

Predicción del consumo de energía eléctrica global de la Empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba mediante modelos Holt –Winters

Prediction of the global electric power consumption of the Municipal Company of Electrical Services Utcubamba through Holt – Winters models

Eduar J Mejía V¹.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue predecir el consumo de energía eléctrica global de la Empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba mediante modelos Holt-Winters. Los modelos de suavización exponencial Holt-Winters, herramientas que sirven para eliminar el ruido de las series de tiempo y predecir el consumo de energía eléctrica futura. La previsión del consumo de energía eléctrica tiene importancia en la planificación energética regional y nacional; a partir de sus resultados los agentes del mercado de energía eléctrica toman decisiones trascendentales para su labor. El método Holt-Winters se estimó para diferentes constantes de suavización con tratamiento de atípicos, que incluye métodos para patrones estacionales aditivos y multiplicativos. El valor del estadístico MAPE fue considerada como el principal estimador de la capacidad del modelo. Para el tratamiento de atípicos se utilizó dos métodos de estimación, mediana de puntos adyacentes y media de puntos adyacentes, conduciendo a resultados similares con un MAPE promedio de 3,38 %. El estadístico MAPE igual a 3,28 % del mejor modelo Holt- Winters con tratamiento de atípicos fué mucho más bajo que el estadístico MAPE igual a 3,76 % del mejor modelo Holt-Winters sin tratamiento de atípicos.

Palabras clave: consumo de energía eléctrica, predicción, atípicos, suavización exponencial, modelo Holt-Winters.

ABSTRACT

The purpose of this research was to predict the global electric energy consumption of the Municipal Electric Services Company Utcubamba through Holt-Winters models. The exponential smoothing models Holt-Winters, tools that serve to eliminate the noise of the time series and predict the consumption of future electrical energy. The forecast of electric power consumption is important in regional and national energy planning; From their results, the agents of the electric power market make transcendental decisions for their work. The Holt-Winters method was estimated for different smoothing constants with atypical treatment, which includes methods for seasonal additive and multiplicative patterns. The MAPE statistical value was considered the main estimator of the model's capacity. For the treatment of atypicals, two estimation methods were used, median of adjacent points and average of adjacent points, leading to similar results with an average MAPE of 3,38 %. The MAPE statistic equal to 3,28 % of the best Holt-Winters model with atypical treatment was much lower than the MAPE statistic equal to 3,76 % of the best Holt-Winters model without atypical treatment.

Keywords: electric power consumption, prediction, atypical, exponential smoothing, Holt-Winters model.

¹ Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Cajamarca, Perú. Email: emejivasquez@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años, debido al aumento de los niveles de vida y el rápido crecimiento de los países desarrollados, existe un fuerte aumento del consumo de electricidad que se detecta regularmente año tras año.

A la luz de esto, muchos autores decidieron investigar sobre el análisis y la previsión del consumo de electricidad utilizando diferentes técnicas (Bianco, Manca, Nardini, y Minea, 2010). La previsión es una de las posibles medidas para la producción eficiente de energía y la gestión racional de los recursos energéticos (Ferbar y Strmčnik, 2016), estos están ganando mucha atención también de los gerentes de la red eléctrica (Rossi y Brunelli, 2015). La previsión del consumo de energía eléctrica tiene importancia en la planificación energética regional y nacional, a partir de sus resultados los agentes del mercado de energía eléctrica toman decisiones más adecuadas para su labor (Mejía y Gónzales, 2019).

Estimar el consumo de electricidad por adelantado es de utilidad para mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda, y gestionar de manera efectiva la producción (generación), distribución y consumo de electricidad en una variedad de escalas temporales; crucial en planificación, análisis y operación de sistemas de energía para asegurar un suministro ininterrumpido, confiable, seguro y económico de electricidad (Bianco et al., 2010; Mejía y Gónzales, 2019). Los modelos, son útiles para la predicción a corto y mediano plazo de las ventas de energía eléctrica.

Las empresas eléctricas tienen que utilizar modelos de previsión de carga para garantizar que la energía suministrada satisfaga la carga de sus clientes más la energía perdida en el sistema (Laouafi, Mordjaoui, Laouafi, y Boukelia, 2016). Esto es muy importante porque permite planificar el desarrollo futuro de la red eléctrica y el presupuesto necesario para las inversiones relativas. Se necesitan modelos precisos de previsión de carga para una variedad de horizontes de tiempo, a muy corto plazo para funciones de control de frecuencia de carga y despacho económico; a corto plazo para la operación diaria en el sistema de energía, a mediano plazo para la programación de mantenimiento de generadores, y a largo plazo para construir nuevas líneas y subestaciones o para actualizar los sistemas existentes (Laouafi et al., 2016).

Al desarrollar un modelo de suavización para predicción se verifica que es intuitivo, fácil de implementar, computacionalmente estable, y que puede manejar satisfactoriamente la estacionalidad tanto aditiva como multiplicativa, incluso cuando las series de tiempo contiene varias entradas cero y un gran componente de ruido (Ferbar, Mojškerc, y Toman, 2016).

La empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba (EMSEU), constituida por la Municipalidad Provincial de Utcubamba, tiene un área de concesión con una extensión de 7,424 km² atendiendo a la población de la ciudad de Bagua Grande, distrito de Cajaruro y otros anexos ubicados en la provincia

de Utcubamba, Región Amazonas - Perú. Es una empresa de servicio público con derecho privado, de economía municipal que opera en el rubro electricidad. El objetivo es predecir el consumo de energía eléctrica global de la empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba mediante modelos Holt-Winters. La técnica de suavización exponencial Holt-Winters se usa para construir modelos sin tratamiento de atípicos y con tratamiento de atípicos, y predecir el consumo de energía eléctrica global a corto y mediano plazo, lo cual permite el planeamiento eléctrico y toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como muestra la data histórica del consumo de energía eléctrica global en MWh (2005-2017) de los últimos 13 años con periodos regulares, y un total de 156 observaciones en resolución mensual. Esta muestra es representativa del conjunto de años de estudio, es una serie donde al menos el 95 % de datos están dentro del límite de confianza, y el coeficiente de correlación (R^2) es 0,9286 (92,86 %). Esto indica que el 92,86 % de la variación del consumo de energía eléctrica es explicado por el tiempo (13 años), quedando el 7,14 % sin explicación por el tiempo, que pueden ser variables no observables (ruidos en la serie). El consumo de energía eléctrica global viene a ser la serie agregada de los sectores residencial, comercial, industrial y alumbrado público. Estos datos se obtuvieron del Sistema de Información Comercial (SICOM) del Osinerming.

Análisis del gráfico de secuencias de la serie consumo de energía eléctrica global

El análisis preliminar de una serie constituye el primer paso a seguir a la hora de estudiar una serie de tiempo original. Esta fase nos permitió detectar las características más importantes de la serie, como tendencia, estacionalidad, ciclaje, y componente irregular o ruido, y también detectar la presencia de valores atípicos.

Se verificó que la serie presenta tendencia ascendente a través del tiempo y estacionalidad. Al ajustar un modelo de regresión se diagnosticaron observaciones poco comunes, presencia de ocho (08) valores atípicos (outliers) que representan un 5,13 %, de los cuales existen dos (02) valores atípicos fuertes en los meses de febrero y diciembre 2011, el resto de atípicos se encuentran muy cerca al límite de confianza, en los últimos meses del año 2017 también se evidencia valores fuera de los límites de confianza, no se trataron porque existe la posibilidad de que el consumo de energía eléctrica pudo haber sufrido cambios súbitos por incrementos de carga en los diferentes sectores de consumo de energía eléctrica, y tener incidencia en la predicción de la serie de tiempo. Para el tratamiento de los atípicos fuertes, se eliminó dichos valores y se reemplazó como valores perdidos mediante dos métodos posibles de estimación, se aplicó el método de mediana y media de puntos adyacentes. Para ambos casos los puntos adyacentes que se tomaron fueron de seis datos.

Ajuste del modelo de suavización exponencial Holt -Winters

El modelo agrega un parámetro estacional al modelo de Holt. En particular, permite tratar series de tiempo univariantes que contienen factores de tendencia y estacionalidad (Koehler, Snyder, y Ord, 2001; Sudheer y Suseelatha, 2015). El enfoque de suavización exponencial Holt-Winters incluye métodos para patrones estacional aditivo y multiplicativo (Sudheer y Suseelatha, 2015).

Modelo Holt-Winters multiplicativo

La suavización exponencial es probablemente el método más utilizado para la difusión. Se conocen modelos de suavización exponencial simple, doble o triple. Para las series temporales estacionales, es útil el modelo estacional de Holt-Winters (Kotillová, 2011; Meira y Cyrino, 2018). Además el modelo Holt-Winters es un alisamiento exponencial para datos con una tendencia y un comportamiento estacional (Meira y Cyrino, 2018). La suavización exponencial de forma multiplicativa, se basa en el cálculo de cuatro componentes (Mejía y Gónzales, 2019). Los modelos matemáticos se presentan en las ecuaciones (1, 2, 3 y 4).

Serie suavizada exponencialmente ó nivel estimado.

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

Estimación de la tendencia

$$T_t = \gamma(A_t - A_{t-1}) + (1-\gamma)T_{t-1} \quad (2)$$

Estimación de la estacionalidad

$$S_t = \delta \frac{X_t}{A_t} + (1-\delta)S_{t-s} \quad (3)$$

Predicción de m periodos en el futuro

$$\hat{X}_{t+m} = (A_t + mT_t)S_{t+m-s} \quad (4)$$

Modelo Holt-Winters aditivo

La suavización de forma aditiva, también se basa en el cálculo de cuatro componentes (Meira y Cyrino, 2018; Mejía y Gónzales, 2019). Los modelos matemáticos se presentan en las ecuaciones (5, 6, 7 y 8).

Serie suavizada exponencialmente ó nivel estimado

$$A_t = \alpha(X_t - S_{t-s}) + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

Estimación de la tendencia

$$T_t = \gamma(A_t - A_{t-1}) + (1-\gamma)T_{t-1} \quad (6)$$

Estimación de la estacionalidad

$$S_t = \delta(X_t - A_t) + (1-\delta)S_{t-s} \quad (7)$$

Predicción de m periodos en el futuro.

$$\hat{X}_{t+m} = A_t + mT_t + S_{t+m-s} \quad (8)$$

Donde A_t es el valor suavizado para el nivel de la serie en el periodo t , α constante de suavización exponencial para el nivel ($0 \leq \alpha \leq 1$), X_t valor real de la serie en el periodo t , T_t componente de tendencia de la serie para el periodo t , γ constante de suavización exponencial para la tendencia ($0 \leq \gamma \leq 1$), S_t componente estacional de la serie para el periodo t , S_{t-s} componente estacional de la serie calculado para el periodo $t-s$, δ constante de suavización exponencial para la estacionalidad ($0 \leq \delta \leq 1$), s longitud de tiempo de la estacionalidad, m periodos futuros a predecir, y \hat{X}_{t+m} predicción de Holt-Winters para el periodo $t+m$.

Cuando existe más de una solución matemática optima, la elección de elegir uno u otro modelo, se define de acuerdo a la pericia del especialista. Algunos programas estadísticos, ofrece un modelo más general al Holt-Winters, modelo compuesto, en el que se puede realizar combinaciones con el objetivo minimizar el error (Ferbar y Strmčnik, 2016; Mejía y Gónzales, 2019).

Análisis de errores del modelo

El análisis de error se basa en tres estadísticos, error porcentual absoluto medio (MAPE), desviación absoluta media (MAD), y error cuadrático medio ó desviación cuadrática media (MSD), se emplean para estimar el rendimiento y la confiabilidad del modelo (Bianco et al., 2010; Mejía y Gónzales, 2019). Cuanto menor es la medida del error, mejor es el modelo de predicción que se ajusta a los datos. Los indicadores se definen en las ecuaciones (9, 10 y 11).

$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_t - \hat{X}_t| \quad (9)$$

$$\text{MSD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 \quad (10)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (X_t \neq 0) \quad (11)$$

Donde X_t valor real en el periodo t , \hat{X}_t es el valor de predicción en el periodo t , y n es el número total de períodos temporales.

Del comportamiento original de los datos, primero se realizó el análisis a la serie original sin tratamientos de atípicos en el software Minitab 17 para diferentes constantes de suavización. Además se verificó que el modelo Holt-Winters multiplicativo presenta menor error de ajuste entre el modelo y la serie de datos, con constantes de suavización α, γ, δ de 0,2, resultando un MAPE de 3,76 %, MAD de 30,71 y MSD de 2115,59.

Estimación de constantes de suavización y análisis de errores del modelo con tratamiento de atípicos

La serie de tiempo original presentó dos (02) valores atípicos (outliers) fuertes en los meses de febrero y diciembre 2011, y se evaluó las medidas de exactitud para cada caso. Para mejorar el ajuste del modelo se realizó el análisis y la aplicación del modelo Holt-Winters aditivo y multiplicativo con tratamiento de atípicos para diferentes constantes de suavización α, γ, δ (0,1, 0,2 y 0,3) en el software Minitab 17. Al evaluar los modelos Holt-Winters aditivo y multiplicativo con tratamiento de atípicos, mediante el método de estimación mediana de puntos adyacentes, se verifica que el modelo Holt-Winters multiplicativo presenta menor error, y es el mejor para predecir el consumo de energía eléctrica, con constantes de suavización α, γ, δ de 0,2, resultando un MAPE de 3,28 %, MAD de 27,12 y MSD de 1193,40 (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de error modelo Holt-Winters aditivo y multiplicativo del consumo de energía eléctrica global con tratamiento de atípicos, estimación mediana de puntos adyacentes, periodo 2005-2017

Error	Holt-Winters aditivo			Holt-Winters multiplicativo		
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$
	$\gamma = 0,1$	$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,3$	$\gamma = 0,1$	$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,3$
	$\delta = 0,1$	$\delta = 0,2$	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,1$	$\delta = 0,2$	$\delta = 0,3$
MAPE (%)	3,45	3,32	3,47	3,44	3,28	3,34
MAD	28,22	27,53	28,55	27,69	27,12	27,50
MSD	1240,67	1236,24	1389,43	1232,90	1193,43	1348,91

Asímismo para el tratamiento de atípicos mediante el método de estimación media de puntos adyacentes, se verifica también que el modelo Holt-Winters multiplicativo, con constantes de suavización α, γ, δ de 0,2 presenta menor error, resultando un MAPE de 3,28 %, MAD de 27,15 y MSD de 1194,40 (Tabla 2).

Tabla 2. Indicadores de error modelo Holt-Winters aditivo y multiplicativo del consumo de energía eléctrica global con tratamiento de atípicos, estimación media de puntos adyacentes, periodo 2005-2017

Error	Holt-Winters aditivo			Holt-Winters multiplicativo		
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$
	$\gamma = 0,1$	$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,3$	$\gamma = 0,1$	$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,3$
	$\delta = 0,1$	$\delta = 0,2$	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,1$	$\delta = 0,2$	$\delta = 0,3$
MAPE (%)	3,46	3,32	3,47	3,44	3,28	3,34
MAD	28,27	27,56	28,53	27,73	27,15	27,50
MSD	1242,16	1236,13	1387,46	1234,8	1194,40	1348,90

Una vez seleccionado el mejor modelo con los métodos de estimación propuestos para el tratamiento de atípicos mediana y media de puntos adyacentes, se verifica, el que presentan menor error es el modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos mediante el método de estimación mediana de puntos adyacentes con constantes de suavización α, γ, δ de 0,2. Además en la Figura 1, se muestran los valores arrojados por el software Minitab 17 para el mejor modelo con tratamiento de atípicos, donde se compara la función de ajuste con los datos históricos reales, mediante los estadísticos de error MAPE, MAD y MSD.

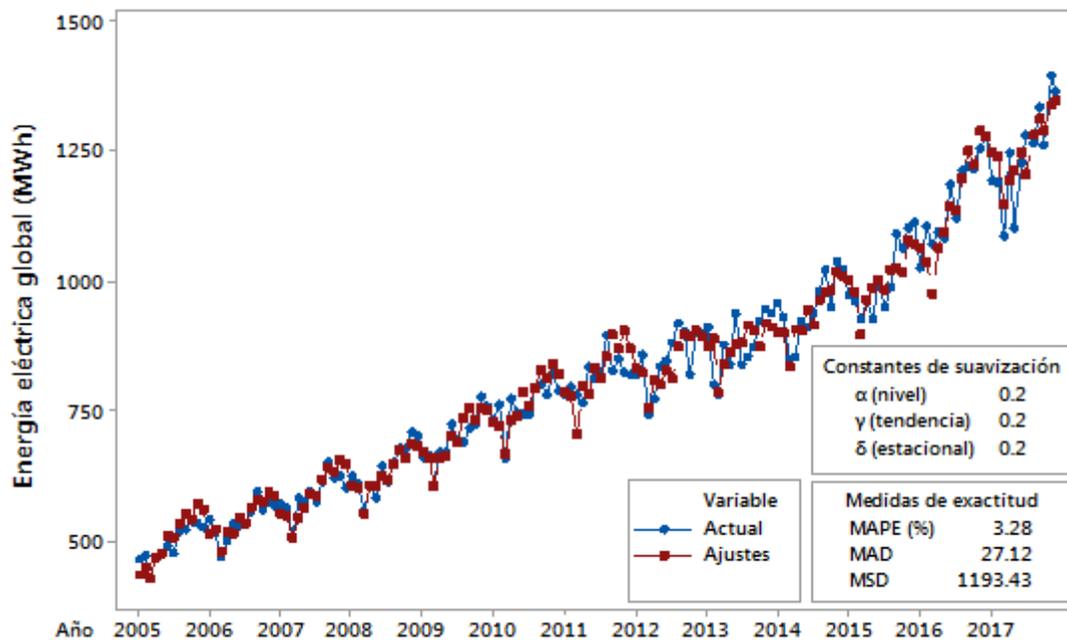


Figura 1. Valores originales y estimados del consumo de energía eléctrica global modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, estimación mediana de puntos adyacentes, periodo 2005-2017

En la Figura 2, se verifica los residuos del mejor modelo con tratamiento de atípicos. La gráfica de probabilidad normal de residuos, muestra que los residuos cuentan con un proceso aleatorio siguiendo una tendencia normal, por lo que los intervalos de confianza pueden resultar exactos. El gráfico histograma de los residuos muestra que los datos son simétricos y no existe una larga cola en una dirección (asimetría) ya que los atípicos mas fuertes fueron tratados, los patrones que se observan podrían indicar que el modelo cumple. En la gráfica de residuos vs ajustes se verificó que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza casi constante, existen algunos puntos que todavía están alejados de cero. La gráfica de orden vs residuos comprueba la premisa de que los residuos son independientes unos de otros (no están correlacionados entre sí), idealmente, los residuos en la gráfica deben caer aleatoriamente alrededor de la línea central.

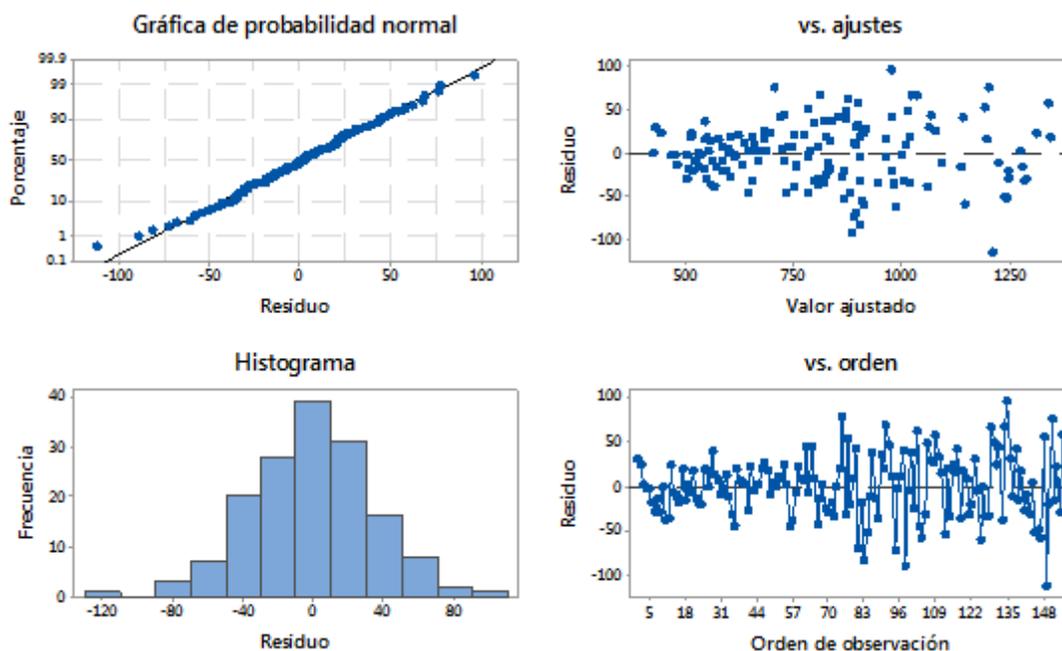


Figura 2. Residuos del consumo de energía eléctrica global modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, estimación mediana de puntos adyacentes, periodo 2005-2017

Predicción del consumo de energía eléctrica global con el modelo Holt-Winters

De acuerdo a estudios realizados y experiencias internacionales es posible hacer predicciones en una proporción de $1/4$ a $1/5$ del número de observaciones mensuales (Mejía y Gónzales, 2019). En nuestro caso se trata de una serie temporal en resolución mensual de 156 observaciones (13 años) del consumo de energía eléctrica global en el área de concesión de la empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba (EMSEU). El horizonte predictivo (HP) será a corto y mediano plazo que corresponderá a un cuarto ($1/4$) del horizonte histórico (HH), que será aproximadamente de 3 años.

RESULTADOS

De los dos métodos propuestos para el tratamiento de atípicos, el método de estimación mediana de puntos adyacentes tiene mejor ajuste para el tratamiento de atípicos. El modelo Holt-Winters multiplicativo presentó menor error de ajuste entre el modelo y la serie de datos, cuyas constantes de suavización α, γ, δ es de 0,2. La Figura 3, muestra la predicción y los estadísticos de error del mejor modelo Holt-Winters, para un horizonte de 3 años arrojados por el software Minitab 17. También se compara la función de ajuste con los datos históricos reales, mediante estadísticos de error MAPE de 3,28 %, MAD de 27,12 y MSD de 1193,43.

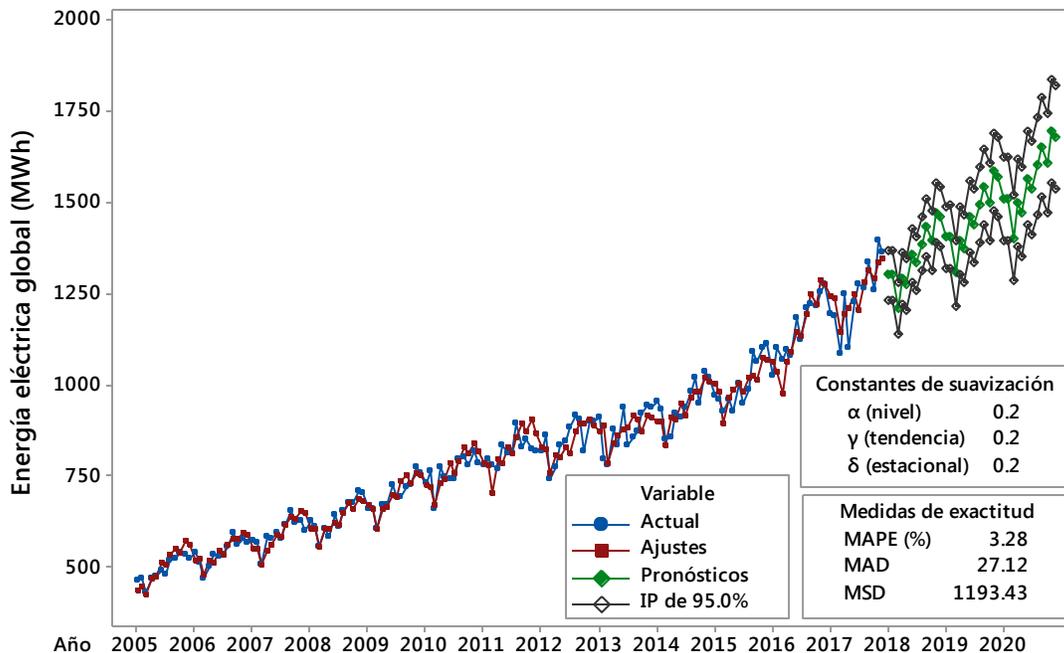


Figura 3. Predicción de la serie consumo de energía eléctrica global modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, estimación mediana de puntos adyacentes, periodo 2018-2020

En la Tabla 3, se encuentran tabulados los resultados de predicción en resolución mensual del consumo de energía eléctrica global en el área de concesión de la Empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba (EMSEU), para un horizonte de predicción de aproximadamente 3 años. La predicción se realizó con el mejor modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, utilizando el software Minitab 17. Los resultados revelaron un crecimiento ascendente del consumo de energía eléctrica en los próximos años en la provincia de Utcubamba.

Tabla 3. Predicción del consumo de energía eléctrica global modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, estimación mediana de puntos adyacentes, periodo 2018-2020

Período	Predicción consumo energía eléctrica global (MWh)	Límite de confianza inferior (LCI)	Límite de confianza superior (LCS)
ene-18	1299,51	1233,07	1365,96
feb-18	1300,14	1232,65	1367,62
mar-18	1209,17	1140,53	1277,82
abr-18	1292,80	1222,88	1362,72
may-18	1273,02	1201,72	1344,32
jun-18	1354,99	1282,20	1427,77
jul-18	1332,76	1258,39	1407,12
ago-18	1386,35	1310,31	1462,38
sep-18	1431,75	1353,96	1509,53
oct-18	1395,17	1315,55	1474,79
nov-18	1472,35	1390,83	1553,87
dic-18	1459,53	1376,04	1543,02

ene-19	1404,38	1318,85	1489,91
feb-19	1404,36	1316,74	1491,98
mar-19	1305,46	1215,69	1395,23
abr-19	1395,06	1303,10	1487,03
may-19	1373,06	1278,85	1467,27
jun-19	1460,77	1364,27	1557,28
jul-19	1436,14	1337,30	1534,97
ago-19	1493,19	1391,99	1594,40
sep-19	1541,39	1437,78	1645,00
oct-19	1501,33	1395,28	1607,38
nov-19	1583,68	1475,16	1692,19
dic-19	1569,20	1458,18	1680,22
ene-20	1509,25	1395,71	1622,79
feb-20	1508,57	1392,48	1624,66
mar-20	1401,74	1283,08	1520,40
abr-20	1497,33	1376,07	1618,59
may-20	1473,10	1349,22	1596,98
jun-20	1566,56	1440,05	1693,07
jul-20	1539,52	1410,35	1668,68
ago-20	1600,04	1468,20	1731,87
sep-20	1651,03	1516,50	1785,55
oct-20	1607,49	1470,27	1744,72
nov-20	1695,00	1555,06	1834,95
dic-20	1678,87	1536,20	1821,54

DISCUSIÓN

Para las pruebas realizadas, el MAPE del mejor modelo con tratamiento de atípicos fue 3,28 % obtenido por el método Holt-Winters multiplicativo mediante estimación mediana de puntos adyacentes para constantes de suavización α, γ, δ de 0,2. El estadístico MAPE del mejor modelo Holt-Winters con tratamiento de atípicos fue mucho más bajo que el estadístico MAPE del mejor modelo Holt-Winters sin tratamiento de atípicos que resultó un MAPE de 3,76 %, para constantes de suavización α, γ, δ de 0,2.

Mejía y Gónzales (2019) estimaron un modelo Holt-Winters para la predicción del consumo de energía eléctrica residencial de la Región Cajamarca - Perú, para diferentes constantes de suavización, que incluye métodos con patrones estacionales aditivos y multiplicativos. Además el error porcentual absoluto medio (MAPE) fue considerado como el principal estimador de la capacidad del modelo; y seleccionaron como mejor modelo de predicción al modelo Holt-Winters aditivo, con un MAPE de 1,70 % y con constantes de suavización estimadas α, γ, δ de 0,4.

Los resultados precisos de las predicciones también son fundamentales para llegar a acuerdos entre diferentes partes interesadas (generadores, transmisores, distribuidores, consumidores, inversionistas, gobierno, y organismos nacionales de regulación) (Meira y Cyrino, 2018). Las predicciones con modelos de suavización exponencial, son ponderadas combinaciones de observaciones pasadas, con observaciones recientes que tienen más peso que las observaciones anteriores (Ferber et al., 2016).

La principal fortaleza de los modelos propuestos es su baja capacidad computacional y costos de minería de datos (Bianco et al., 2010). Sobre la base de nuestra predicción, un aumento en el consumo de energía eléctrica debe esperarse en la provincia de Utcubamba durante los próximos años. Por lo tanto, es necesario tener inversiones adecuadas en generación e infraestructuras eléctricas para cubrir este crecimiento.

De acuerdo a resultados obtenidos, y bibliografía revisada los modelos de suavización exponencial Holt-Winters son adecuados para predicciones del consumo de energía eléctrica para un horizonte a corto y mediano plazo, cuando las series de tiempo no presentan comportamientos con fuertes ruidos. Emplear el modelo Holt-Winters, para diferentes alternativas sin tratamiento y con tratamiento de atípicos para diferentes constantes de suavización, nos permite comparar resultados, seleccionar el mejor modelo y verificar la confiabilidad de la predicción (Mejía y Gónzales, 2019).

La predicción de la serie consumo de energía eléctrica global, contenidos en este documento, permite planificar, programar y proyectar el uso racional de la energía con fines de aprovechamiento que permita una distribución uniforme de la energía eléctrica. También se espera que sea útil para los planificadores de energía eléctrica y los responsables políticos en la construcción de escenarios futuros sobre el sector de electricidad en la provincia de Utcubamba y la Región Amazonas. Inversiones adecuadas son necesarias para cumplir con los requisitos de demanda, y evitar escasez de electricidad en los próximos años.

CONCLUSIONES

El mejor modelo de pronóstico del consumo de energía eléctrica global, y que presenta un buen ajuste para la serie con tratamiento de atípicos, fue el modelo Holt-Winters multiplicativo mediante estimación mediana de puntos adyacentes, con constantes de suavización estimadas α, γ, δ de 0,2. Los estadísticos de error presentan un MAPE de 3,28 %, MAD de 27,12 y MSD de 1193,43. Además los resultados de ajuste del mejor modelo Holt-Winters multiplicativo con tratamiento de atípicos, predice que el consumo de energía eléctrica para diciembre del 2020 es de 1678,87 MWh, con un incremento de 317,14 MWh respecto a diciembre del 2017 cuyo consumo de energía eléctrica fue de 1361,73 MWh.

La predicción se realizó a corto y mediano plazo para un horizonte predictivo de 3 años (Tabla 3). El valor de las pruebas estadísticas MAPE fue considerado como el principal estimador de la capacidad de generalización del modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., y Minea, A. A. (2010). Analysis and forecasting of nonresidential electricity consumption in Romania. *Applied Energy*, 87(11), 3584-3590. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.018>
- Ferbar, L., Mojškerc, B., y Toman, A. (2016). Demand forecasting with four-parameter exponential smoothing. *International Journal of Production Economics*, 181, 162-173. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.004>
- Ferbar, L., y Strmčnik, E. (2016). The comparison of Holt-Winters method and Multiple regression method: A case study. *Energy*, 109, 266-276. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.115>
- Koehler, A. B., Snyder, R. D., y Ord, J. K. (2001). Forecasting models and prediction intervals for the multiplicative Holt-Winters method, *International Journal of Forecasting*, ., 17, 269-286.
- Kotillová, A. (2011). Very Short-Term Load Forecasting Using Exponential Smoothing and Arima Models. *Journal of Information, Control and Management*, 9(2), 85-92. Recuperado a partir de <http://kifri.fri.uniza.sk/ojs/index.php/JICMS/article/download/1507/643>
- Laouafi, A., Mordjaoui, M., Laouafi, F., y Boukelia, T. E. (2016). Daily peak electricity demand forecasting based on an adaptive hybrid two-stage methodology. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77, 136-144. <https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2015.11.046>
- Meira, E. M., y Cyrino, F. L. (2018). Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. *Energy*, 144, 776-788. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.049>
- Mejía, E. J., y Gónzales, S. (2019). Predicción del consumo de energía eléctrica residencial de la Región Cajamarca mediante modelos Holt -Winters/Prediction of residential electric power consumption in the Cajamarca Region through Holt -Winters models. *Ingeniería Energética*, 40(3), 181-191. Recuperado a partir de <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/569>
- Rossi, M., y Brunelli, D. (2015). Forecasting data centers power consumption with the Holt-Winters method. *2015 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, EESMS 2015 - Proceedings*, 210-214. <https://doi.org/10.1109/EESMS.2015.7175879>
- Sudheer, G., y Suseelatha, A. (2015). Short term load forecasting using wavelet transform combined with Holt-Winters and weighted nearest neighbor models. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 64, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.07.043>