

Proyecto de pasantía

Desarrollo de un nuevo modelo de estimación de pedidos diarios
para la comercialización por venta de catálogo.

Nicolás Ignacio Irribarren Becerra

Proyecto para optar al título de Ingeniería Civil Industrial con mención en
Medioambiente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo
Ibáñez.

Santiago, Chile, 10 de diciembre de 2023

Contenido

| | |
|---|-----------|
| Resumen ejecutivo | 3 |
| 1.Introducción..... | 4 |
| 1.1) Contexto de la empresa | 4 |
| 1.2) Contexto del problema | 4 |
| 1.3) Contexto de la oportunidad..... | 9 |
| 1.3.1) Curva proyectada < Curva real: | 10 |
| 1.3.2) Curva proyectada > Curva real: | 10 |
| 2.Objetivos | 11 |
| 2.1) Objetivo General..... | 11 |
| 2.2) Objetivos específicos | 11 |
| 2.3) Medidas de desempeño | 12 |
| 3.Estado del Arte | 12 |
| 4.Solución..... | 15 |
| 4.1) Alternativas de solución | 15 |
| 4.2) Solución escogida..... | 16 |
| 5.Metodologías | 18 |
| 5.1) Metodología de desarrollo | 18 |
| 5.2) Análisis de riesgo | 29 |
| 6.Resultados | 30 |
| 6.1) Resultados de la solución. | 30 |
| 6.2) Evaluación económica. | 33 |
| 7.Conclusión. | 34 |
| 7.1 Discusión..... | 34 |
| 8.Referencias | 35 |
| 9.Anexos | 35 |

Resumen ejecutivo

En un mundo cada vez más competitivo y cambiante, donde los gustos y necesidades a cubrir de la población mundial son sumamente fluctuantes, la predicción de la demanda y modelos de “forecasting” son apartados sumamente importantes para las empresas en la actualidad. Estos modelos impactan directamente en los métodos de búsqueda del cliente, focos y necesidades que cubrir dentro de una organización, asimismo regulando cada uno de los pasos y procesos, métricas de desempeño y métodos de venta que las empresas deben generar con el fin de maximizar sus ganancias y disminuir consigo sus gastos operacionales.

El proyecto ingenieril fue realizado en la empresa Natura & Co Chile, compañía que actualmente posee un sistema de pronóstico de demanda el cual requiere ser modificado con el fin de aumentar la eficacia de sus predicciones, la cual es medida mediante parámetros como el “Backlog de pedidos” o acumulación de pedidos, además de la medición en base a los costos por turnos extra derivados de la dispersión entre la proyección de pedidos diarios y la realidad de estos.

El desarrollo de un nuevo modelo de proyección de demanda se efectúa por medio de la aplicación del método de Holt-Winters aditivo sobre los pedidos reales que posee la empresa, modelo para el cual se obtuvo información consolidada de los pedidos reales y proyectados para el periodo septiembre de 2022-septiembre de 2023, con el fin de realizar un correcto análisis y construcción del modelo, permitiendo además una comparativa adecuada de asertividad del nuevo método desarrollado versus el actualmente utilizado por la compañía.

Para la obtención de resultados de este modelo, se realizó la simulación de cómo hubiese sido el comportamiento de predicción de pedidos y las dispersiones versus la realidad con este en funcionamiento, todo esto durante el periodo revisado con anterioridad, donde dentro de los principales resultados se consigue una disminución del error promedio porcentual en la predicción de pedidos diarios de un 9,62%, además de una disminución relacionada a costos de turnos extra de un 79,9% respecto a la solución actualmente utilizada por la compañía.

1.Introducción

1.1) Contexto de la empresa

Natura & Co es una multinacional brasileña dedicada a la comercialización de cosméticos, productos de higiene y belleza, fundada en el año 1968, la cual comercializa sus productos en más de 100 países alrededor del mundo.

Natura Chile posee tres modelos de venta diferentes entre los cuales es posible encontrar el modelo de venta directa o por catálogo, el de venta online por medio de diversas plataformas de comercio en línea y, finalmente, el modelo de venta por retail.

La empresa posee una fuerza de ventas de más de 80.000 consultoras activas, distribuidas por todo el país, las cuales constituyen el principal canal de venta de esta, con cerca del 80% de ingresos totales anuales.

1.2) Contexto del problema

Previo a la contextualización del problema, es esencial definir ciertos conceptos asociados al modelo de ventas que se utilizarán durante el proyecto:

- I) Ciclos: Corresponden a las diferentes revistas de venta, las cuales poseen una duración y temporalidad definida durante el año. Estos se dividen en ciclos de 2 y 3 semanas.
- II) Productividad: Cantidad promedio de facturación que alcanza cada uno de los individuos que componen la fuerza de ventas del modelo de venta de catálogo.
- III) Actividad: Porcentaje de individuos de la totalidad de fuerza de ventas proyectada para pasar pedidos durante un ciclo. La fuerza de ventas disponible se compone por todas aquellas personas que han generado al menos un pedido de ventas en los últimos seis ciclos.
- IV) Activas: Número de personas que pasa al menos un pedido durante el ciclo actual.

- V) Facturación: Ingresos percibidos durante cada periodo, se define como:
Facturación = Actividad x Productividad
- VI) Repique: Situación comercial donde un individuo solicita más de un pedido por ciclo.
- VII) Backlog de pedidos: Indicador que recoge la cantidad de pedidos rezagados (a favor o en contra) del día anterior, y suma los nuevos pedidos proyectados.
- VIII) OV: Generado en la central de operaciones de Brasil detalla la cantidad de ventas esperadas para cada uno de los ciclos en el país como consecuencia de análisis de ventas históricas para el país y basado en el crecimiento de la compañía a nivel regional.
- IX) OTL: Modelo basado en OV, recoge experiencias propias del país, periodos de venta extraordinarios, diferencias geográficas, entre otros, este formula una proyección más ajustada a la realidad local de objetivos propuestos por OV. Basado principalmente en la experiencia del usuario a cargo del modelamiento en cada periodo, no posee modelamiento matemático explícito.

Actualmente el pronóstico de pedidos se construye tomando como referencia un ciclo de duración y época del año similar del periodo anterior, donde se evalúa la cantidad de activas que existían hasta ese momento en conjunto con los pedidos asociados a esta cantidad, para luego observar la actividad proyectada por OTL del periodo actual y, en base a la fuerza disponible obtener las activas actuales, a las cuales, por medio de una regla de tres simple, se les asocia una cantidad de pedidos para periodo actual. Además, a estos pedidos es aplicado un factor de 1,1 asociado a repique histórico. Así, con $p(t)$: pedidos del periodo t y $a(t)$: activas del periodo t , la expresión queda de la siguiente forma:

$$[p(t)] = 1,1 * \frac{[p(t-1)] * [a(t)]}{[a(t-1)]}$$

A continuación, en la figura N°1 se presenta una comparativa entre pedidos proyectados versus pedidos reales para el periodo desde septiembre de 2022 a septiembre de 2023:

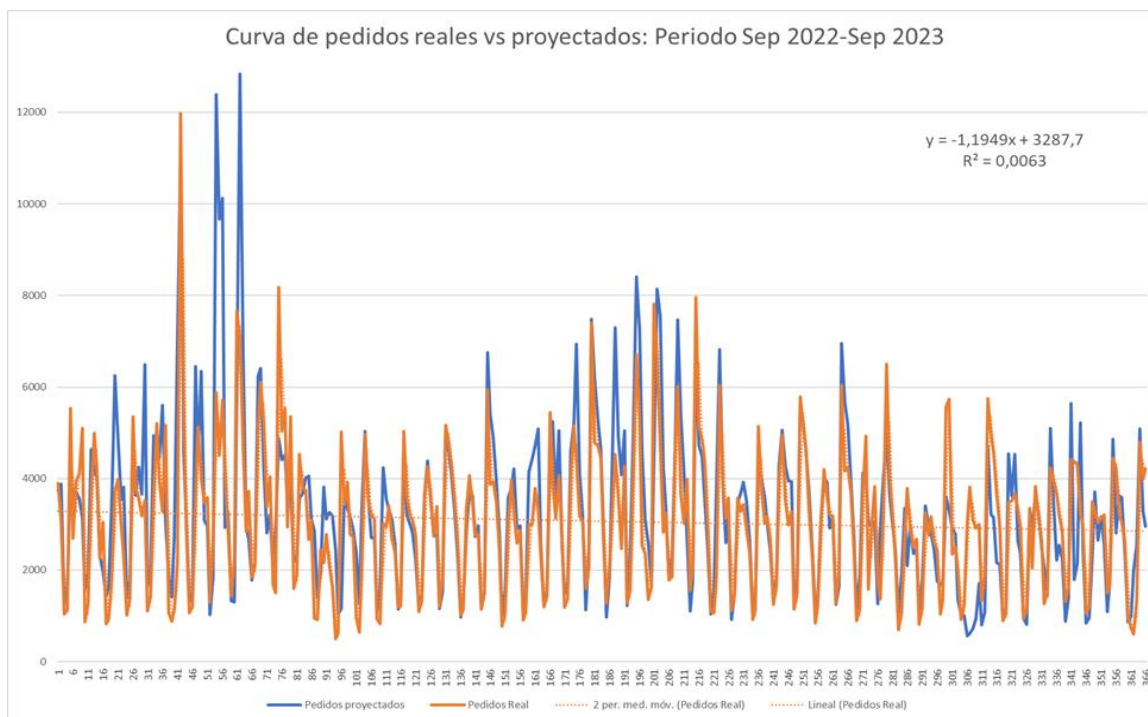


Figura 1: Representación gráfica de cantidad de pedidos proyectados versus reales periodo septiembre 2022- septiembre 2023. En esta es posible observar el comportamiento de los pedidos proyectados en azul y los pedidos reales en naranja. En el eje vertical se presenta el número de pedidos, mientras que el eje horizontal corresponde al día de la secuencia. Se incluye además al costado superior derecho la función de regresión lineal asociada a la serie de datos reales. (Elaboración propia)

Observando lo anterior, ambas curvas visualizadas en escala anual poseen comportamientos similares. A pesar de ello, al acotar los periodos de tiempo, por ejemplo, para un ciclo de dos o tres semanas, periodos para los que se asignan los turnos en el área logística, se hacen notorias las dispersiones respecto a las cantidades reales, tal cual se puede observar en la figura N°2 y N°3 a continuación:

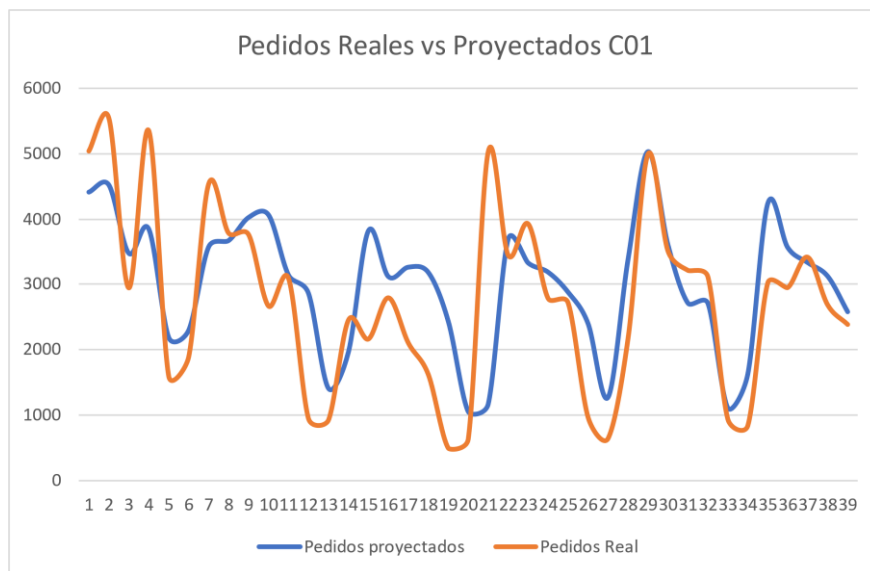


Figura 2: Representación gráfica de curva de pedidos proyectados versus reales ciclo C01-2023. En esta es posible observar el comportamiento de los pedidos proyectados en azul y los pedidos reales en naranja. En el eje vertical se presenta el número de pedidos, mientras que el eje horizontal corresponde al día de la secuencia. (Elaboración propia)

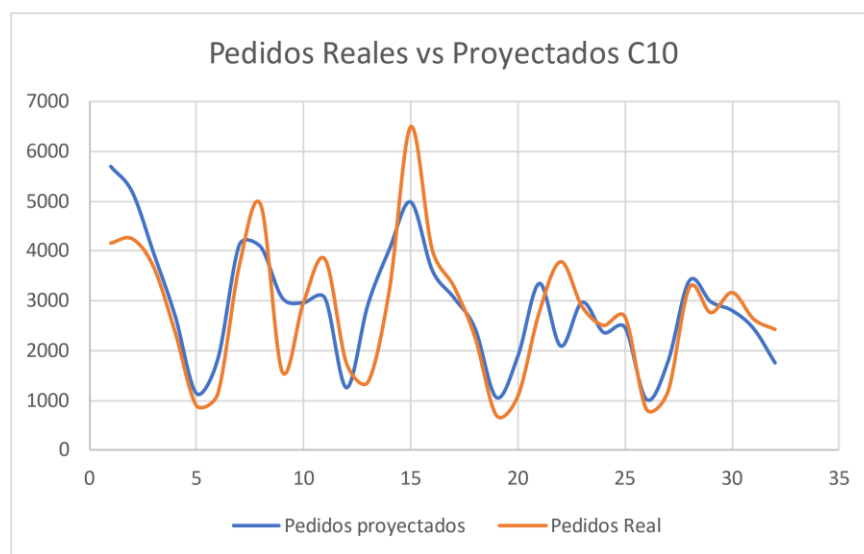


Figura 3: Representación gráfica de curva de pedidos proyectados versus reales ciclo C01-2023. En esta es posible observar el comportamiento de los pedidos proyectados en azul y los pedidos reales en naranja. En el eje vertical se presenta el número de pedidos, mientras que el eje horizontal corresponde al día de la secuencia. (Elaboración propia)

Analizando los pedidos pronosticados y reales del periodo septiembre 2022-septiembre 2023, se obtuvo la siguiente tabla resumen de datos:

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Promedio diferencia pedidos diario | 768 |
| Promedio diferencia pedidos semanal | 3842 |
| Promedio error | 195 |
| Promedio error absoluto | 28,85% |
| Error mínimo | 0,09% |
| Error máximo | 393,45% |
| Días real está sobre curva proyectada | 149 |
| Días real está bajo curva proyectada | 217 |
| Pedidos promedio sobre curva | 313 |
| Pedidos promedio bajo curva | 456 |

Tabla 1: Resumen de datos obtenidos sobre comparativa curva de pedidos proyectada versus real periodo septiembre 2022-septiembre 2023. En esta tabla resaltan los datos de promedio de error porcentual absoluto y el error máximo de la medición actual. (Elaboración propia)

El error promedio de 195 implica que en mayor proporción la curva de pedidos reales está bajo los pedidos pronosticados. Además, si se observa el error absoluto, este se eleva a 28,85%, cifra con amplio margen de mejora. Por otra parte, un dato alarmante es el error máximo diario observado, correspondiente a 393,45%.

En base a la proyección de venta directa y de venta online, el área operativa aplica el indicador “Backlog de pedidos” el cual, si es superior a 7000 pedidos se asigna horas extra a turnos existentes y, si supera los 10000 pedidos, se comienza a gestionar turnos extra para la línea de producción. Los turnos extra pueden considerar desde 10 hasta 50 operadores. Para este caso en particular, comprendiendo que el nivel de facturación de la venta de catálogo es significativamente superior a lo que procede de venta online, se trabajará solo con la curva de pedidos de venta directa o de catálogo.

Otro aspecto para tener en cuenta es la deficiencia en la comunicación entre ambas áreas en caso de haber eventos de venta especial o situaciones excepcionales, decisiones que pasan por planeamiento comercial.

Así, un diagrama de Ishikawa de causa-efecto se ve de la siguiente manera:

Diagrama de Ishikawa curva de pedidos Natura

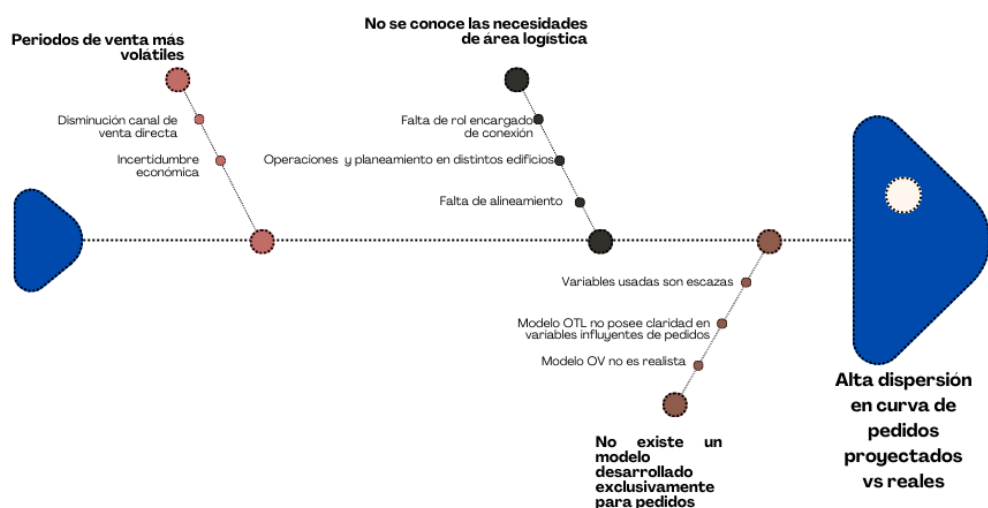


Figura 4: Diagrama Ishikawa representativo de las causas que provocan dispersión en curva de pedidos Natura (Elaboración Propia)

1.3) Contexto de la oportunidad

Basado en lo anterior y, debido a la inexistencia de un consolidado de “Backlog” para el periodo analizado, el costo de oportunidad se cuantifica dividiendo la situación general en dos escenarios para los cuales existen costos y datos asociados similares, los que se presentan en la tabla N°2:

| | | |
|-----------------------------|----|--------|
| Costo hora extra operador | \$ | 7.746 |
| Costo hora extra analista | \$ | 12.900 |
| Costo hora extra supervisor | \$ | 19.462 |
| Costo transporte persona | \$ | 42.000 |
| Costo alimentación persona | \$ | 7.800 |
| Factor domingo | | 1,41 |

Tabla 2: Costos por turno extra en línea de producción (Elaboración propia)

1.3.1) Curva proyectada < Curva real:

Escenario posee costos por turnos extra. Se consideró los días del periodo anual (366 días) en que los pedidos reales superaban en al menos un 40% a los pedidos proyectados, correspondientes a 34 días. En base a estos, se definieron 3 rangos de distinción, superación de pedidos sobre 40%, superación sobre 60% y superación sobre 80%.

Con ello se realizó una tabla con los operadores, analistas, supervisor y el factor de días domingo acorde a los días respectivos, así, se obtuvo la tabla N°3:

| | Días | Día no festivo | Domingo o fest | Operador | Analista | Supervisor | Costo (\$) |
|-------|------|----------------|----------------|----------|----------|------------|---------------|
| BL 40 | 16 | 13,71 | 2,29 | 20 | 4 | 1 | \$ 59.361.637 |
| BL 60 | 5 | 4,29 | 0,71 | 40 | 4 | 1 | \$ 31.360.814 |
| BL 80 | 2 | 1,71 | 0,29 | 50 | 4 | 1 | \$ 14.348.459 |

Tabla 3: Datos costos turnos extra. En esta es posible observar costos asociados a niveles de "Backlog" de 40%, 60% y 80% respectivamente. (Elaboración propia)

Basado en la tabla N°3, se calculan los costos asociados a cada nivel de superación (BL), las que sumadas resultan en un costo por turnos extra anual de \$ 105.070.910 pesos.

1.3.2) Curva proyectada > Curva real:

Se consideró costo promedio por turno de 50 operadores, 4 analistas y 1 supervisor, trabajando 8 horas por turno. Para los costos por persona, se utiliza factor de 0,7 por costos de turno extra, considerando que las horas extra son mucho más caras que una normal. Se obvió el costo de transporte de personal debido a que se tiene en cuenta un día laboral, donde existe mayor facilidad de movilización. Así, se tomó el costo promedio de un turno de \$ 2.867.127 y se multiplicó por la dispersión de cada día en que la curva proyectada supera a la real y, con ello se obtiene un costo anual por pérdida de turno de \$ 220.910.897 pesos.

Considerando ambos escenarios, una solución eficaz podría generar la oportunidad de ahorrar hasta \$325.981.807 pesos anuales o, inclusive más si se consideran los costos de transporte extra.

2.Objetivos

El principal deseo de este proyecto es mejorar el modelamiento de la curva de pronóstico de pedidos del modelo de venta de catálogo de Natura Chile, con el fin de hacer más eficiente el uso de recursos y generar un ahorro significativo en los gastos logísticos de la empresa.

2.1) Objetivo General

Desarrollar un modelo de pronóstico para los pedidos de venta por catálogo de Natura, con el fin de disminuir el error porcentual promedio en al menos 8 puntos porcentuales, reduciendo además los gastos por turnos extra en al menos un 20%

2.2) Objetivos específicos

Para poder alcanzar el objetivo general propuesto, es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- I) Evaluar las variables que impactan en la obtención de la curva, ponderando correctamente la importancia de cada una en una buena proyección
- II) Determinar periodos correctos de tiempo para un pronóstico, los cuales sean concordantes y congruentes, flexibles y ajustables a las necesidades del modelo
- III) Utilizar información de periodos de tiempo coherentes para la construcción del modelo, ponderando correctamente eventos atípicos
- IV) Mejorar la comunicación entre áreas, fomentando el trabajo en equipo y buscando la generación de un plan de acción en caso de ventas especiales

2.3) Medidas de desempeño

-Porcentaje de disminución de “Backlog” promedio respecto periodo de evaluación

$$\%BL = \frac{BL_{mp} - BL_{ma}}{BL_{ma}} * 100$$

-Porcentaje promedio de error porcentual

$$\frac{\sum_i^n \%E}{n} = \sum \frac{E_i}{D_i} * 100$$

-Porcentaje promedio de disminución de gastos.

$$\%G = \frac{G_{mp} - G_{ma}}{G_{ma}} * 100$$

Donde:

BL_{mp} : Backlog de pedidos modelo propuesto

BL_{ma} : Backlog de pedidos modelo actual

E_i : Error porcentual periodo i ; $0 < i < 366$

D_i : Demanda de pedidos real del periodo i ; $0 < i < 366$

G_{mp} : Gastos modelo propuesto

G_{ma} : Gastos de pedidos modelo actual

3. Estado del Arte

Para garantizar un correcto desarrollo del proyecto, se realizó una investigación exhaustiva acerca de diversos casos y métodos mediante los cuales se busca dar solución a problemáticas similares a la estudiada. Entre los casos revisados se encuentran soluciones tanto apegadas a los modelos clásicos de predicción, como soluciones más innovadoras. Respecto a este último apartado, fue posible encontrar un caso de estudio que propone un sistema de predicción automatizada de la demanda para empresas de venta directa, el cual es formulado utilizando técnicas

de regresión múltiple, combinadas con manejo de Big Data para determinar diversas variables tanto cualitativas como cuantitativas que pueden afectar en la predicción, aplicando una suavización exponencial simple para el caso de la cuantificación de variables a nivel de demanda y mediante el uso de un modelo dinámico Bayesiano para variables cualitativas ligadas al precio, generando un modelo preciso y complejo para la predicción en una empresa de venta directa. (Boada, A., 2016.)

Por otra parte, haciendo una revisión de soluciones de predicción clásicas, la literatura señala diversos métodos tanto cualitativos como cuantitativos. Entre los métodos cualitativos que son atingentes a este caso, dada la naturaleza de la empresa y la determinación de uso de OV y OTL, se encuentra el método de juicio experto (Rodríguez-León, J., & Pachón-Rincón, M., 2021), el cual se basa en la determinación de proyecciones dada la pericia de un experto, método que se utiliza en parte en la ejecución de OTL, modelo en cual se basa el pronóstico de pedidos actualmente y puede funcionar en combinación con otros más tangibles. En lo que a métodos cuantitativos respecta, se encontró diversos modelos como el método de regresión lineal, el cual busca establecer relación entre una variable dependiente y otra independiente; el método de media móvil, el cual “es un estimador que se obtiene al calcular el promedio simple de los últimos n períodos previos” (Vega Curihuinca, A., 2018); y métodos más sofisticados como el método de suavizado exponencial multiplicativo, el método de suavizado exponencial aditivo y el método ARIMA o modelos autorregresivos integrados de media móvil y ARIMARX, el cual es utilizado en un estudio de demanda de varios pasos en industria de montaje. (Gonçalves, J. N., Cortez, P., Carvalho, M. S., & Frazao, N. M., 2021). Considerando el caso actual, se revisó en profundidad el suavizado exponencial triple aditivo o método de Holt-Winters dado que según se señala este “incorpora los comportamientos cíclicos de estacionalidad al modelo de suavizado exponencial con tendencia. Se denomina versión aditiva ya que el efecto estacional es aplicado aditivamente.” (Vega Curihuinca, A., 2018) Las ecuaciones de este modelo son 4:

$$\begin{aligned}
Lt &= \alpha (Yt - St-p) + (1 - \alpha) [Lt-1 + Tt-1] \\
Tt &= \gamma [Lt - Lt-1] + (1 - \gamma) Tt-1 \\
St &= \delta (Yt - Lt) + (1 - \delta) St-p \\
\hat{Y} &= Lt-1 + Tt-1 + St-p
\end{aligned}$$

Donde:

Lt: Nivel en el tiempo *t*, donde α es la ponderación para el nivel

Tt: Tendencia en el tiempo *t*, donde γ es la ponderación para la tendencia

St: Componente estacional en el tiempo *t*, donde δ es la ponderación para la componente estacional

p: Periodo estacional

Yt: Valor de los datos en el tiempo *t*

\hat{Y} : Valor ajustado o el pronóstico de un periodo por anticipado en tiempo *t*

Este modelo en particular permite incorporar las variables de tendencia y estacionalidad, todo cuando esta última no está relacionada con el tamaño de los datos, en otras palabras, esta no presenta un crecimiento derivado del comportamiento de la tendencia.

4.Solución

4.1) Alternativas de solución

Dada la información anterior y, basado en las necesidades de la empresa, se consideran tres alternativas para otorgar una posible solución a la problemática.

Primero, basado en la propuesta “Sistema Forecast. Predicción automatizada en empresas de venta directa” (Boada, A., 2016.), se sugiere implementar un sistema de automatización de la predicción de la demanda, el cual otorgaría una solución completa, minimizando la incertidumbre y errores de predicción debido a la ponderación de variables cualitativas y cuantitativas que afecten a las ventas. A pesar de que la solución puede ser efectiva, esta requiere de la instalación y manejo de softwares avanzados de análisis de datos, los cuales poseen un costo monetario y tiempo de instalación y capacitación en manejo de Big Data que el área en cuestión no está en condiciones de cubrir. Además, proponer una estimación de demanda completamente diferente de los objetivos propuestos en OV regional, suponen una limitante por ir contra la planificación anual que se realiza en la central de Brasil.

La segunda opción de solución es aplicar un método ARIMA o ARIMAX, tal como se utiliza en “A multivariate approach for multi-step demand forecasting in assembly industries” (Gonçalves, J. N., Cortez, P., Carvalho, M. S., & Frazao, N. M., 2021), lo cual supondría un método mucho más preciso en la predicción, pero que, también supone una complejidad mayor en su desarrollo y tiempos de ejecución, requiriendo además una mayor cantidad de datos históricos para una correcta implementación, además de personal instruido en métodos de optimización más avanzados para generar la autocorrelación del modelo.

Finalmente, basado en la literatura sobre métodos clásicos de predicción, la tercera alternativa supone la implementación de un modelo de Holt-Winters aditivo, el cual considerando las Gráficas 1 y 2 vistas con anterioridad, puede ajustarse a la situación mostrada para la demanda de pedidos, permitiendo capturar tanto la estacionalidad como la tendencia de la curva si se comprueba matemáticamente su existencia. En ese sentido, este permite una formulación matemática que disminuya

la incertidumbre del proceso actual o que, en su defecto, pueda ser potenciado por la metodología usada, pudiendo funcionar en combinación con diferentes modelos conjuntos que lo acompañen. Además, no requiere de la aplicación de softwares avanzados para su uso ni supone una contradicción necesaria con la planificación de OV. A pesar de no ser un método tan preciso como los mencionados con anterioridad, puede suponer una mejora sustancial a la situación actual de la predicción de pedidos.

4.2) Solución escogida

Para la elección de la solución escogida, se realizó una matriz para cuantificar la incidencia de diversos factores a la hora de decidir por cual solución decantar, los cuales se evidencian en la matriz de criterios a continuación:

| Criterios | Puntaje 1 | Puntaje 10 |
|----------------------------------|---------------|--------------|
| Costo de implementación | Costo alto | Costo bajo |
| Software actuales aptos | No aptos | Aptos |
| Datos actuales aptos | No aptos | Aptos |
| Personal capacitado | No capacitado | Capacitado |
| Tiempo de implementación | Mayor tiempo | Menor tiempo |
| Horizonte de proyección adecuado | No se ajusta | Se ajusta |
| Compatibilidad estructura | No compatible | Compatible |

Tabla 4: Criterios de evaluación para selección de solución. Aquí se presenta en la columna Puntaje 1 los criterios que corresponden a un puntaje mínimo de escala, mientras que en la columna Puntaje 10 los criterios que significan puntaje máximo en escala. (Elaboración propia)

En base a la anterior se obtuvo la siguiente matriz de puntajes presentada en la tabla N°5:

| MODELO | ARIMA | HOLT-WINTERS | PREDICCIÓN AUTOMATIZADA |
|----------------------------------|-----------|--------------|-------------------------|
| Costo de implementación | 10 | 10 | 5 |
| Software actuales aptos | 7 | 9 | 5 |
| Datos actuales aptos | 6 | 9 | 3 |
| Personal capacitado | 7 | 8 | 3 |
| Tiempo de implementación | 6 | 9 | 4 |
| Horizonte de proyección adecuado | 9 | 8 | 10 |
| Compatibilidad estructura | 9 | 10 | 2 |
| TOTAL | 54 | 63 | 32 |

Tabla 5: Matriz de puntaje para selección de solución a implementar. En esta se presenta los puntajes asociados a cada uno de los puntos a evaluar para cada tipo de solución vista en el estado del arte. (Elaboración propia)

Considerando la situación estructural y presupuestaria de la empresa, además de las condiciones a favor y en contra de cada una de las alternativas, la solución escogida es la tercera, la que supone la aplicación de un método de Holt-Winters aditivo para la predicción de los pedidos. Esto debido a la viabilidad económica de implementación, dado los bajos costos producto que es un modelo matemático, el tiempo y softwares requeridos, además del horizonte de proyección necesario con el que trabaja la empresa.

5. Metodologías

5.1) Metodología de desarrollo

Para un correcto desarrollo e implementación del proyecto se proponen 8 etapas principales, las cuales se observan en la figura N°5:

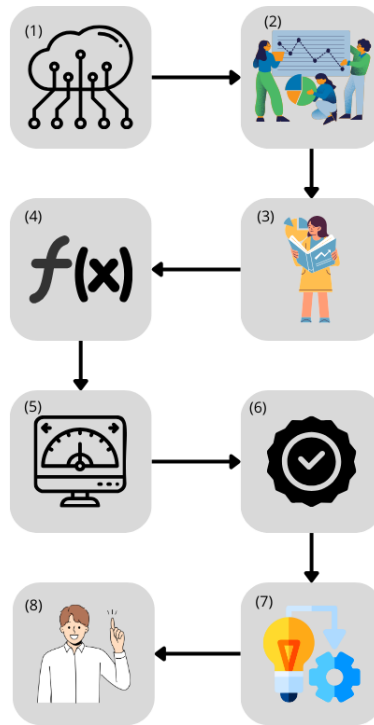


Figura 5: Diagrama de flujo de proceso de desarrollo e implementación efectiva de modelo de predicción de pedidos En este se puede ver la secuencia de tareas necesaria para lograr una ejecución efectiva del proyecto (Elaboración propia)

- 1) Levantamiento de información desde base de datos histórica
- 2) Análisis y subdivisión de los datos en temporalidades ajustadas
- 3) Validación estadística de comportamientos tendenciales y estacionales
- 4) Desarrollo de modelo Holt-Winters aditivo a diferentes temporalidades
- 5) Comparación de medidas de desempeño con predicciones obtenidos para temporalidades
- 6) Validación de solución con encargados
- 7) Aplicación efectiva del modelo
- 8) Revisión y mejora continua de modelo

- I) Fase Inicial: Recopilación y análisis de datos (Etapas (1) y (2))
- II) Fase de desarrollo: Elección, modelamiento y desarrollo de la solución (Etapas (3), (4) y (5))
- III) Fase final: Presentación, validación y aplicación de solución (Etapas (6), (7) y (8))

En primer lugar, la fase inicial comienza con la recopilación de datos desde las bases de la plataforma “Gera” y “Lego” de la compañía. De la primera plataforma se extrae el documento llamado “Ranking Ventas”, el cual contiene las transacciones efectuadas durante los diferentes periodos, donde es posible encontrar la fecha de transacción en la columna “FechaCaptacion”, además de la cantidad de pedidos efectuadas ese día la cual se observa en la columna “CantEnviada”, junto con otros datos. La visión del documento se presenta en la figura N°6 a continuación:

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | CicloCaptac | CicloFactura | FechaCaptacion | CantEnviada | CantRevende | Facturacion | PrecioLista | PrecioCN |
| 2 | jul-23 | jul-23 | 19-04-2023 0:00 | 21137 | 930 | 104140425 | 141807448 | 109037310 |
| 3 | jun-23 | jun-23 | 14-04-2023 0:00 | 48626 | 2892 | 260678207 | 344217439 | 271534583 |
| 4 | abr-23 | | 24-02-2023 0:00 | 43 | 2 | 21391 | 289790 | 223148 |
| 5 | abr-23 | abr-23 | 27-02-2023 0:00 | 18732 | 1014 | 93993641 | 125666107 | 98085303 |
| 6 | mar-23 | mar-23 | 22-02-2023 0:00 | 49146 | 2739 | 208787344 | 276392297 | 217530940 |
| 7 | abr-23 | may-23 | 23-03-2023 0:00 | 537 | 39 | 2458749 | 3150842 | 2548724 |
| 8 | abr-23 | abr-23 | 19-03-2023 0:00 | 13944 | 847 | 66451780 | 87536850 | 69190816 |
| 9 | feb-23 | mar-23 | 15-01-2023 0:00 | 154 | 7 | 712763 | 939770 | 742277 |
| 10 | mar-23 | abr-23 | 26-02-2023 0:00 | 156 | 8 | 603732 | 806862 | 630141 |
| 11 | may-23 | may-23 | 24-03-2023 0:00 | 36791 | 2000 | 177649556 | 236588986 | 185302562 |
| 12 | jun-23 | | 10-04-2023 0:00 | 46 | 4 | 271093 | 333127 | 279160 |
| 13 | feb-23 | feb-23 | 31-01-2023 0:00 | 25523 | 1514 | 109036315 | 143175130 | 113413388 |
| 14 | abr-23 | jun-23 | 07-03-2023 0:00 | 47 | 1 | 397022 | 562449 | 418519 |
| 15 | ene-23 | ene-23 | 07-01-2023 0:00 | 7517 | 414 | 31796115 | 41981291 | 33119895 |
| 16 | jun-23 | jun-23 | 28-03-2023 0:00 | 9994 | 485 | 40512146 | 53187916 | 42160070 |
| 17 | feb-23 | feb-23 | 28-01-2023 0:00 | 7947 | 450 | 35510324 | 46660214 | 36958025 |
| 18 | may-23 | | 17-03-2023 0:00 | 111 | 6 | 643290 | 855049 | 670826 |

19

Luego de extraer la información de los pedidos reales efectuados, es necesario obtener la información de los pedidos proyectados para el mismo periodo de tiempo en observación, el cual corresponde al periodo septiembre 2022-septiembre de 2023, para lo que se acude a la plataforma “Microsoft365” del área, donde es posible encontrar una carpeta recopilatoria con diferentes documentos llamados “Curva de pedidos anual”, el cual es un archivo Excel donde se realiza la proyección de pedidos para los siguientes días, enviado aproximadamente cada dos semanas.

Posterior a la obtención de la información de los pedidos reales y los pedidos proyectados, se genera un archivo consolidado en Excel llamado “Consolidado pedidos proyectados versus reales” donde se juntan todos los datos de pedidos proyectados ordenados por fecha, segmentados además según el ciclo de captación al que corresponden, en conjunto con los pedidos reales ordenados por fecha de captación. Sumado al consolidado anual, dentro del mismo archivo existen pestañas con subconjuntos de datos según periodos mensuales, además de periodos “ciclales”, esto con el fin de realizar un análisis del comportamiento de las ventas y sus estimaciones. Un extracto del archivo se puede visualizar en la figura N°7 a continuación:

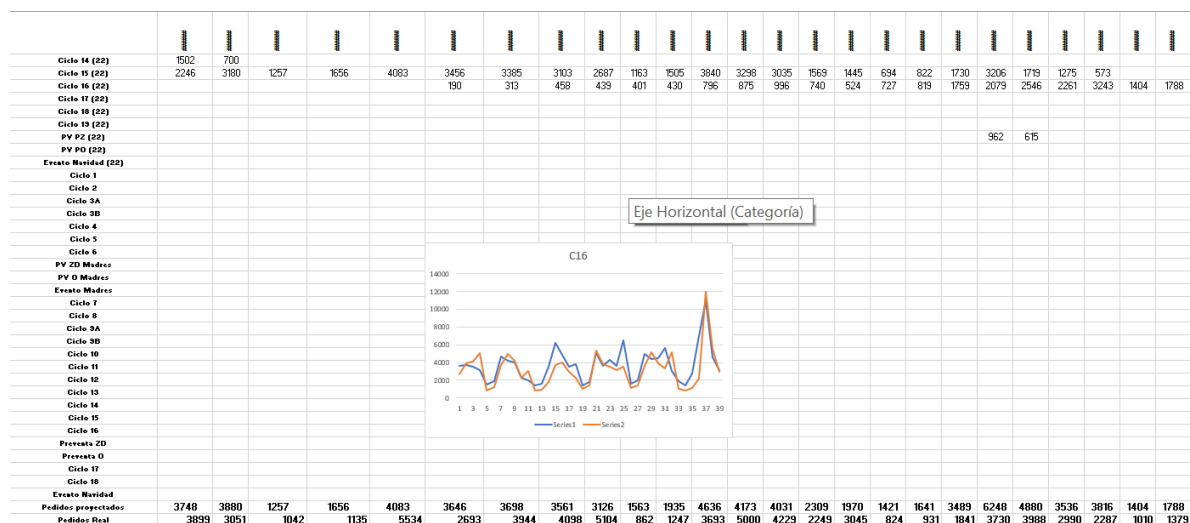


Figura 7: Representación consolidado de pedidos reales y pedidos proyectados. En este se presenta la fecha de pedido en la primera fila, el ciclo segmentado al que corresponde la cantidad de pedidos proyectados, los pedidos proyectados totales diarios y los pedidos reales diarios. (Elaboración propia)

Siguiendo la línea de lo anterior, dando por cerrada la obtención de datos, se procede a comenzar la etapa 2, donde los datos consolidados son subdivididos tanto en periodos anuales, como mensuales y “ciclales”, esto con el fin de revisar el comportamiento de ambas curvas, real y proyectada, de manera exhaustiva. Así, para comenzar el análisis de los datos, se procede a graficar el comportamiento conjunto de las ventas en el periodo completo a revisión, tal como muestra la figura N°1 mostrada al comienzo de este documento.

En aquella, tal como se mencionó con anterioridad, se observa en azul la curva de pedidos proyectados y en naranja la curva de pedidos reales, los cuales a grandes rasgos poseen comportamientos similares, donde en una primera aproximación pareciese existir un comportamiento estacional. A pesar de que puedan parecer similares, es necesario realizar una revisión en periodos de tiempo más acotados con el fin de observar de manera detallada qué tanto se diferencian una de la otra y poner en evidencia el comportamiento estacional, para lo que se realiza el mismo procedimiento de graficar ambas curvas para cada uno de los meses y ciclos. Un ejemplo de lo que es el comportamiento para un ciclo se muestra a continuación con la figura N°8, la que presenta el comportamiento del ciclo C04-2023:

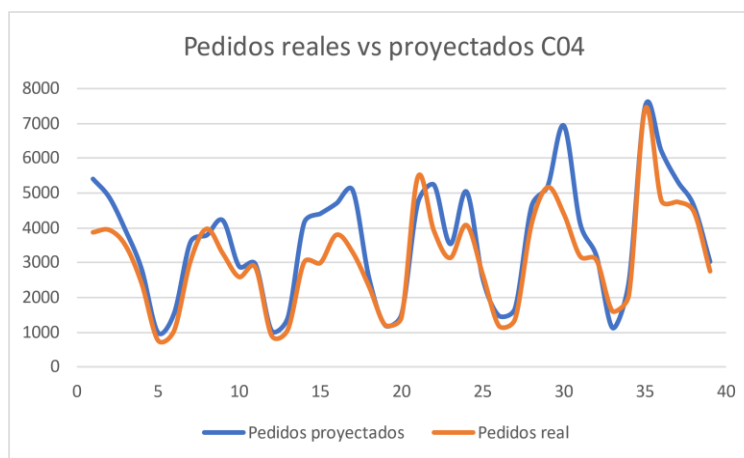


Figura 8: Representación gráfica pedidos reales y proyectados ciclo C04-2023. En esta es posible observar el comportamiento de los pedidos proyectados en azul y los pedidos reales en naranja. En el eje vertical se presenta el número de pedidos, mientras que el eje horizontal corresponde al día de la secuencia. (Elaboración propia)

Como se puede observar en la figura N°8, si se revisa un periodo de tiempo más acotado se resalta la diferencia que existe entre la proyección y la realidad en cada

día. Además de ello, se sigue presentando la estacionalidad en el comportamiento de los pedidos reales sin un incremento o decrecimiento producto de la cantidad de datos obtenidos, lo cual se mantiene para cada uno de los ciclos en consulta, hecho que permite la opción de utilizar el método de Holt Winters aditivo para generar una solución pero que, a su vez, debe ser validado estadísticamente en la siguiente fase de desarrollo. Finalmente, para cerrar el análisis de los datos, se recurre a calcular diferentes tipos de error entre la proyección y la realidad, tanto para datos anuales, mensuales y “ciclales” donde, según lo utilizado comúnmente como medidas de error de pronóstico en la gestión de operaciones (Chopra, Sunil y Meindl, Peter, 2008), se obtuvieron datos de error, error absoluto, error cuadrado medio (MSE), desviación absoluta media (MAD), error porcentual y error absoluto promedio (MAPE), siendo estos dos últimos medidas que tendrán gran importancia en la decisión del modelo a utilizar y que, a niveles anuales, arrojan errores del 28,85% y 33,22% respectivamente.

Pasando a la siguiente fase, esta comienza con la etapa de validación estadística, la cual consiste en validar mediante herramientas estadísticas firmes, la presencia o no de estacionalidad y tendencia en los datos obtenidos, lo cual es requerido explícitamente para un buen modelamiento y la posibilidad de utilización de la técnica de Holt-Winters aditivo. Para realizar la validación estadística es posible recurrir a dos herramientas vistas en la estadística aplicada según se posean, el test de Dickey-Fuller, mediante el uso de “RStudio”, el cual se utilizó para validar la estacionalidad de la serie anual tal cual muestra la figura N°9 ; además del uso del análisis de datos de Excel, el cual se utilizó para validar el comportamiento de los pedidos reales de cada uno de los ciclos, brindando además la posibilidad de obtener información acerca de los valores de regresión lineal de la serie como pendiente e intersección, además de los valores residuales de esta, los cuales serán útiles en la construcción del modelo. Así, utilizando esta herramienta, se debe validar la existencia de tendencia y estacionalidad, las cuales se validan, en un 95% de confianza, para un valor Probabilidad/día menor a 5% y para un valor de coeficiente de determinación R^2 menor a 0.5, respectivamente. Un ejemplo de esta validación es la correspondiente a la serie de C16-2023, representado en la figura

Nº10, donde es posible observar la confirmación de la existencia de estacionalidad en los datos en conjunto con el rechazo de la existencia de tendencia en estos, patrón que se mantiene en cada uno de los periodos de tiempo evaluados. El hecho que se rechace la existencia estadística de tendencia no implica necesariamente que esta deba poseer un factor Beta igual a cero a la hora de construir el modelo, pero si supone falta de robustez en ese apartado del modelo de existir un Beta muy alto.

```
> adf.test(preal)

Augmented Dickey-Fuller Test

data: preal
Dickey-Fuller = -4.0151, Lag order = 7, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

Figura 9: Código R Studio para validación de estacionalidad de datos anuales mediante “Dickey-Fuller Test”.

| Estadísticas de la regresión | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|--|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0,15866304 | | | | | | | | |
| Coefficiente de determinación R ² | 0,02517396 | <0.5 | | | | | | | |
| R ² ajustado | -0,0011727 | | | | | | | | |
| Error típico | 2065,40793 | | | | | | | | |
| Observaciones | 39 | | | | | | | | |
| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | | | | |
| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los | F | Valor crítico de F | | | | |
| Regresión | 1 | 4076034,41 | 4076034,413 | 0,955490032 | 0,334674003 | | | | |
| Residuos | 37 | 157838667 | 4265909,928 | | | | | | |
| Total | 38 | 161914702 | | | | | | | |
| | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% | |
| Intercepción | 2610,01889 | 674,388696 | 3,870199645 | 0,000426417 | 1243,5776 | 3976,460187 | 1243,5776 | 3976,460187 | |
| Día | 28,7246964 | 29,386128 | 0,977491704 | 33% | -30,8172547 | 88,26664746 | -30,8172547 | 88,26664746 | |
| | | | | >5% | | | | | |

Figura 10: Análisis estadístico en Excel para ciclo C16. En amarillo en la esquina superior izquierda se presenta el factor de confirmación de estacionalidad (R²) y, en amarillo al centro inferiormente, el rechazo de tendencia significativa (Probabilidad). (Elaboración propia)

Teniendo ya la validación del comportamiento de los datos de pedido real y los proyectados con el método actualmente en uso, comienza la etapa de desarrollo del nuevo modelo de proyección de pedidos aplicando el método de Holt-Winters aditivo a cada ciclo. En este apartado se evaluará el método en ciclos de prueba de 3

semanas correspondientes al C16-2022, C18-2022, C01-2023, C02-2023, C04-2023, C08-2023, C13-2023; los cuales poseen un alto alcance de días a lo largo del año y mayor cantidad de observaciones respecto ciclos de 2 semanas, permitiendo mayor representatividad de los datos. En primer lugar, se definen valores de Alfa, Beta y Gamma del modelo arbitrariamente, los cuales deben ir entre 0 y 1. Además se genera una tabla con las diferentes variables que componen el modelo, como los pedidos reales (o proyectados con modelo actual), según se evalúe; el nivel (L_t); la tendencia (T_t); el suavizamiento (S_t), además de las medidas de error a evaluar, esto con el fin de ajustar el modelo en base a la minimización del error. Posterior a ello, se obtiene el nivel del primer día (L_1) en base al promedio de los valores de las primeras 7 observaciones en evaluación, número dado según la duración de la estacionalidad, la cual se obtiene observando la duración del comportamiento estacional en las gráficas proyectadas, el cual coincide en cada uno de los ciclos, estas gráficas se encuentran adjuntas en el anexo. A continuación, se obtiene la tendencia a usar inicialmente (T_1) de la pendiente de la regresión lineal calculada durante la validación de datos, la cual se puede observar en la casilla Coeficientes/Día en la figura N°10 mostrada recientemente. Teniendo ambos datos se procede a obtener los primeros siete valores de suavizamiento (S_t) los cuales, según el modelo a utilizar, se pueden obtener restando el pedido real correspondiente al periodo en evaluación menos L_1 , o bien, calculando un promedio de los primeros 3 o 4 valores residuales correspondientes a cada uno de los periodos en evaluación (7). Posterior a ello, se aplica el método de Holt-Winters aditivo según las fórmulas de nivel, tendencia y suavizamiento presentadas con anterioridad.

Ya habiendo aplicado el método de suavizamiento exponencial y, dando comienzo a la etapa 5, se calculan las diferentes medidas de error propuestas con anterioridad, calculando además el promedio de cada una.

Tanto el cálculo del nuevo modelo, como los errores mencionados son representados en la figura N°11 que se muestra enseguida:

| Modelo Holt Winters Tradicional | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|----------------|-------------|-------------|-------------|---|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|-----|--|
| Alfa | 0,00741616 | | | | | | | | | | | | | | |
| Beta | 0,66983492 | | | | | | | | | | | | | | |
| Gamma | 0,32053951 | | | | | | | | | | | | | | |
| L1 | 3091,57143 | | | | | | | | | | | | | | |
| T1 | 28,7246964 | Promedio 1er C | | | | | | | | | | | | | |
| | 3091,57143 | | | | | | | | | | | | | | |
| Dia | Fecha | Pedidos Real | Lt | It | S | K | Pronóstico | Error Et | Error Abso | MCet | MADt | Error % | MAPEt | TSt | |
| 1 | 27-09-2022 | 2693 | | | -398,571429 | | | | | | | | | | |
| 2 | 28-09-2022 | 3944 | | | 852,4285714 | | | | | | | | | | |
| 3 | 29-09-2022 | 4098 | | | 1006,428571 | | | | | | | | | | |
| 4 | 30-09-2022 | 5104 | | | 2012,428571 | | | | | | | | | | |
| 5 | 01-10-2022 | 862 | | | -2229,57143 | | | | | | | | | | |
| 6 | 02-10-2022 | 1247 | | | -1844,57143 | | | | | | | | | | |
| 7 | 03-10-2022 | 3693 | 3091,571429 | 28,72469636 | 601,4285714 | | | | | | | | | | |
| 8 | 04-10-2022 | 5000 | 3137,192185 | 40,04226713 | 326,2899674 | | 2721,724696 | | | | | | | | |
| 9 | 05-10-2022 | 4229 | 3178,712767 | 41,03249441 | 915,8500899 | | 4029,663023 | -199,336977 | 199,3369769 | 39735,23035 | -199,336977 | 5% | 5% | 1 | |
| 10 | 06-10-2022 | 2249 | 3205,082219 | 31,21067667 | 377,3663232 | | 4226,173833 | 1977,173833 | 1977,173833 | 1974475,798 | 888,918428 | 88% | 46% | 2 | |
| 11 | 07-10-2022 | 3045 | 3219,94974 | 20,26345987 | 1311,287398 | | 5248,721467 | 2203,721467 | 2203,721467 | 2935113,301 | 1327,186108 | 72% | 55% | 3 | |
| 12 | 08-10-2022 | 824 | 3238,829034 | 19,33629736 | -2288,95381 | | 1010,641771 | 186,641771 | 186,641771 | 2210043,763 | 1042,050024 | 23% | 47% | 4 | |
| 13 | 09-10-2022 | 931 | 3254,586336 | 16,93896169 | -1998,11463 | | 1413,593903 | 482,5939026 | 482,5939026 | 1814614,385 | 390,1587994 | 52% | 48% | 5 | |
| 14 | 10-10-2022 | 1841 | 3256,455998 | 6,845018391 | -45,0626213 | | 3872,95387 | 2031,95387 | 2031,95387 | 2200318,076 | 1113,791311 | 110% | 58% | 6 | |
| 15 | 11-10-2022 | 3730 | 3264,342313 | 7,542514858 | 370,9628281 | | 3589,590984 | -140,409016 | 140,409016 | 1888803,307 | 934,6198358 | 4% | 51% | 7 | |
| 16 | 12-10-2022 | 3988 | 3270,403561 | 6,550310772 | 852,3019617 | | 4187,734918 | 199,7349175 | 199,7349175 | 1657689,648 | 842,759221 | 5% | 45% | 8 | |
| 17 | 13-10-2022 | 2990 | 3272,027165 | 3,250230745 | 166,0046572 | | 3654,320195 | 664,320195 | 664,320195 | 1525237,612 | 822,9326626 | 22% | 42% | 9 | |
| 18 | 14-10-2022 | 2287 | 3258,22345 | -8,1730978 | 579,6524882 | | 4586,564794 | 2299,564794 | 2299,564794 | 1899083,675 | 970,5958757 | 101% | 48% | 10 | |
| 19 | 15-10-2022 | 1010 | 3250,413028 | -7,93016476 | -2273,39457 | | 961,0965416 | -48,9034584 | 48,90345837 | 1726657,118 | 877,9141181 | 5% | 44% | 11 | |
| 20 | 16-10-2022 | 1379 | 3243,481315 | -7,26136737 | -1955,27987 | | 1244,368231 | -134,631769 | 134,6317691 | 1584279,501 | 793,5352942 | 10% | 41% | 12 | |
| 21 | 17-10-2022 | 5356 | 3252,274772 | 3,492714959 | 643,7087841 | | 3191,157326 | -2164,842674 | 2164,842674 | 1822915,216 | 565,9677581 | 40% | 41% | 13 | |
| 22 | 18-10-2022 | 3806 | 3257,09698 | 4,383255862 | 427,9996901 | | 3626,730315 | -179,269685 | 179,2696849 | 1695002,531 | 512,7365122 | 5% | 39% | 14 | |
| 23 | 19-10-2022 | 3573 | 3257,469707 | 1,696863754 | 680,2454336 | | 4113,782198 | 540,7821977 | 540,7821977 | 1601498,721 | 514,6062246 | 15% | 37% | 15 | |
| 24 | 20-10-2022 | 3181 | 3257,355758 | 0,483917648 | 88,31856842 | | 3425,171228 | 244,1712283 | 244,1712283 | 1505131,276 | 497,7040373 | 8% | 35% | 16 | |
| 25 | 21-10-2022 | 3533 | 3255,581512 | -1,02867901 | 482,7745497 | | 3837,492164 | 304,4921635 | 304,4921635 | 1422047,993 | 486,338633 | 9% | 34% | 17 | |
| 26 | 22-10-2022 | 1104 | 3255,463847 | -0,41844983 | -2234,31096 | | 981,1582609 | -122,841739 | 122,8417391 | 1343883,665 | 452,495279 | 11% | 32% | 18 | |
| 27 | 23-10-2022 | 1418 | 3255,922244 | 0,168892298 | -1917,66212 | | 1299,765523 | -118,234477 | 118,2344769 | 1273888,704 | 422,4568708 | 8% | 31% | 19 | |
| 28 | 24-10-2022 | 3642 | 3254,17925 | -1,11175576 | 561,686559 | | 3899,79992 | 257,7999199 | 257,7999199 | 1213517,308 | 414,2240232 | 7% | 30% | 20 | |
| 29 | 25-10-2022 | 5203 | 3264,354395 | 6,448604631 | 912,2213922 | | 3681,067184 | -1521,93282 | 1521,932816 | 1266029,794 | 322,0260785 | 29% | 30% | 21 | |
| 30 | 26-10-2022 | 3956 | 3270,839721 | 6,473202057 | 681,8208357 | | 3951,048433 | -4,95156684 | 4,951566843 | 1208484,099 | 307,1634583 | 0% | 29% | 22 | |
| 31 | 27-10-2022 | 3292 | 3276,76686 | 6,107429923 | 64,89180094 | | 3365,631492 | 73,63149163 | 73,63149162 | 1156177,034 | 297,0098945 | 2% | 27% | 23 | |
| 32 | 28-10-2022 | 5165 | 3293,252105 | 13,05885312 | 927,9953858 | | 3765,64884 | -1399,35116 | 1399,35116 | 1189593,977 | 226,3281839 | 27% | 27% | 24 | |
| 33 | 29-10-2022 | 1072 | 3306,310959 | 13,05885311 | -2234,31096 | | 1072,000001 | 1,37958E-06 | 1,37958E-06 | 1142010,218 | 217,2750566 | 0% | 26% | 25 | |
| 34 | 30-10-2022 | 879 | 3315,493327 | 10,46224799 | -2083,96802 | | 1401,707695 | 522,7076949 | 522,7076949 | 1108595,338 | 229,0224657 | 59% | 28% | 26 | |
| 35 | 31-10-2022 | 1140 | 3305,578614 | -3,18695159 | -312,509685 | | 3887,642134 | 2747,642134 | 2747,642134 | 1347148,744 | 322,3046757 | 241% | 35% | 27 | |
| 36 | 01-11-2022 | 2182 | 3287,317474 | -13,2841695 | 265,5204716 | | 4214,613055 | 2032,613055 | 2032,613055 | 1446590,425 | 383,3871178 | 93% | 38% | 28 | |
| 37 | 02-11-2022 | 11974 | 3333,497177 | 26,54680843 | 3232,892864 | | 3955,85414 | -8018,14586 | 8018,14586 | 3613627,412 | 93,67908407 | 67% | 39% | 29 | |
| 38 | 03-11-2022 | 5586 | 3376,070788 | 37,28212087 | 752,4610427 | | 3424,935786 | -2161,06421 | 2161,064214 | 3648846,449 | 18,52097414 | 39% | 39% | 30 | |
| 39 | 04-11-2022 | 2990 | 3403,331091 | 30,56915692 | 498,0472536 | | 4341,348295 | 1351,348295 | 1351,348295 | 3590049,538 | 61,51540383 | 45% | 39% | 31 | |
| 40 | 05-11-2022 | | | | | | 1 | 1199,58929 | | | | | | | |
| 41 | 06-11-2022 | | | | | | 2 | 1380,501386 | | | | | | | |
| 42 | 07-11-2022 | | | | | | 3 | 3182,528877 | | | | | | | |
| 43 | 08-11-2022 | | | | | | 4 | 3791,12819 | | | | | | | |
| 44 | 09-11-2022 | | | | | | 5 | 6789,06974 | | | | | | | |
| 45 | 10-11-2022 | | | | | | 6 | 4339,207075 | | | | | | | |
| 46 | 11-11-2022 | | | | | | 7 | 4115,362443 | | | | | | | |
| 47 | 12-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | 13-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | 14-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 15-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | 16-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | 17-11-2022 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 61,51540383 | 1107,574463 | 1743496,447 | 538,3834333 | 38,78% | 37,62% | 16 | |

Figura 11: Representación de matriz de cálculo de modelo de Holt-Winters y medidas de error en Excel. (Elaboración propia)

En línea con el objetivo general, se procede a utilizar el “solver” de Excel con el fin de ajustar los parámetros Alfa, Beta y Gamma con el fin de lograr la minimización del error porcentual promedio, ejecutando este según las directrices que se pueden ver en la figura N°12:

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: ☐ Máx ☒ Mín ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar

Figura 12: Representación de uso de solver para ajuste de parámetros Alfa, Beta y Gamma de modelo de Holt-Winters según minimización de error promedio porcentual. (Elaboración propia)

En esta, el objetivo debe ser la casilla donde se encuentra el promedio de los errores porcentuales, mientras que la restricción y las celdas variables deben ser las casillas donde se encuentren Alfa, Beta y Gamma, para que estas sean ajustadas.

El procedimiento anterior se efectúa para cada uno de los 8 modelos combinados a evaluar en cada ciclo de prueba con el fin de obtener un modelo más preciso. Los diferentes modelos por evaluar se enlistan enseguida:

- 1) Holt-Winters con St formulado aplicado a pedidos reales.
- 2) Holt-Winters con St de residuales aplicado a pedidos reales.
- 3) Holt-Winters con St formulado aplicado a pedidos proyectados con método actual.
- 4) Holt-Winters con St residual aplicado a pedidos proyectados con método actual.
- 5) Holt-Winters con St formulado aplicado a pedidos reales considerando factor de repique.
- 6) Holt-Winters con St de residuales aplicado a pedidos reales considerando factor de repique.
- 7) Holt-Winters con St formulado aplicado a pedidos proyectados con método actual considerando factor de repique.
- 8) Holt-Winters con St residual aplicado a pedidos proyectados con método actual considerando factor de repique.

Habiendo realizado la comparativa de los primeros tres ciclos de prueba, rápidamente se descarta la utilización de los últimos 4 ajustes al modelo, esto debido a que en cada uno de los ciclos evaluados producen errores iguales o superiores a las medidas de error que presenta la solución actualmente utilizada por la compañía.

Posterior a ello, para continuar con la etapa 5, se procede a comparar solamente los primeros 4 métodos, principalmente enfocado en los valores de error porcentual y MAPE. Para este procedimiento se toma el valor de error porcentual y MAPE arrojado por la proyección actual para cada uno de los ciclos de prueba, los cuales se contrastan con cada uno de los cuatro modelos a prueba para sus respectivos ciclos, posteriormente obteniendo un promedio de las diferencias porcentuales en ambas medidas de error que arroja cada uno de los modelos probados respecto al

modelo actual de la compañía. Esta comparativa puede evidenciarse en la tabla N°6 a continuación:

| | Ciclo | | Holt Winters Tradicional (Si formulado) | | | | Holt Winters con 5 residuales | | | | Holt Winters Tradicional proy. actual (Si formulado) | | | | Holt Winters proy. actual con 5 residuales | | | |
|------------------|---------------|---------------|---|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|--|---------------|-------------------|-----------------|--|---------------|-------------------|-----------------|
| | Error % | Mape | Error % | Mape | Diferencia Error% | Diferencia Mape | Error % | Mape | Diferencia Error% | Diferencia Mape | Error % | Mape | Diferencia Error% | Diferencia Mape | Error % | Mape | Diferencia Error% | Diferencia Mape |
| C16-22 | 43,99% | 36,43% | 38,78% | 37,62% | 5,21% | -1,19% | 32,08% | 27,77% | 11,91% | 8,66% | 55,28% | 39,36% | -11,28% | -2,94% | 53,72% | 42,68% | -9,73% | -6,25% |
| C18-22 | 32,44% | 32,66% | 21,62% | 21,69% | 10,82% | 10,97% | 18,52% | 16,40% | 13,92% | 16,26% | 25,87% | 28,92% | 6,57% | 3,75% | 24,18% | 25,19% | 8,26% | 7,47% |
| C01 | 47,40% | 41,25% | 30,62% | 37,96% | 16,78% | 3,29% | 25,01% | 31,45% | 22,39% | 9,80% | 33,26% | 41,91% | 14,14% | -0,67% | 33,40% | 38,12% | 14,00% | 3,13% |
| C02 | 18,95% | 27,49% | 15,95% | 15,96% | 3,01% | 11,52% | 12,56% | 12,37% | 6,40% | 15,12% | 17,19% | 20,11% | 1,76% | 7,38% | 13,38% | 14,09% | 5,57% | 13,39% |
| C04 | 21,14% | 24,19% | 14,24% | 16,75% | 6,90% | 7,45% | 12,99% | 13,12% | 8,15% | 11,07% | 20,71% | 26,63% | 0,43% | -2,44% | 16,26% | 18,49% | 4,88% | 5,71% |
| C08 | 14,82% | 17,27% | 20,44% | 25,45% | -5,62% | -8,18% | 14,35% | 13,44% | 0,46% | 3,84% | 14,22% | 13,05% | 0,60% | 4,22% | 22,45% | 25,85% | -7,64% | -8,58% |
| C13 | 23,01% | 23,54% | 16,11% | 15,99% | 6,90% | 7,55% | 12,79% | 15,06% | 10,21% | 8,48% | 22,55% | 22,88% | 0,46% | 0,65% | 16,79% | 18,45% | 6,22% | 5,08% |
| Promedios | 28,82% | 28,98% | 22,54% | 24,49% | 6,29% | 4,49% | 18,33% | 18,52% | 10,49% | 10,46% | 27,01% | 27,55% | 1,81% | 1,42% | 25,74% | 26,12% | 3,08% | 2,85% |

Tabla 6: Comparativa de medidas de error modelos de prueba. En la columna Ciclo se aprecia los errores arrojados por la predicción del modelo actual utilizado por la compañía. Por otra parte, en verde es posible apreciar la mejor diferencia de error porcentual y MAPE obtenidas, correspondientes al modelo 2 de prueba. (Elaboración propia)

Tal cual se puede evidenciar en la tabla N°6, el método de Holt-Winters con St residual aplicado a los pedidos reales de los periodos es el que mejor desempeño presenta, obteniendo un error porcentual de 18,33% y un MAPE de 18,52%.

Posterior a ello, con el modelo prototipado, se da comienzo a la etapa 6, donde corresponde la validación de la solución por parte de los encargados del área de planeamiento y logística, donde se debe ver la congruencia del modelo con lo requerido por cada una de las áreas, tanto en capacidad de personal, software y necesidades propias del área, con el fin de ajustar este a requerimientos de planificación agregada requeridas por la empresa.

Finalmente, ya siendo validado el prototipo, se debe proceder a la implementación de este en ciclos venideros, para lo cual se requerirá el uso de Excel e, idealmente, programación con “RStudio” con el fin de validar estadísticamente el comportamiento de los diferentes ciclos y poder utilizar el método elegido. Así, un analista deberá utilizar estas herramientas para, basado en el modelo propuesto y una tabla prototipo que se entregará a la empresa similar a la mostrada con anterioridad en la figura N°11, generar proyecciones en base a la regresión de los últimos 30 días, actualizando esta proyección cada una semana, con el fin de obtener datos más acertados y en congruencia con los pedidos actuales que posea la empresa. Además, deberá existir una etapa posterior a la implementación, la cual corresponde a una revisión y ajuste continuo del modelo según las condiciones del negocio en el periodo de evaluación, donde se generará una revisión del modelo y

el ajuste que este está teniendo, además de la revisión de capacitaciones del personal que esté encargado de usarlo, en conjunto con la revisión continua del buen funcionamiento de la herramienta propuesta en el hardware proporcionado por la empresa.

5.2) Análisis de riesgo

Basado en la solución escogida, se ha realizado una matriz con los respectivos riesgos asociados y sus mitigaciones, la cual se puede ver a continuación:

| Riesgo | Probabilidad | Consecuencias | Nivel de riesgo | Mitigación |
|---|---------------|---------------|-----------------|---|
| No flexibilidad del modelo | Poco probable | Moderadas | Bajo | Adaptar el modelo a condiciones estructurales nuevas |
| Rechazo del modelo | Probable | Altas | Alto | Reestructuración del modelo según condiciones solicitadas |
| Errores de predicción superiores a actuales | Probable | Altas | Alto | Reformulación del modelo y evaluación de pesos de variables |
| No ajuste del modelo | Poco probable | Muy altas | Medio | Cambio de modelo de predicción |
| No disponibilidad de financiamiento | Poco probable | Moderadas | Bajo | Adecuación al presupuesto establecido |
| Bajo entendimiento de áreas | Probable | Altas | Medio | Mejorar instancias de comunicación y entendimiento del modelo |
| Aumento en costos de modelo | Poco probable | Moderadas | Medio | Reformulación del modelo y evaluación de pesos de variables |

Tabla 7: Matriz de riesgos y mitigaciones implementación método de Holt-winters. (Elaboración propia)

Basado en la tabla N°7, donde mayor riesgo existe es en el rechazo del modelo y la presencia de errores de predicción superiores a los actuales, dos puntos alineados con una correcta formulación inicial del modelo, la que supone un punto crítico sobre el cual prestar mayor atención.

6.Resultados

6.1) Resultados de la solución.

Para obtener resultados de la eficacia del modelo seleccionado y, consecuente con la imposibilidad de ponerlo en práctica actualmente, se realizó una comparativa con la proyección de pedidos del modelo actual utilizado por la empresa, contrastando este versus cómo hubiese rendido la aplicación del modelo de HW en el mismo periodo de tiempo. Para ello, se utilizaron los mismos métodos con los que se realizó el análisis de los datos correspondientes al modelo usado por la empresa en el apartado de contexto del problema y contexto de la oportunidad, con lo que se obtuvo en primer lugar, la representación de los pedidos proyectados con el método de Holt-Winters aditivo versus los pedidos reales según un consolidado de proyecciones realizadas para los ciclos de prueba, la cual se muestra en la figura N°13 a continuación:

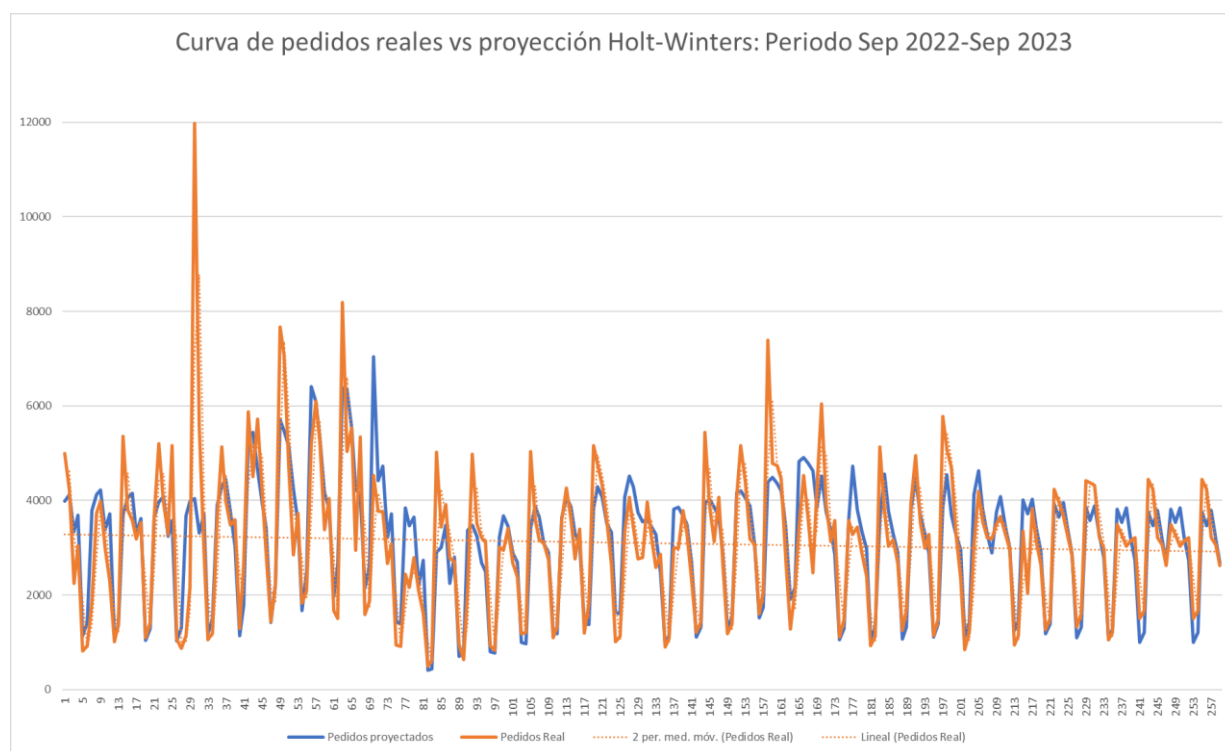


Figura 13: Representación gráfica de cantidad de pedidos proyectados método de Holt-Winters aditivo versus reales periodo septiembre 2022- septiembre 2023. En esta es posible observar el comportamiento de los pedidos proyectados en azul y los pedidos reales en naranja. En el eje vertical se presenta el número de pedidos, mientras que el eje horizontal corresponde al día de la secuencia. (Elaboración propia)

Los datos anteriores permiten la obtención de las siguientes mediciones que se pueden apreciar en la tabla N°8 que se ve enseguida:

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Promedio diferencia pedidos diario | 563 |
| Promedio diferencia pedidos semanal | 2814 |
| Promedio error | 40 |
| Promedio error absoluto | 19,23% |
| Error mínimo | 0,00% |
| Error máximo | 222,07% |
| Días real está sobre curva proyectada | 108 |
| Días real está bajo curva proyectada | 151 |
| Pedidos promedio sobre curva | 235 |
| Pedidos promedio bajo curva | 328 |

Tabla 8: Resumen de datos obtenidos sobre comparativa curva de pedidos proyectada con modelo de Holt-Winters versus real periodo septiembre 2022-septiembre 2023. En esta tabla resaltan los datos de promedio de error porcentual absoluto y el error máximo de la medición actual. (Elaboración propia)

Observando lo anterior, es posible apreciar la clara disminución del error promedio porcentual el cual alcanza un 19,23%, contrastando con el 28,85% obtenido por el modelo actual utilizado en la empresa. Con ello, y teniendo en cuenta que el anterior corresponde a uno de los KPI propuestos para la medición de eficacia de la solución, este alcanza una disminución de 9,62%, lo que cumple uno de los puntos del objetivo general el cual es la disminución de al menos 8 puntos porcentuales en el error porcentual promedio.

Por otra parte, para evaluar el alcance que tiene la solución sobre el Backlog de pedidos, y siguiendo con la metodología utilizada en el apartado de contexto, se calculó los días en que este es superior a 40%, 60% y 80%, además de los días totales de Backlog durante el periodo de prueba. Así, se obtiene la siguiente tabla resumen:

| Backlog pedidos | Modelo actual (días) | Modelo Holt-Winters aditivo (días) | % disminución de Backlog |
|-----------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| BL 40 | 16 | 4 | -75% |
| BL 60 | 5 | 1 | -80% |
| BL 80 | 2 | 0 | -100% |
| Backlog total | 23 | 5 | -78% |

Tabla 9: Comparativa de días de Backlog de pedidos entre modelo actual usado por empresa y modelo de Holt-Winters propuesto. En naranja se aprecia el modelo actual, mientras que en verde el modelo de HW. En amarillo destaca la diferencia de BL total del modelo de HW respecto al anteriormente utilizado. (Elaboración propia)

La tabla N°9 permite apreciar que la disminución de la cantidad de días que se genera un backlog importante es significativa, llegando a la disminución de un 78% de días de backlog respecto al método anteriormente utilizado, inclusive obteniendo la no existencia de BL superior al 80%. Este indicador corresponde al segundo KPI propuesto para la medición de resultados.

Finalmente, pasando al último apartado de resultados obtenidos, se procedió a calcular los costos asociados a la proyección de pedidos con el método de Holt-Winters donde, en base a los costos de turnos extra y pérdida de turnos mostrados en un comienzo, se obtuvo la siguiente matriz de resumen:

| Gastos | Modelo actual | Modelo Holt-Winters aditivo | % disminución de gastos |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------|
| Costos Turnos Extra | \$ 105.070.910 | \$ 21.112.000 | -79,9% |
| Costos pérdida de turnos | \$ 220.910.897 | \$ 95.757.502 | -56,7% |
| Costos totales | \$ 325.981.807 | \$ 116.869.503 | -64,1% |

Tabla 10: Comparativa de gastos entre modelo actual usado por empresa y modelo de Holt-Winters propuesto. En naranja se aprecia el modelo actual, mientras que en verde el modelo de HW. En amarillo destaca la diferencia de costos totales del modelo de HW respecto al anteriormente utilizado. (Elaboración propia)

Tal como se puede apreciar en la tabla N°10, tanto los costos por pérdida de productividad de turnos como los costos por turnos extra disminuyen, siendo estos últimos sumamente importantes para el proyecto y la empresa, los cuales alcanzan una disminución del 79,9% versus el modelo anterior lo que, en línea con el objetivo general, logra el cumplimiento del segundo punto propuesto el cual era la disminución de al menos un 20% del gasto por turnos extra, superando esta cifra con creces. Sumado a ello y, más significativo aún, se aprecia una disminución de los costos totales de un 64,1%, cifra no menor y que significa el ahorro de aproximadamente \$210.000.000 de pesos anuales para la empresa.

6.2) Evaluación económica.

Para realizar una evaluación económica sólida se hace necesario plasmar una inversión inicial, la cual se muestra a continuación en la tabla N°11:

| Inversión | Monto |
|-------------------------------|--------------|
| Computador | \$900.000 |
| Personal encargado (analista) | \$14.400.000 |
| Total | \$15.300.000 |

Tabla 11: Costos de inversión para el primer año asociados a un analista encargado de construcción y revisión curva de pedidos. (Elaboración propia)

Se considera costo de un computador para el manejo de datos y construcción del modelo de proyección, además del costo asociado a quien este encargado de la construcción y/o revisión de este, tomando en cuenta el salario anual promedio de un analista perteneciente a la empresa.

Posteriormente, considerando los resultados anteriores y la disminución de costos asociada al nuevo modelo, se realiza el ejercicio de proyectar dos años consecutivos en los cuales se asume que los costos del año cero correspondiente a los costos del modelo actual se mantendrían y se calcula la disminución de costos asociada a la disminución en el error porcentual promedio de un 9,62% respecto al año inmediatamente anterior, con ello se obtiene la tabla N°12:

| Situación HW(9,62%) | Año 0 | Año 1 | Año 2 | |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Costo Proyección < Real | \$105.070.910 | \$70.035.133 | \$70.035.133 | |
| Costo Proyección > Real | \$220.910.897 | \$147.248.407 | \$147.248.407 | |
| Costo total | \$325.981.807 | \$217.283.541 | \$217.283.541 | Total |
| Disminución vs año 0 | | \$108.698.266 | \$108.698.266 | \$217.396.533 |

Tabla 12: Costos disminuidos con situación basada en resultados obtenidos. (Elaboración propia)

Según datos de inversión inicial y los ahorros de los dos primeros años según la situación esperada por el modelo de HW, considerando además una tasa de 9% en línea con la TPM actual del Banco Central (Banco Central, 2023), se obtiene VAN de \$175.912.336 y TIR de 699%.

7.Conclusión.

Basado en los resultados proyectados con anterioridad, la implementación del modelo propuesto por el presente proyecto permitiría la disminución del error promedio porcentual entre el pronóstico y la realidad de pedidos diarios de Natura en un 9,62%, lo que a su vez permitiría que la empresa disminuya sus costos por turnos extra en un 79,9% y sus costos totales asociados a esta diferencia en un 64,1%.

Las anteriores consideraciones permiten que el objetivo general alcance los dos puntos propuestos, superando la disminución de 8 puntos porcentuales de el error porcentual promedio, además de la disminución de al menos un 20% de los costos por turnos extra, situación que tiene gran relevancia para el presupuesto de la empresa y que, además fue superada con creces.

7.1 Discusión.

A pesar de las conclusiones anteriores, queda en duda las consecuencias que pueda tener la aplicación del modelo a la realidad actual de la empresa, la cual se encuentra en un periodo de fusión y que, en consecuencia tendrá diversos cambios estructurales y, muy posiblemente en sus ventas, por lo que se requiere tener en consideración la posibilidad de mejora del modelo constante, considerando además otras variables que no han sido evaluadas durante el proyecto, tales como factores de cómo afecta el inicio de un ciclo o estacionalidades anuales producto de fiestas, catástrofes, entre otros. A lo anterior se suma un efecto a evaluar que evidencian diversos modelos de HW de desplazamiento en sus proyecciones por la posible lentitud de reacción en los cambios bruscos de demanda, el cual, a medida que este modelo pueda se puesto en práctica en la empresa, debe ser revisado y ajustado con mayor cuidado.

8. Referencias

1. Boada, A., (2016). "Sistema Forecast". Predicción automatizada en empresas de venta directa. Opción, 32(11),121-142. [fecha de Consulta 14 de Noviembre de 2023]. ISSN: 1012-1587. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31048902009>
2. Rodríguez-León, J., & Pachón-Rincón, M. (2021). Estudio de pronóstico para la planeación, caso de estudio empresa distribuidora del sector farmacéutico. *Revista UIS ingenierías*, 20(4), 59-78. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553772639005/553772639005.pdf>
3. Gonçalves, J. N., Cortez, P., Carvalho, M. S., & Frazao, N. M. (2021). A multivariate approach for multi-step demand forecasting in assembly industries: Empirical evidence from an automotive supply chain. *Decision Support Systems*, 142, 113452. Recuperado de: http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/70911/4/DSS_2020.pdf
4. Banco Central de Chile. (Noviembre 2023). Serie de datos económicos. Recuperado de https://si3.bcentral.cl/bdemovil/BDE/Series/MOV_SC_TI1
5. CHOPRA, S. (2008). ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO: ESTRATEGIA, PLANEACION Y OPERACION (3a. ed.). MEXICO: PEARSON EDUCACION.

9. Anexos

1. Matriz de cálculo de selección, riesgo y evaluación económica [Matrices de selección y riesgo.xlsx](#)
2. Archivo de consolidado pedidos proyectados versus reales. En este se puede encontrar pestañas con gráficas de diferentes ciclos, cálculos de modelo de HW además de los errores de medición. [Consolidado pedidos proyectados versus reales ciclo 3 semanas.xlsx](#)