relacionada con la selección apropiada de los parámetros de suavizado, la cual puede ser altamente subjetiva, dependiendo a menudo de la experiencia y el criterio del analista. Por otro lado, aunque este método es capaz de manejar tendencias y estacionalidades, su efectividad para series de tiempo más complejas, como los datos multivariados o con tendencias no lineales, aún presenta grandes dificultades.

Estas limitaciones no sólo reducen la precisión y aplicabilidad del método de Holt, sino que también pueden llevar a conclusiones y decisiones erróneas en distintos campos de aplicación. Ahora bien, dado que la estadística juega un papel vital en numerosas disciplinas y es fundamental para la toma de decisiones en una amplia gama de sectores, como economía, finanzas, medicina, ciencias sociales, y más, por lo que es preciso responder a su vez, a las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la eficacia del método de Holt para pronosticar series de tiempo con tendencias no lineales?
2. ¿Cuál es el comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas?
3. ¿Cuál es la precisión del método de Holt en la predicción de series de tiempo financieras, como el precio de las acciones o las tasas de interés?

1.4. Justificación

La aplicación del método de Holt en la estadística se ha convertido en una herramienta fundamental para predecir y analizar tendencias en series de tiempo. Esta técnica, que combina suavización exponencial y pronósticos lineales, permite realizar estimaciones más precisas y confiables. En nuestra investigación, se proponen explorar las ventajas y limitaciones de este método, así como su aplicabilidad en diferentes

contextos y sectores. Con los resultados obtenidos, se espera contribuir al conocimiento existente y brindar recomendaciones prácticas para su implementación efectiva.

Las series de tiempo son un tipo de datos que se utilizan para analizar y predecir tendencias en diferentes ámbitos, como el financiero, el económico, el social y el científico. Sin embargo, su complejidad y variabilidad pueden dificultar su análisis y pronóstico. Para solucionar este problema, se han desarrollado diferentes técnicas de suavización exponencial y modelos de pronósticos lineales, entre los que destaca el método de Holt.

El método de Holt es un modelo predictivo que se basa en el ajuste de dos parámetros (alfa y beta) para realizar pronósticos a corto y mediano plazo. Este método combina la suavización exponencial simple y doble, para estimar la tendencia y la estacionalidad, respectivamente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar la aplicación de Método de Holt en la Estadística.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Analizar la eficacia del método de Holt para pronosticar series de tiempo con tendencias no lineales.
2. Evaluar el comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas.
3. Determinar la precisión del método de Holt en la predicción de series de tiempo financieras como el precio de las acciones o las tasas de interés.

1.6. Alcances y límites

Esta investigación se limita al campo de la Estadística y básicamente estudia el método de Holt, para pronosticar series de tiempo con tendencias no lineales. Además, tiene un alcance en evaluar el comportamiento del método de Holt en series de tiempo de multivariadas y su precision en series de tiempo financieras.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Introducción

El presente capítulo sustenta teóricamente este tema de investigación, el cual involucra el análisis de la aplicación de Método de Holt en la Estadística, esta se obtiene a través de una búsqueda incansable de recursos bibliográficos, cuyo propósito principal es apoyar de manera teórica esta investigación mediante definición y conceptos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Estadística

Definición 2.2.1 Según Bencardino, C. (2019). La estadística se ocupa de los métodos científicos que se utilizan para recolectar, organizar, resumir, presentar y analizar datos así como para obtener conclusiones válidas y tomar decisiones razonables con base en este análisis. El término estadística también se usa para denotar los datos o los números que se obtienen de esos datos; por ejemplo, los promedios. Así, se habla de estadísticas de empleo, estadísticas de accidentes, etcétera.

Definición 2.2.2 Una variable es un símbolo; por ejemplo, X, Y, H, x o B que puede tomar cualquiera de los valores de determinado conjunto al que se le conoce como dominio de la variable. A una variable que sólo puede tomar un valor se le llama constante. Una variable que puede tomar cualquiera de los valores entre dos números dados es una variable continua; de lo contrario es una variable discreta. (Rodríguez, C., Oré, J., y Vargas, D., 2021).

Definición 2.2.3 El concepto de método alude al camino a seguir mediante una serie de operaciones, reglas y procedimientos fijados de antemano de manera voluntaria y reflexiva, para alcanzar un determinado fin que pueda ser material o conceptual (Torres, T. y Miranda, T., 2020).

Definición 2.2.4 Según Gironés, F. (2019), las predicciones guardan relación con teorías y datos científicos, es decir, la predicción es una aplicación de la teoría científica. La predicción científica anticipa nuevo conocimiento, es una contrastación de la teoría y una guía de acción.

Definición 2.2.5 Gironés, F. (2019). La media aritmética, o brevemente la media, de un conjunto de N números $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ se denota así: $\bar{X}$ (que se lee X barra) y está definida como

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.2.1)$$

Definición 2.2.6 Para Bencardino, C. (2019), la media aritmética ponderada son los números $X_1, X_2, \dots, X_K$ se les asignan ciertos factores de ponderación (o pesos) $w_1, w_2, \dots, w_K$ que dependen del significado o importancia que se les asigne a estos números. En este caso, a

$$\bar{X} = \frac{w_1 X_1 + w_2 X_2 + \dots + w_K X_K}{w_1 + w_2 + \dots + w_K} = \frac{\sum wX}{\sum w} \quad (2.2.2)$$

se le llama media aritmética ponderada. Obsérvese la semejanza con la ecuación (2.2.1), la cual se puede considerar como una media aritmética ponderada con pesos $f_1, f_2, \dots, f_K$.

Definición 2.2.7 Según Rodríguez, C., Oré, J. B., y Vargas, D. (2021), la desviación media, o desviación promedio, de un conjunto de N números $X_1, X_2, \dots, X_N$ se abrevia DM y está definida así:

$$\text{DM} = \frac{\sum_{j=1}^N |X_j - \bar{X}|}{N} = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{N} = \overline{|X - \bar{X}|} \quad (2.2.3)$$

donde $\bar{X}$ es la media aritmética de los números y $|X_j - \bar{X}|$ es el valor absoluto de la desviación de X_j respecto de $\bar{X}$.

Definición 2.2.8 Bencardino, C. (2019). La desviación estándar de un conjunto de N números $X_1, X_2, \dots, X_N$ se denota como s y está definida por

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} = \sqrt{(X - \bar{X})^2} \quad (2.2.4)$$

donde x representa la desviación de cada uno de los números X_j respecto a la media $\bar{X}$. Por lo tanto, s es la raíz cuadrada de la media (RCM) de las desviaciones respecto de la media, o, como suele llamársele algunas veces, la desviación raíz-media-cuadrado.

Si $X_1, X_2, \dots, X_N$ se presentan con frecuencias $f_1, f_2, \dots, f_k$ respectivamente, la desviación estándar se puede expresar como

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K f_j (X_j - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum fx^2}{N}} = \sqrt{\overline{(X - \bar{X})^2}} \quad (2.2.5)$$

donde $N = \sum_{i=1}^K f_j = \sum f$. Esta fórmula es útil para datos agrupados.

Definición 2.2.9 Bencardino, C. (2019). La varianza de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación estándar y, por lo tanto, corresponde al valor s^2 en las ecuaciones (2.2.4) y (2.2.5).

Nota: Cuando es necesario distinguir la desviación estándar de una población de la desviación estándar de una muestra obtenida de esa población, se suele emplear s para la última y σ (letra griega sigma minúscula) para la primera. De manera que s^2 y σ^2 representan la varianza muestral y la varianza poblacional, respectivamente.

Las ecuaciones (2.2.4) y (2.2.5) se pueden expresar, respectivamente, mediante las fórmulas siguientes

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N X_j^2}{N} - \left(\frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N}\right)^2} = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N} - \left(\frac{\sum X}{N}\right)^2} = \sqrt{\overline{X^2} - \bar{X}^2} \quad (2.2.6)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K f_j X_j^2}{N} - \left(\frac{\sum_{j=1}^K f_j X_j}{N}\right)^2} = \sqrt{\frac{\sum fX^2}{N} - \left(\frac{\sum fX}{N}\right)^2} = \sqrt{\overline{X^2} - \bar{X}^2} \quad (2.2.7)$$

donde $\overline{X^2}$ representa la media de los cuadrados de los diversos valores de X , en tanto que $\bar{X}^2$ denota el cuadrado de la media de los diversos valores de X .

2.2.2. Método de Holt

El método de Holt, también conocido como suavización exponencial doble, es una técnica de pronóstico que se utiliza para predecir valores futuros en series de tiempo con tendencias lineales. A diferencia del promedio móvil simple, que solo considera los valores pasados, el método de Holt también tiene en cuenta la tendencia de la serie. (Montemayor, J., 2019)

El método se basa en dos componentes principales: el nivel y la tendencia. El nivel representa el valor esperado de la serie en un momento dado, mientras que la tendencia indica cómo está cambiando ese valor con el tiempo. Estos dos componentes se actualizan utilizando dos ecuaciones diferentes. La ecuación para actualizar el nivel utiliza una combinación de los datos históricos y el valor actual. La ecuación para actualizar la tendencia utiliza una combinación de la estimación anterior de la tendencia y la diferencia entre los niveles actual y anterior. Los parámetros α y β controlan la influencia de estos componentes en el pronóstico.

El método de Holt es útil cuando los datos históricos muestran una tendencia lineal clara. Sin embargo, no es adecuado para series de tiempo con patrones estacionales o irregulares. En esos casos, se pueden utilizar técnicas más avanzadas, como el método de Holt-Winters. Es importante destacar que el método de Holt asume que la serie de tiempo es estacionaria, es decir, que no hay cambios en la media o varianza a lo largo del tiempo. Si la serie presenta cambios drásticos o fluctuaciones irregulares, es posible que los pronósticos generados no sean precisos.

En resumen, el método de Holt es una técnica de pronóstico que combina el promedio móvil y la tendencia lineal para predecir valores futuros. Es útil en series de tiempo con tendencias lineales, pero no es adecuado para datos estacionales o irregulares. Los parámetros α y β controlan la influencia de los componentes en el pronóstico. Recuerda que es importante evaluar la estacionalidad y la estacionariedad de los datos antes de aplicar este método.

El método de Holt es utilizado para realizar pronósticos del comportamiento de una serie temporal a partir de los datos obtenidos anteriormente. El método se basa en un algoritmo iterativo que a cada tiempo (mes o semana) realiza un pronóstico sobre el comportamiento de la serie en base a promedios debidamente ponderados de los datos anteriores. (Hervás, A., 2020).

El método Holt es una ampliación perfeccionada del enfoque de la suavización exponencial, mientras que el procedimiento de suavización proporciona una impresión general, movimientos a largo plazo en la información y permite la elaboración de pronósticos a corto plazo. Este método permite también el estudio de tendencia a futuro mediante la elaboración de pronósticos a mediano y largo plazo. (Montemayor, J., 2019).

El método de suavizamiento exponencial es una manera de pronosticar la demanda de un producto en un periodo dado. Estima que la demanda será igual Por ejemplo, la media de los consumos históricos para un periodo dado, dando una mayor ponderación a los valores más cercanos en el tiempo.

El método de suavización exponencial doble o método de Holt usa tres ecuaciones fundamentales:

a) Pronóstico del período t

$$\hat{X}_t = \hat{X}'_t + T_t \quad (2.2.8)$$

b) La serie suavizada exponencialmente (primera suavización)

$$\hat{X}'_t = \alpha \left(\hat{X}_{t-1} \right) + \left[(1 - \alpha) \left(\hat{X}'_{t-1} + T_{t-1} \right) \right] \quad (2.2.9)$$

c) El estimado de la tendencia

$$T_t = \beta \left(\hat{X}'_t - \hat{X}'_{t-1} \right) + [(1 - \beta) (T_{t-1})] \quad (2.2.10)$$

2.3. Series de tiempo con tendencias no lineales

Definición 2.3.1 Según López, J. (2018). Una serie temporal es una sucesión de observaciones de una variable tomadas en varios instantes de tiempo.

- Nos interesa estudiar los cambios en esa variable con respecto al tiempo.
- Predecir sus valores futuros.

Definición 2.3.2 Pra Sanz M. y Lorente, M. (2020). Un gráfico temporal. A menudo, se representa la serie en un gráfico temporal, con el valor de la serie en el eje de ordenadas y los tiempos en el eje de abscisas.

2.3.1. Clasificación de series temporales

Definición 2.3.3 En este sentido para Fierro, A. (2021). Una serie temporal es una sucesión de observaciones de una variable tomadas en varios instantes de tiempo. Estas observaciones provienen de una distribución que puede ser diferente en cada instante del tiempo.

Definición 2.3.4 Hervás, Á. (2020). Una serie es estacionaria si la media y la variabilidad se mantienen constantes a lo largo del tiempo.

Definición 2.3.5 Hervás, Á. (2020). Una serie es no estacionaria si la media y/o la variabilidad cambian a lo largo del tiempo.

- Series no estacionarias pueden mostrar cambios de varianza.
- Series no estacionarias pueden mostrar una tendencia, es decir que la media crece o baja a lo largo del tiempo.
- Además, pueden presentar efectos estacionales, es decir que el comportamiento de la serie es parecido en ciertos tiempos periódicos en el tiempo.

Definición 2.3.6 Según Rodríguez, M., y López, E. (2020). Una serie temporal es estacionaria en sentido amplio si:

- $E[X_t] = \mu$ para todo t
- $\text{Var}(X_t) = \sigma^2$ para todo t .
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+k}) = \gamma_k$ para todo t, k .

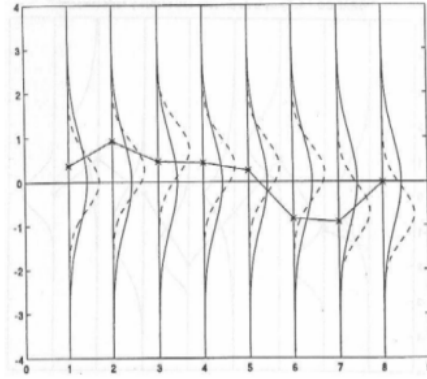


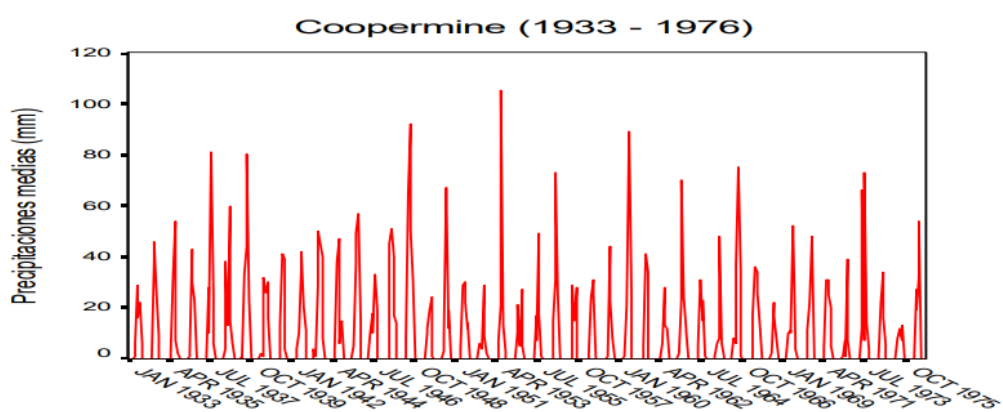
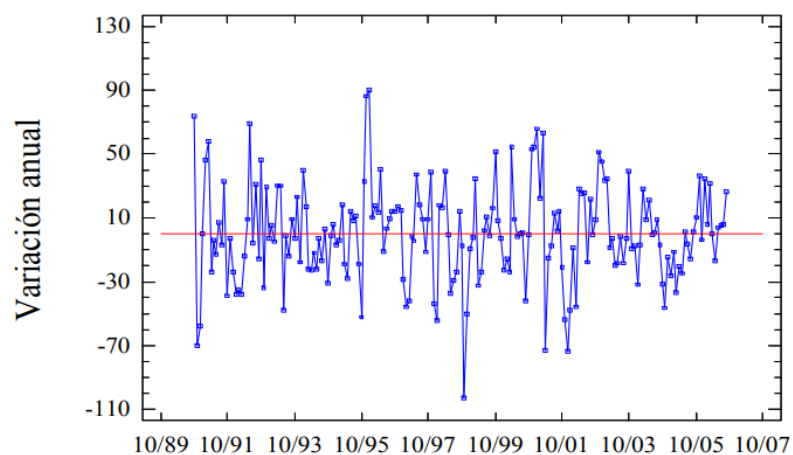
Figura 2.3.1: Serie temporal es estacionaria

El ejemplo más simple es el ruido blanco, cuando la media y la covarianza son siempre cero.

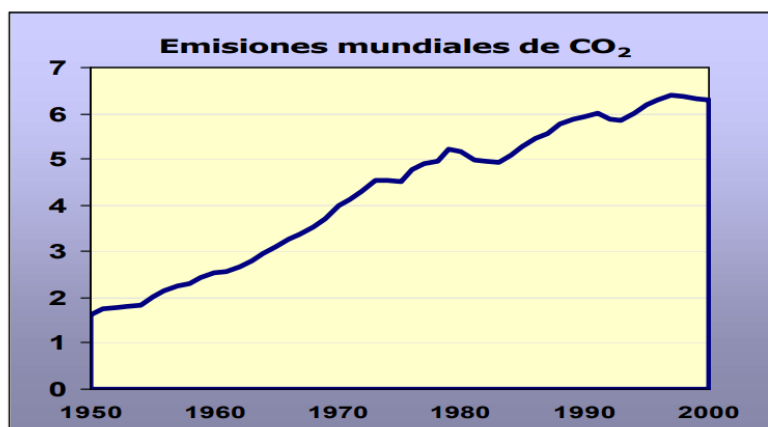
¿Por qué es bueno que las series sean estacionarias? porque Con series estacionarias podemos obtener predicciones fácilmente. Como la media es constante, podemos estimarla con todos los datos, y utilizar este valor para predecir una nueva observación. También se pueden obtener intervalos de predicción (confianza) para las predicciones asumiendo que X_t sigue una distribución conocida, por ejemplo, normal.

Serie estacionaria: Variaciones anuales de la media de los pluviómetros peninsulares para el período Octubre/1990 a Septiembre/2006.

Serie no estacionaria: Precipitaciones medias (mm).



Serie no estacionaria: Emisiones mundiales de CO₂.



2.3.2. Componentes de una serie temporal

En muchos casos, se supone que la serie temporal es la suma de varias componentes, (Long, Z., y Herrera, R. (2018):

$$X_t = T_t + S_t + I_t \quad (2.3.11)$$

$$\text{Valor observado} = \text{Tendencia} + \text{Estacionalidad} + \text{Irregular}$$

Tendencia: comportamiento o movimiento suave de la serie a largo plazo. Estacionalidad: movimientos de oscilación dentro del año. Irregular: variaciones aleatorias alrededor de los componentes anteriores.

2.3.3. Análisis de la tendencia

En algunos casos según Pirela, A., y Pérez, C. (2019), se puede suponer una relación determinista entre T_t y t , por ejemplo una tendencia lineal

$$T_t = a + bt$$

que se estima mediante el método de mínimos cuadrados.

2.3.4. Tendencia evolutiva

A menudo, la tendencia de la serie no sigue una recta y evoluciona a lo largo del tiempo. En ese caso, un método general de estimar T_t es suponer que evoluciona lentamente en el tiempo, y que se puede aproximar con una función sencilla para intervalos cortos del tiempo. (Hervás, Á. (2020).

Ejemplo 2.3.1 Si una recta es una representación válida para tres periodos consecutivos:

$$\begin{cases} T_{t-1} = T_t - \Delta T \\ T_t = T_t \\ T_{t+1} = T_t + \Delta T \end{cases}$$

Si hacemos la media de las tres observaciones consecutivas,

$$m_t = \frac{x_{t-1} + x_t + x_{t+1}}{3},$$

tendríamos que:

$$m_t = T_t + \frac{I_{t-1} + I_t + I_{t+1}}{3}$$

es decir descubriríamos la tendencia subyacente.

Definición 2.3.7 Para instante t , se define la media móvil de orden 3 de la serie como

$$m_t = \frac{x_{t-1} + x_t + x_{t+1}}{3}.$$

Suponemos que la tendencia T_t satisface

$$T_t = m_t - \frac{I_{t-1} + I_t + I_{t+1}}{3}.$$

Como la media del componente irregular es cero, podemos suponer que la media de los tres valores (I_{t-1}, I_t, I_{t+1}) es pequeña, de esta manera m_t recoge fundamentalmente la tendencia de la serie en el instante t . Es posible calcular medias móviles de ordenes más altos. Cuando crece el orden, el valor de m_t cambia más suavemente. (Sanz, M. y Lorente, M. (2020).

2.3.5. Diferenciación de la serie

Según Bianchi, P. (2020). Es un método más general que consiste en no hacer ninguna hipótesis sobre la forma de la tendencia a corto plazo y suponer simplemente que evoluciona lentamente en el tiempo.

Asumimos que la tendencia en el instante t es muy próxima a la tendencia en el instante $t - 1$, y construimos una nueva serie:

$$y_t = x_t - x_{t-1}$$

que denominamos serie diferenciada.

Nota: Diferenciar la serie equivale a suponer que la tendencia en t es el valor de serie en $t - 1$:

$$T_t = x_{t-1}.$$

2.3.6. Diferenciación estacional de la serie

Para Fernández, R., et al., (2021). Es un método más general que consiste en no hacer ninguna hipótesis sobre la forma general de la estacionalidad a corto plazo y suponer simplemente que evoluciona lentamente en el tiempo. Construimos una nueva serie:

$$y_t = x_t - x_{t-s}$$

que denominamos serie diferenciada estacionalmente. Diferenciar estacionalmente la serie equivale a suponer que la estacionalidad en t es el valor de serie en $t - s$:

$$S_t = x_{t-s}$$

2.4. Series de tiempo multivariadas

Para Gallardo P., Rojas, J. y Vergel, M. (2020). Las series de tiempo de muchos ejemplos empíricos consisten en las observaciones a través del tiempo de varias variables relacionadas. Por ejemplo, el estudio de las series de producto bruto y demanda global (suma de consumo, inversiones y exportaciones).

Cuando interesa describir las relaciones entre variables de varias series de tiempo se deben introducir modelos de series de tiempo vectoriales.

En la literatura actual existen principalmente dos tipos de modelos multivariados de Series Temporales: los Modelos vectoriales autorregresivos - promedios móviles (VARMA), introducidos por Box-Jenkins(1976) y los Modelos de Espacio de los Estados, estudiados especialmente por Harvey (1981). En este trabajo se presentan las nociones y conceptos básicos de este último y se ilustra a través del ejemplo mencionado anteriormente.

En primer lugar se introducen las principales características que se definen a partir de series de tiempo multivariadas.

2.4.1. Funciones Matriciales de covariancia y correlación

Definición 2.4.1 Salazar, E. (2019). Sea $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{m,t}]'$, $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, un proceso vectorial a valores reales estacionario m-dimensional con media $E(Z_{i,t}) = \mu_i$ constante para cada $i = 1, 2, \dots, m$, y covariancia cruzada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,s}$, para todo $i = 1, 2, \dots, m$ y $j = 1, 2, \dots, m$ una función que sólo depende de la diferencia de tiempo $(s-t)$. El vector de medias es

$$E(\mathbf{Z}_t) = \boldsymbol{\mu}$$

y la matriz de covariancia

$$\Gamma(k) = \text{Cov}(\mathbf{Z}_t, \mathbf{Z}_{t+k}) = E[(\mathbf{Z}_t - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{Z}_{t+k} - \boldsymbol{\mu})'] = \text{Cov}(\mathbf{Z}_t, \mathbf{Z}_{t-k}),$$

donde cada elemento de la matriz está dado por

$$\gamma_{ij}(k) = E[(Z_{i,t} - \mu_i)(Z_{j,t+k} - \mu_j)] = E[(Z_{i,t-k} - \mu_i)(Z_{j,t} - \mu_j)]$$

para $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, $i = 1, 2, \dots, m$ y $j = 1, 2, \dots, m$.

$\Gamma(k)$ es función de k y se la llama función matricial de covariancia para el proceso vectorial $\mathbf{Z}_t$.

Para $i = j$, $\gamma_{ii}(k)$ es la función de autocovariancia para el i -ésimo componente del proceso $Z_{i,t}$, para $i \neq j$, $\gamma_{ij}(k)$ es la función de covariancia cruzada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,t}$. La matriz $\Gamma(0)$ es la matriz de variancia y covariancia del proceso.

Si el proceso es conjuntamente estacionario entonces lo son los procesos univariados, la recíproca no es siempre cierta. La función matricial de correlación del proceso vectorial se define como

$$\rho(k) = D^{-1/2} \Gamma(k) D^{-1/2} = [\rho_{ij}(k)], \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ y } j = 1, \dots, m$$

D : matriz diagonal donde el i -ésimo elemento de la diagonal es la variancia del proceso i . El i -ésimo elemento de la diagonal de $\rho(k)$, es la función de autocorrelación de la i -ésima dada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,t}$. Las funciones matriciales de covariancia y de correlación son semidefinidas positivas, también cumplen que $\Gamma(k) = \Gamma'(-k)$ y que $\rho(k) = \rho'(-k)$.

2.4.2. Función matricial de correlación muestral

En este sentido Zamora, R., y Lucero, G. (2022). Dadas las series de tiempo vectoriales $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \dots, \mathbf{Z}_n$, se puede calcular la función matricial de correlación muestral

$$\hat{\rho}(\mathbf{k}) = [\hat{\rho}_{i,j}(\mathbf{k})]$$

donde $\hat{\rho}_{ij}(\mathbf{k})$ es la correlación cruzada muestral de las i -ésima y j -ésima series

$$\hat{\rho}_{i,j}(\mathbf{k}) = \left[\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t-k} - \bar{Z}_i) (Z_{j,t} - \bar{Z}_j) \right] / \left[\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t-k} - \bar{Z}_i)^2 \sum_{t=1}^{n-k} (Z_{j,t} - \bar{Z}_j)^2 \right]^{1/2}$$

donde $\bar{Z}_i$ y $\bar{Z}_j$ son las medias muestrales de las series correspondientes. Para procesos vectoriales estacionarios, Hannan(1970) mostró que $\rho_{i,j}(\mathbf{k})$ es un estimador consistente y que se distribuye asintóticamente normal. La variancia y covariancia de esta correlación muestral la obtuvo Bartlett(1966). Si $\rho_{i,j}(\mathbf{k}) = 0$ para $|\mathbf{k}| > q$ para alguna q , entonces

$$\text{Var} [\hat{\rho}_{i,j}(\mathbf{k})] \cong 1/(n - k) \left[1 + 2 \sum_{s=1}^q \rho_{i,i}(s) \rho_{j,j}(s) \right], |\mathbf{k}| > q.$$

Cuando las series $\mathbf{Z}_t$ son ruido blanco, la aproximación de Bartlett para la covariancia asintótica es

$$\text{Cov} [\hat{\rho}_{i,j}(\mathbf{k}) \hat{\rho}_{i,j}(\mathbf{k} + \mathbf{s})] \cong 1/(n - k)$$

y

$$\text{Var} [\hat{\rho}_{i,j}(k)] \cong 1/(n - k)$$

Para muestras grandes, en las expresiones anteriores, a menudo se reemplaza $(n - k)$ por n .

Cuando la dimensión del vector crece las matrices y gráficos de la función matricial de correlación muestral son complejos, para aliviar el problema, Tiao y Box(1981) introducen un método muy conveniente de resumir la correlación muestral. Este método a cada posición (i,j) de la matriz de correlación muestral, asigna los símbolos:

1. + si el valor es mayor que 2 veces el desvío estándar de los errores,

- II. – si el valor es menor que 2 veces el desvío estándar de los errores,
- III. · si el valor está entre 2 veces el desvío estándar de los errores.

2.4.3. Matrices de autocorrelación parcial

En el caso univariado según Abril, M. (2021) la correlación entre Z_t y Z_{t+k} después que se ha eliminado la dependencia lineal mutua sobre las variables intervinientes $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$ es

$$\hat{\phi}_{kk} = \text{Cov} [(Z_t - \bar{Z}_t) (Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k})] / [\text{Var} (Z_t - \bar{Z}_t) (Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k})]^{1/2}$$

donde $\bar{Z}_t$ y $\bar{Z}_{t+k}$ son los estimadores de regresión lineal con error cuadrático medio mínimo basados sobre $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$.

Para encontrar la función matricial de correlación parcial se generalizan las ecuaciones de Yule-Walker en forma no normalizada:

$$\begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(s-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(s-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Gamma(s-1) & \Gamma(s-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi'_{s,1} \\ \Phi'_{s,2} \\ \dots \\ \Phi'_{s,s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \dots \\ \Gamma(s) \end{bmatrix}$$

Box y Tiao definen la función matricial de correlación parcial $\mathbf{P}(s)$ que se encuentra resolviendo las ecuaciones anteriores llegando a que:

$$\mathbf{P}(s) = \Gamma'(1) [\Gamma(0)]^{-1}, \quad \text{para } s = 1$$

$$\mathbf{P}(s) = \{\Gamma'(s) - \mathbf{c}'(s)[\mathbf{A}(s)]^{-1}\mathbf{b}(s)\} \{\Gamma(0) - \mathbf{b}'(s)[\mathbf{A}(s)]^{-1}\mathbf{b}(s)\}^{-1}, \quad \text{para } s > 1$$

Donde

$$\mathbf{A}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(s-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(s-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Gamma(s-1) & \Gamma(s-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma'(s-1) \\ \Gamma'(s-2) \\ \dots \\ \Gamma'(1) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \dots \\ \Gamma(s-1) \end{bmatrix}$$

Definición 2.4.2 (Series de tiempo financieras). El análisis de series de tiempo financieras es uno de los campos más desarrollados en las ciencias financieras en los últimos años, y es el método principal para incorporar la incertidumbre de variables de mercado en el análisis financiero de las empresas.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Introducción

En este capítulo se describen los aspectos metodológicos que marcan el desarrollo de esta investigación. En el mismo se abordan: el diseño, tipo de estudio, método, enfoque y procedimientos de la misma. Delimitando así, el formato de la presente tesis.

3.2. Método de investigación

El presente estudio se enmarca en el método deductivo con una mirada de lo general a lo particular. (Inacio, E., 2019), explica que el método deductivo es la forma más lógica de encontrar la solución al problema planteado. Consiste en hacer suposiciones sobre las posibles soluciones al problema (p. 22). 39). Allí se intenta inferir la relación estadística entre conceptualización, modelado matemático y resolución de problemas.

En esta investigación se utiliza el método deductivo porque, tal como se expresa en los objetivos, permitió analizar los aspectos fundamentales de los distintos enfoques que conducen al análisis del método de Holt en la Estadística, y utilizarlos para establecer la eficacia del método en el pronóstico de series de tiempos con tendencias no lineales, lo que garantiza que todos los elementos involucrados como la series multivariadas y las financieras en esta investigación se verifiquen adecuadamente por separado.

3.3. Diseño de investigación

Se desarrolló bajo un diseño no experimental porque las variables de estudio no fueron manipuladas (Hernández, R., Sampieri, R. y Mendoza, C., 2018). Esto se debe a un estudio teórico, abstracto y transversal, ya que la información documental se recopila en un solo instante.

3.4. Tipo de investigación

Por las características de la investigación se considera lo siguiente: Documental, por promover la exploración de diversos recursos de investigación relacionados con el tema, brinda la orientación necesaria para hacer posible este trabajo. Exploratorio, porque es necesario registrar temas que rara vez se estudian en este campo de estudio. Explicativo, porque permitió analizar el método de Holt en la Estadística. Analítica, porque a través de la investigación, una explicación detallada de las definiciones y conceptos relacionados con la investigación ayudó a restaurar la información de la tesis para que luego pueda ser transferida a otros mediante operaciones de análisis. (Urbina, E., 2020).

3.5. Enfoque de investigación

Esta investigación posee un enfoque cualitativo y como expresan Mendoza, S. y Monroy, T. (2018), argumentan que en el enfoque cualitativo, el investigador revisa ampliamente la literatura para buscar variables significativas que se puedan medir (p. 13). Es cualitativo, ya que se realiza una revisión exhaustiva de la literatura para recopilar la información necesaria para respaldar la investigación.

3.6. Procedimiento de investigación

- a) En primer lugar, se trabajó en la lectura de documentos relacionados con el tema de investigación, con el fin de comprender los conocimientos existentes y establecer los antecedentes y limitaciones del tema a estudiar.
- b) Luego, en un segundo paso, se desarrolla la estructura del enfoque del contenido de la investigación y su análisis.
- c) Se buscó información de materiales físico en Universidades para verificar la revisión de literatura sobre el tema.
- d) Se realizó una verificación del cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Introducción

Expresa de forma clara la intención del capítulo y se luego se procede con el, desarrollo del trabajo y descripción de los resultados de la investigación.

4.2. Eficacia del método de Holt para pronosticar series de tiempo con tendencias no lineales

El método de Holt es más eficaz para pronosticar series de tiempo con tendencias lineales. Si la serie de tiempo presenta una tendencia no lineal, como curvas exponenciales o fluctuaciones irregulares, es posible que el método de Holt no genere pronósticos precisos. En esos casos, es recomendable utilizar técnicas más avanzadas, como el alisado exponencial triple o modelos de series temporales más complejos que puedan capturar mejor la naturaleza no lineal de los datos. Es importante adaptar el método de pronóstico a las características específicas de la serie de tiempo para obtener resultados más precisos.

El método de Holt es un método de suavización exponencial que se utiliza comúnmente para pronosticar series de tiempo con tendencias lineales. Sin embargo, cuando se enfrenta a tendencias no lineales, como cambios bruscos o patrones irregulares, el método de Holt puede generar pronósticos menos precisos. En tales casos, pueden ser necesarios métodos más avanzados, como modelos de regresión no lineal o modelos de series de tiempo más complejos.

El método de Holt es un enfoque ampliamente utilizado para el pronóstico de series de tiempo con tendencias no lineales. Se basa en modelos de suavización exponencial que consideran tanto la tendencia como el nivel de la serie. Sin embargo, en algunos casos, pueden ser más apropiados otros métodos más avanzados, como los modelos ARIMA o los modelos de series temporales basados en aprendizaje automá-

tico. Es recomendable evaluar diferentes métodos y seleccionar el más adecuado para cada situación específica.

Por lo que en mi opinión, el método de Holt es una técnica efectiva para pronosticar series de tiempo con tendencia y sin estacionalidad evidente. Su capacidad para adaptarse a cambios en la tendencia y manejar datos faltantes lo hace una opción confiable en muchas situaciones. Sin embargo, puede tener limitaciones cuando se enfrenta a datos con patrones estacionales claros o variaciones irregulares.

4.3. Comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas

El método de Holt muestra un comportamiento suave y gradual al pronosticar series de tiempo. A medida que se incorporan nuevos datos, el método ajusta gradualmente sus estimaciones para reflejar las tendencias y cambios en los datos históricos. Esto le permite adaptarse a los cambios en la tendencia y proporcionar pronósticos más precisos a medida que se avanza en el tiempo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el método de Holt puede tener dificultades para capturar patrones estacionales o variaciones irregulares en los datos, lo que puede afectar su precisión en ciertos casos.

El método de Holt es un método de suavización exponencial ampliamente utilizado para pronosticar series de tiempo univariadas. Sin embargo, su aplicación a series de tiempo multivariadas no ha sido tan estudiada. En este contexto, el método de Holt se puede aplicar a cada serie de tiempo por separado y luego combinar los pronósticos individuales para obtener un pronóstico multivariado. Sin embargo, esta aproximación no considera las correlaciones entre las series de tiempo, lo que puede resultar en pronósticos subóptimos.

Una alternativa es aplicar el método de Holt directamente a una matriz de datos multivariados. En este caso, el modelo se ajusta simultáneamente a todas las

series de tiempo y se consideran las correlaciones entre ellas. El principal desafío en este enfoque es la selección adecuada del modelo y los parámetros. Además, el método de Holt se basa en la suposición de que la serie de tiempo tiene una tendencia lineal y una variación aleatoria, lo que puede no ser cierto para todas las series de tiempo.

Para abordar estas limitaciones, se han propuesto extensiones del método de Holt para modelos multivariados más generales. Por ejemplo, se puede incluir un término de corrección de error para tener en cuenta la correlación entre las series de tiempo y permitir que las tendencias sean no lineales. También se pueden utilizar modelos VAR (vector autorregresivo) o modelos estructurales para modelar explícitamente las relaciones entre las variables.

En general, el comportamiento del método de Holt en el análisis de series de tiempo multivariadas depende en gran medida del modelo elegido y la calidad de los datos disponibles. Es importante evaluar cuidadosamente diferentes modelos y técnicas de pronóstico antes de tomar decisiones basadas en los pronósticos resultantes. Además, es importante considerar el impacto de las correlaciones entre las series de tiempo y modelarlas adecuadamente para obtener pronósticos precisos y útiles.

En cuanto a las funciones matriciales de covarianza y correlación, si $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{m,t}]'$, $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, un proceso vectorial a valores reales estacionario m -dimensional con media $E(Z_{i,t}) = \mu_i$ constante para cada $i = 1, 2, \dots, m$, y covarianza cruzada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,s}$, para todo $i = 1, 2, \dots, m$ y $j = 1, 2, \dots, m$ una función que sólo depende de la diferencia de tiempo $(s-t)$. El vector de medias es

$$E(\mathbf{Z}_t) = \boldsymbol{\mu}$$

y la matriz de covarianza

$$\Gamma(k) = \text{Cov}(\mathbf{Z}_t, \mathbf{Z}_{t+k}) = E[(\mathbf{Z}_t - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{Z}_{t+k} - \boldsymbol{\mu})'] = \text{Cov}(\mathbf{Z}_t, \mathbf{Z}_{t-k}),$$

donde cada elemento de la matriz está dado por

$$\gamma_{i,j}(k) = E[(Z_{i,t} - \mu_i)(Z_{j,t+k} - \mu_j)] = E[(Z_{i,t-k} - \mu_i)(Z_{j,t} - \mu_j)]$$

para $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, i = 1, 2, \dots, m$ y $j = 1, 2, \dots, m$.

$\Gamma(k)$ es función de k y se la llama función matricial de covariancia para el proceso vectorial $\mathbf{Z}_t$.

Para $i = j$, $\gamma_{i,i}(k)$ es la función de autocovariancia para el i -ésimo componente del proceso $Z_{i,t}$, para $i \neq j$, $\gamma_{i,j}(k)$ es la función de covariancia cruzada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,t}$. La matriz $\Gamma(0)$ es la matriz de variancia y covariancia del proceso.

Si el proceso es conjuntamente estacionario entonces lo son los procesos univariados, la recíproca no es siempre cierta. La función matricial de correlación del proceso vectorial se define como

$$\rho(k) = D^{-1/2} \Gamma(k) D^{-1/2} = [\rho_{i,j}(k)], \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ y } j = 1, \dots, m$$

D : matriz diagonal donde el i -ésimo elemento de la diagonal es la variancia del proceso i . El i -ésimo elemento de la diagonal de $\rho(k)$, es la función de autocorrelación de la i -ésima zada entre $Z_{i,t}$ y $Z_{j,t}$. Las funciones matriciales de covariancia y de correlación son semidefinidas positivas, también cumplen que $\Gamma(k) = \Gamma'(-k)$ y que $\rho(k) = \rho'(-k)$.

En el caso de la función matricial de correlación muestral, para todas las series de tiempo vectoriales si $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \dots, \mathbf{Z}_n$, se puede calcular la función matricial de correlación muestral

$$\hat{\rho}(k) = [\hat{\rho}_{i,j}(k)]$$

donde $\hat{\rho}_{ij}(k)$ es la correlación cruzada muestral de las i -ésima y j -ésima series

$$\hat{\rho}_{i,j}(k) = \left[\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t-k} - \bar{Z}_i) (Z_{j,t} - \bar{Z}_j) \right] / \left[\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t-k} - \bar{Z}_i)^2 \sum_{t=1}^{n-k} (Z_{j,t} - \bar{Z}_j)^2 \right]^{1/2}$$

donde $\bar{Z}_i$ y $\bar{Z}_j$ son las medias muestrales de las series correspondientes. Para procesos vectoriales estacionarios, Hannan(1970) mostró que $\rho_{i,j}(k)$ es un estimador consistente y que se distribuye asintóticamente normal. La variancia y covariancia de esta correlación muestral la obtuvo Bartlett(1966). Si $\rho_{i,j}(k) = 0$ para $|k| > q$ para

alguna q , entonces

$$\text{Var} [\hat{\rho}_{i,j}(k)] \cong 1/(n-k) \left[1 + 2 \sum_{s=1}^q \rho_{i,i}(s) \rho_{j,j}(s) \right], |k| > q.$$

Cuando las series $\mathbf{Z}_t$ son ruido blanco, la aproximación de Bartlett para la covariancia asintótica es

$$\text{Cov} [\hat{\rho}_{i,j}(k) \hat{\rho}_{i,j}(k+s)] \cong 1/(n-k)$$

y

$$\text{Var} [\hat{\rho}_{i,j}(k)] \cong 1/(n-k)$$

Para muestras grandes, en las expresiones anteriores, a menudo se reemplaza $(n-k)$ por n .

Cuando la dimensión del vector crece las matrices y gráficos de la función matricial de correlación muestral son complejos, para aliviar el problema, Tiao y Box(1981) introducen un método muy conveniente de resumir la correlación muestral. Este método a cada posición (i,j) de la matriz de correlación muestral, asigna los símbolos:

- I. + si el valor es mayor que 2 veces el desvío estándar de los errores,
- II. - si el valor es menor que 2 veces el desvío estándar de los errores,
- III. · si el valor está entre 2 veces el desvío estándar de los errores.

Por otro lado, para las matrices de autocorrelación parcial, la correlación entre Z_t y Z_{t+k} después que se ha eliminado la dependencia lineal mutua sobre las variables intervinientes $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$ es

$$\hat{\phi}_{kk} = \text{Cov} [(Z_t - \bar{Z}_t) (Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k})] / \left[\text{Var} (Z_t - \bar{Z}_t) (Z_{t+k} - \bar{Z}_{t+k}) \right]^{1/2}$$

donde $\bar{Z}_t$ y $\bar{Z}_{t+k}$ son los estimadores de regresión lineal con error cuadrático medio mínimo basados sobre $Z_{t+1}, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$.

Para encontrar la función matricial de correlación parcial se generalizan las ecuaciones de Yule-Walker en forma no normalizada:

$$\begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(s-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(s-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Gamma(s-1) & \Gamma(s-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi'_{s,1} \\ \Phi'_{s,2} \\ \dots \\ \Phi'_{s,s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \dots \\ \Gamma(s) \end{bmatrix}$$

Box y Tiao definen la función matricial de correlación parcial $\mathbf{P}(s)$ que se encuentra resolviendo las ecuaciones anteriores llegando a que:

$$\mathbf{P}(s) = \Gamma'(1) [\Gamma(0)]^{-1}, \quad \text{para } s = 1$$

$$\mathbf{P}(s) = \{\Gamma'(s) - \mathbf{c}'(s)[\mathbf{A}(s)]^{-1}\mathbf{b}(s)\} \{\Gamma(0) - \mathbf{b}'(s)[\mathbf{A}(s)]^{-1}\mathbf{b}(s)\}^{-1}, \quad \text{para } s > 1$$

Donde

$$\mathbf{A}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(s-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(s-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Gamma(s-1) & \Gamma(s-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma'(s-1) \\ \Gamma'(s-2) \\ \dots \\ \Gamma'(1) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C}(s) = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \dots \\ \Gamma(s-1) \end{bmatrix}$$

En muchos casos, se supone que la serie temporal es la suma de varias componentes,

$$X_t = T_t + S_t + I_t$$

Valor observado = Tendencia + Estacionalidad + Irregular.

En algunos casos, se puede suponer una relación determinista entre T_t y t , por ejemplo una tendencia lineal

$$T_t = a + bt$$

que se estima mediante el método de mínimos cuadrados.

En este sentido, la diferenciación de la serie es un método más general que consiste en no hacer ninguna hipótesis sobre la forma de la tendencia a corto plazo y suponer simplemente que evoluciona lentamente en el tiempo.

Asumimos que la tendencia en el instante t es muy próxima a la tendencia en el instante $t - 1$, y construimos una nueva serie:

$$y_t = x_t - x_{t-1}$$

que denominamos serie diferenciada.

4.4. Precisión del método de Holt en la predicción de series de tiempo financieras

El método de Holt es una técnica ampliamente utilizada en la predicción de series de tiempo financieras. Sin embargo, su precisión en la predicción de estos datos puede variar según la naturaleza y complejidad de los mismos.

El análisis de series de tiempo financieras es uno de los campos más desarrollados en las ciencias financieras en los últimos años, y es el método principal para incorporar la incertidumbre de variables de mercado en el análisis financiero de las empresas.

En general, el método de Holt es más efectivo en la predicción de series de tiempo financieras con tendencia clara y sin estacionalidad evidente. Esto se debe a que el método se basa en suavizar los datos históricos para predecir valores futuros, lo que puede ser efectivo cuando hay una tendencia clara y estable a lo largo del tiempo.

En cuanto a la precisión del método en la predicción de datos financieros específicos, esto puede depender de varios factores. Por ejemplo, la precisión del método puede verse afectada por la presencia de eventos inesperados o cambios drásticos en las condiciones del mercado. Si los datos históricos no reflejan adecuadamente estos

cambios, el método puede producir pronósticos inexactos.

Además, la precisión del método también puede verse afectada por la calidad y cantidad de los datos históricos disponibles. Si los datos son incompletos o contienen errores, el método puede tener dificultades para generar pronósticos precisos.

En resumen, el método de Holt es una técnica útil para predecir series de tiempo financieras con tendencia clara y sin estacionalidad evidente. Sin embargo, su precisión en la predicción de estos datos puede variar según la complejidad y calidad de los mismos, así como por eventos inesperados o cambios drásticos en las condiciones del mercado.

Por ejemplo, supongamos que se quiere pronosticar las ventas mensuales de una empresa en los próximos 12 meses. Se tienen datos históricos de ventas para los últimos 24 meses. Utilizando el método de Holt, se puede generar un pronóstico para los próximos 12 meses.

- Primero, se debe calcular la tasa de suavizamiento exponencial para la tendencia y el nivel de la serie de tiempo. Digamos que se han seleccionado valores de $\alpha = 0.2$ y $\beta = 0.1$ para la tasa de suavizamiento exponencial de la tendencia y el nivel respectivamente.
- Luego, se utiliza el modelo para generar un pronóstico de ventas para el siguiente mes. Para esto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_{t+1} = L_t + T_t \quad (4.4.1)$$

Donde F_{t+1} es el pronóstico para el siguiente mes, L_t es el nivel estimado en el período anterior, y T_t es la tendencia estimada en el período anterior.

- A continuación, se actualiza la estimación del nivel y la tendencia utilizando las siguientes fórmulas:

$$L_t = \alpha * A_t + (1 - \alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

Donde A_t es la demanda real observada en el período t .

- Este proceso se repite para cada uno de los próximos 12 meses, utilizando los valores estimados para el nivel y la tendencia en cada período anterior.

En resumen, el método de Holt utiliza una combinación de suavizamiento exponencial para estimar la tendencia y el nivel en una serie de tiempo. Estos valores se utilizan para generar pronósticos futuros, que se actualizan a medida que se incorporan nuevos datos históricos. El método puede ser efectivo en la predicción de series de tiempo con tendencia clara y sin estacionalidad evidente, aunque su precisión puede variar según la complejidad y calidad de los datos, así como por eventos inesperados o cambios drásticos en las condiciones del mercado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1. Introducción

Luego de haber presentado los resultados en el capítulo anterior, acordes a las preguntas de investigación, en este capítulo se presentan las conclusiones a las cuales se ha llegado en función a los objetivos.

5.2. Conclusiones

- Luego de plasmar los conceptos y definiciones en el marco teórico y de haber hecho un cruce con la presentación de los resultados de esta investigación, se llegó a los siguientes conclusiones:
 - a) En cuando al objetivo general, al analizar la aplicación del método de Holt en la estadística, se pudo afirmar que este método es una herramienta útil para el pronóstico de series de tiempo con tendencia. Su capacidad para adaptarse a cambios en la tendencia y manejar datos faltantes lo hace una opción confiable en muchas situaciones. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones del método, como su dificultad para capturar patrones estacionales o variaciones irregulares en los datos.
 - b) En cuanto al primer objetivo, analizar la eficacia del método de Holt en el pronóstico de series de tiempos con tendencias no lineales, se observa que este método puede ser efectivo para capturar y pronosticar tendencias no lineales en los datos. Sin embargo, su precisión puede verse afectada por la complejidad de los datos y la presencia de cambios inesperados.
 - c) En cuanto al objetivo, evaluar el comportamiento del método de Holt en series de tiempo multivariadas, se encontró que este método puede ser efectivo en la predicción de múltiples variables simultáneamente. Sin embargo, fue importante considerar la interdependencia y las relaciones entre las variables para obtener pronósticos precisos. Además, se recomienda utilizar técnicas más avanzadas y modelos específicos para datos multivariados

cuando se requiera una mayor precisión en el análisis y pronóstico de estas series de tiempo.

- d) Finalmente, en cuanto al objetivo determinar la precisión del método de holt en la predicción de series financieras, se observó que este método puede ser útil para pronosticar tendencias en datos financieros. Sin embargo, su precisión puede verse afectada por la volatilidad y la complejidad inherente de los mercados financieros.

5.3. Líneas futuras de investigación

Luego de presentar las conclusiones pertinentes, se propone algunas líneas futuras para otros maestrante que le interese el tema en cuestión o qué sirvan para otras generaciones de la comunidad y el país, entre ellos:

- a) Comparativa del método de Holt con otros métodos de pronóstico en la estadística
- b) Aplicación del método de Holt en la proyección de tendencias económicas
- c) Análisis de la precisión del método de Holt en la estimación de datos faltantes
- d) Consideraciones importantes al utilizar el método de Holt en el análisis estadístico
- e) Aplicación del método de Holt en la predicción de demanda y planificación empresarial

Referencias

- Abril, M. (2021). Modelos para el Análisis de las Series de Tiempo.
- Bencardino, C. M. (2019). Estadística básica aplicada. Ecoe Ediciones.
- Bergstrom, T. C., y Miller, J. H. (2022). Experimentos con los principios económicos. Antoni Bosch editor.
- Bianchi, P. (2020). La nueva revolución industrial. Comercial Grupo ANAYA, SA.
- Corres, G., Esteban, A., García, J. C., y Zárate, C. (2020). Análisis de series temporales. Revista Ingeniería Industrial, 8(1).
- Dedios Morales, D. M. L., y Hernández Cañola, P. M. (2019). Pronóstico del número de accidentes de tránsito mediante suavización exponencial doble, región Piura 1991-2019.
- Fernández López, R., Vilalta Alonso, J. A., Quintero Silverio, A., y Díaz González, L. (2021). La demanda turística en una cadena hotelera. Series temporales para un modelo de predicción.
- Fierro, A. A. (2021). Predicción de series temporales con redes neuronales (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Gallardo Pérez, H. D. J., Rojas Suárez, J. P., y Vergel Ortega, M. (2020). Análisis dinámico de series temporales multivariadas. Mundo Fesc, 10(20 (2020)), 41-49.
- Gironés, F. J. (2019). Evaluación de las predicciones climáticas de modelos globales en Chile.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.

- Hervás Martos, Á. (2020). Análisis de series temporales no estacionarias en estudio.
- Holt, C. C. (1957). A Note on RF Gemmill's Article, "The Effect of the Capital Gains Tax on Asset Prices". National Tax Journal, 10(2), 186-187.
- Inacio, E. J. H. (2019). Método de investigación.
- Long, Z., y Herrera, R. (2018). Una contribución a la explicación del crecimiento económico en China. Nuevas series temporales y pruebas econométricas de varios modelos. Cuadernos de economía, 41(115), 1-18.
- López Sáez, J. I. (2018). Análisis de series de tiempo: pronóstico de demanda de uso de aeropuertos en Argentina al 2022.
- Marin, J. A. A., Garcia, J. A. G., y Gómez, O. D. C. (2018). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. Scientia et technica, 18(4), 743-747.
- Mendoza, S. L. H., y Monroy, T. I. S. (2018). Enfoques de la Investigación. Boletín Científico de las Ciencias económico Administrativas del ICEA, 7(13), 67-68.
- Montemayor Gallegos, J. E. (2019). Métodos de pronósticos para negocios.
- Pirela, A. L., y Pérez, C. E. (2019). Análisis estadístico en investigaciones positivistas: medidas de tendencia central. Orbis: revista de Ciencias Humanas, 15(43), 71-81.
- Rodríguez, C. R., Oré, J. L. B., y Vargas, D. E. (2021). Las variables en la metodología de la investigación científica (Vol. 78). 3Ciencias.
- Rodríguez, M. D. C. F., y López, E. V. (2020). El suavizado exponencial en el pronóstico de

- series no estacionarias. *Ciencia Digital*, 4(1), 97-110.
- Salazar, E. S. (2019). Funciones ortogonales empíricas y su aplicación a datos de temperatura superficial del mar.
- Santoyo, E. A. R., y González, J. A. L. (2020). Comparación de predicción basada en redes neuronales contra métodos estadísticos en pronósticos de ventas. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(12), 91-105.
- Sanz-Lorente, M. (2020). Tendencias temporales de los patrones de búsqueda de información sobre servicio de asistencia sanitaria domiciliaria en España. *Hospital a Domicilio*, 4(1), 15-23.
- Torres, T. y Miranda, T. (2020). En defensa del método histórico-lógico desde la Lógica como ciencia. *Revista Cubana de Educación Superior*, 39(2).
- Urbina, E. C. (2020). Investigación cualitativa. *Applied Sciences in Dentistry*, 1(3).
- Zamora, R., y Lucero, G. (2022). Análisis estadístico de dos poblaciones multivariadas para la comparación de gamas de color en la impresión flexográfica de etiquetas y empaques.