



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Modelo predictivo de desagregación de garantías de productos de línea blanca en el tiempo

Estefany López Toro

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2023

Modelo predictivo de desagregación de garantías de productos de línea blanca en el tiempo

Estefany López Toro

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Maestría en ingeniería – Analítica Nodo Profundización

Director (a):

PhD, Fernán Alonso Villa Garzón

Línea de Investigación:

Ciencia de datos, analítica predictiva

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2023

*En agradecimiento a mis padres y hermana,
quienes desde siempre han sido mi soporte y
fortaleza para emprender y alcanzar mis
propósitos.*

Declaración de obra original

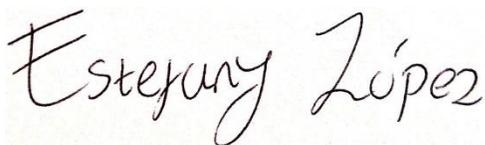
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Estefany López Toro

31/01/20

Resumen

Modelo predictivo de desagregación de garantías de productos de línea blanca en el tiempo

En la actualidad, en un contexto competitivo y globalizado, es fundamental que las empresas gestionen la calidad de los productos y servicios que comercializan, ya que esto tiene un alto impacto en los costos asociados a la falta de calidad y en la reputación de la marca frente a distribuidores, competidores y clientes. En el mercado de comercialización de bienes existe un requisito legal de brindar garantía sobre los productos distribuidos, que se da desde el momento en que el producto llega a manos del consumidor y es sometido a condiciones normales de uso, hasta que se cumple el periodo de tiempo pactado por la empresa en el momento de la venta. Es fundamental para el equipo encargado de gestionar la calidad conocer el desempeño de lo que se está produciendo, por lo que la estimación del desempeño en campo es primordial para tomar medidas correctivas oportunas sobre el proceso o producto. En el presente trabajo se propone un modelo predictivo de desagregación de garantías de productos de línea blanca en el tiempo que considera variables como número de garantías a periodos de tiempo definidos, ventas y producción que pretende suministrar información con la que podrían tomarse decisiones respecto a acciones correctivas, efectividad de acciones ya materializadas, previsión de recursos financieros para responder por servicios en garantía, rendimiento de materias primas y proveedores, entre otras, facilitando la gestión de la calidad que tiene un tan alto impacto en la destrucción de valor y rentabilidad de la compañía.

Palabras clave: Predicción, garantías, desagregación en el tiempo.

Abstract

Predictive model for the disintegration of white goods product guarantees over time

Currently, in a competitive and globalized context, it is essential for companies to manage the quality of the products and services they sell, since it has a high impact on the costs of non-quality and on the reputational conditions of the brand in the face of consumers, distributors, competitors and customers. In the market for the sale of goods, there is a legal requirement to provide a guarantee on distributed products, which occurs from the moment the product reaches the hands of the consumer and is subjected to normal conditions of use, until the period of time agreed by the company at the time of sale. It is essential for the team in charge of managing quality to know the performance of what is being produced, so the estimation of performance in the field is essential to take timely corrective measures on the process or product. This paper proposes a predictive model for the disaggregation of white line product guarantees over time that considers variables such as number of guarantees at defined periods of time, sales and production, which aims to provide information with which decisions could be made regarding actions, corrective actions, effectiveness of actions already materialized, forecast of financial resources to answer for warranty services, performance of raw materials and suppliers, among others, facilitating quality management that has such a high impact on the destruction of value and profitability of the company. company.

Keywords: Prediction, guarantees, disaggregation in time.

Contenido

	Pág.
1. La problemática de las garantías: herramienta de control de la destrucción de valor en compañías de comercialización de productos.	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Revisión de la literatura.....	13
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Metodología.....	16
1.5 Aportes y contribuciones.....	17
1.6 Mapa del documento.....	17
2. Caracterización de los datos de garantías.....	18
2.1 Introducción.....	18
2.2 Materiales y métodos.....	19
2.3 Resultados y discusión.....	21
2.4 Conclusiones.....	23
3. Modelo predictivo de desagregación de garantías en el tiempo.....	24
3.1 Introducción.....	24
3.2 Materiales y métodos.....	25
3.3 Resultados y discusión.....	27
3.4 Conclusiones.....	28
4. Conclusiones y recomendaciones.....	29
4.1 Conclusiones generales.....	29
4.2 Cumplimiento de los objetivos.....	29
4.3 Trabajo futuro.....	29
5. Referencias.....	32

1. La problemática de las garantías: herramienta de control de la destrucción de valor en compañías de comercialización de productos.

1.1 Introducción

“La calidad es nuestra mejor garantía de la fidelidad de los clientes, nuestra más fuerte defensa contra la competencia, y el único camino para el crecimiento.” – Jack Welch

Gestionar la calidad de los productos y servicios que se comercializan es una práctica fundamental, no solo pensando en los altos costos de la no calidad sino también en el impacto reputacional que esta tiene de cara a los clientes y los competidores. A nivel nacional e internacional las organizaciones productivas y sus actores enfrentan exigencias internas y externas de distinta índole que les han obligado a que optimicen sus recursos (Ramos, 2016), y definitivamente hacerse cargo de gestionar la calidad es una práctica que impacta directamente en el costo de la no calidad y en el resultado de las ventas.

Las reclamaciones por no calidad denominadas garantías, tiene en el mercado de línea blanca unos altos costes puesto que implican el pago de un técnico de servicio especializado, costo de repuestos, gastos logísticos y administrativos y en ocasiones incluso el costo del cambio de producto, afectando directamente las utilidades y por tanto la rentabilidad de la compañía. Desde la perspectiva reputacional se ve afectada la credibilidad y confianza que tienen en la marca distribuidores y clientes, que impacta en la recomendación voz a voz y en sus decisiones de compra futuras. Este componente reputacional es sumamente importante puesto que es considerado por los expertos como un recurso, una capacidad dinámica y un activo intangible, y, por tanto, fuente de ventaja competitiva, generadora de resultados superiores, que tiene la calidad como una de sus dimensiones más influyentes (Cifuentes & Martínez, 2009).

En la industria manufacturera existe la calidad percibida y la calidad funcional. La calidad percibida puede ser identificada y resuelta desde el momento en que el bien es entregado al cliente puesto que solo se requiere de un chequeo visual para su identificación, diferente de la calidad funcional que requiere de que el bien sea sometido a condiciones de uso normales y se mantenga su correcto funcionamiento hasta el final del periodo de garantía establecido por la marca. Lo anterior implica que pueden presentarse reclamaciones por

no calidad durante todo el periodo de tiempo en que aplique la garantía, por tanto, determinar la tasa de fallo de la compañía respecto a la producción, las utilidades reales de determinada fabricación, el impacto de variaciones en el proceso productivo o de insumos de materias primas, entre otros, requiere de esperar que se cumpla a cabalidad todo el periodo de tiempo en que podrían presentarse reclamaciones para cada lote de producción. Las empresas no pueden esperar 2 o 3 años para determinar respecto al desempeño y rentabilidad de su producción, puesto que es fundamental para tomar decisiones respecto a sus proveedores, procesos y precios.

Comprender la confiabilidad de campo de un producto vendido es crucial tanto para los gerentes como para los ingenieros para monitorear la calidad del producto y mejorar el diseño del servicio de garantía (Shuguang He, Zhaomin Zhang, Wei Jiang & Dejun Bian, 2018). Hoy las empresas productoras de bienes sujetos a garantía implementan diferentes técnicas para auditar cómo está el desempeño de la calidad, siendo el principal indicador el índice de falla comúnmente calculado con base a las últimas garantías recibidas en determinado mes. Esta métrica no considera factores claves en el análisis de garantías como el entendimiento de que las garantías recibidas pueden pertenecer a diferentes periodos de elaboración, y por tanto el dato puede estar generando alarmas respecto a lotes producidos antiguos con muchas novedades que pueden no estar representando el panorama actual de la operación, o por el contrario generar la impresión de que la calidad se encuentra controlada y estar ocultando el hecho de que puede estarse llevando a cabo una mala práctica en el presente que solo se verá reflejada en meses futuros. Un análisis de calidad enfocado en la predicción de la desagregación de garantías en el tiempo en el mercado de productos de línea blanca permitiría, por tanto:

- Tener una métrica de calidad que refleje la realidad del desempeño del proceso sin la necesidad de esperar meses o años para tener una estimación.
- Validar en menor tiempo el efecto de las variaciones realizadas en pro de mejorar la calidad.
- Identificar alertas tempranas por novedades en el proceso productivo o con materias primas.
- Disminuir el número de garantías al implementar medidas correctivas tempranas, impactando la destrucción de valor compañía.

El presente trabajo propone un método para estimar la desagregación de las garantías en el tiempo, especificando que técnicas y herramientas serán empleadas para el cumplimiento del objetivo general. No está incluido en el alcance la puesta en marcha del método.

1.2 Revisión de la literatura

En las sociedades actuales los consumidores enfrentamos nuevas realidades asociadas a la era digital y la globalización en las que los precios competitivos y la alta calidad marcan la diferencia en los momentos de verdad entre la empresa y el cliente, y ante este contexto la calidad no debe ser percibida como un concepto abstracto e inmensurable sino como un aliado fundamental que puede rendir los logros y objetivos de eficiencia que se planteen. El instituto nacional americano de estándares (ANSI) y la Sociedad Americana de Calidad (ASQ) en 1978 definieron calidad como la totalidad de las características de un producto o servicio que posee la habilidad de satisfacer las necesidades dadas. Para 1980, el concepto de calidad fue resumido por dichas entidades en la condición de satisfacer o exceder las necesidades de los clientes. (Gillezeau, P., & Romero, S, 2004).

De acuerdo con la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) la calidad es la “condición en que un producto cumple con las características inherentes y las atribuidas por la información que se suministre sobre él”, y la idoneidad es su “aptitud para satisfacer la necesidad o necesidades para las cuales ha sido producido o comercializado”. Cuando no se cumpla con esta calidad o idoneidad se da paso a una garantía, que es la “obligación temporal y solidaria que tienen a cargo los productores, importadores, proveedores o expendedores de responder al consumidor por calidad, idoneidad, seguridad, buen estado y funcionamiento de los bienes y servicios que producen, proveen o expenden, de conformidad con las condiciones legalmente exigibles o las ofrecidas”. Este periodo de tiempo es inicialmente el definido por la autoridad competente, si no, el definido por el productor o expendedor, y en caso de que no se establezca el término de garantía para productos nuevos es de un año. “El término de la garantía legal empezará a correr a partir de la entrega del producto al consumidor”. (Gobierno de Colombia, 2022)

La garantía es un elemento importante en la comercialización de nuevos productos, ya que una mejor garantía indica una mayor calidad del producto y brinda una mayor seguridad a los clientes. Prestar este servicio implica costos adicionales para el fabricante, por lo que controlar estos reclamos es una de las principales labores del departamento de control de calidad (Murthy & Djameludin, 2002). Si bien los productos pasan por procesos de validación de calidad previos a su salida al mercado, existen una serie de variables alusivas a las condiciones de uso del consumidor que tienen un comportamiento estocástico y que influyen en el desempeño del producto, por lo que la información de las garantías es fundamental para monitorear, advertir (Lawless, F, 1998) e incluso estimar respecto al desempeño futuro de productos ya en el mercado y de producciones venideras.

Es por esto por lo que el análisis estadístico de los datos de garantía se puede utilizar como un método de control estadístico de la calidad, como un medio para el estudio de la confiabilidad del producto y como herramienta para pronóstico de costos. El análisis de garantías consiste en el empleo del análisis estadístico para estimar la tasa de reclamaciones por unidad dentro del período de garantía (Kalbfleisch et al., 1991; Lawless

y Kalbfleisch, 1992; Lawless y Nadeau, 1995; Lawless y Kalbfleisch, 1996), calcular intervalos de confianza para datos agregados y no agregados (Kalbfleisch et al., 1991; Lawless y Kalbfleisch, 1996; Lawless, 1998), determinar la influencia de variables explicatorias (Lawless y Nadeau, 1995), calcular el efecto sobre los costos y pronosticar el impacto futuro de las reclamaciones por garantía (Lawless, 1998; Blischke y Murthy, 2000), estimar la función de confiabilidad de los productos (Kalbfleisch et al., 1991; Lawless, 1998) y, más recientemente, realizar control de calidad sobre el proceso de producción (Wu y Meeker, 2002).

La confiabilidad de un producto es la probabilidad de que el producto realizará su función prevista durante un período de tiempo especificado cuando se opera en condiciones ambientales normales o establecidas (BLISCHKE, W. R; MURTHY, D. N. P, 2000), y esta confiabilidad es el resultado de las decisiones estratégicas, tácticas y operativas tomadas en las etapas de viabilidad, diseño, desarrollo y proceso productivo. Esta fiabilidad del artículo producido puede diferir de la fiabilidad del diseño debido a errores de montaje y no conformidad de componentes, y puede verse afectada por diferentes condiciones posteriores a la manufactura del producto. Todos los productos independiente de su modelo de venta son sometidos a unas condiciones de carga mecánica e impacto en el transporte, y duración y condiciones del almacenamiento que tienen incidencia en la confiabilidad inherente. Adicional, una vez el producto se encuentra en manos del consumidor este se somete a condiciones diferidas dadas por la intensidad y modo de uso, las condiciones del entorno en que es utilizado, y el modo de uso del consumidor. Esta fiabilidad podría ser controlada y medida por medio del uso interdisciplinario de probabilidad, estadística y modelado estocástico, combinados con conocimientos de ingeniería sobre el diseño y la comprensión científica de los mecanismos de falla.

Pueden ser empleados modelos de confiabilidad para realizar ejercicios de predicción, estimar y optimizar la supervivencia o el rendimiento de un sistema, el impacto de la falta de fiabilidad y las acciones para mitigar este impacto, también análisis de confiabilidad para estimar modos de falla y causas que contribuyen a la falta de confiabilidad de un producto o sistema, entre otras como ingeniería de confiabilidad, ciencia de confiabilidad, y gestión de fiabilidad. (D.N.P. MURTHY, 2007)

Guo, Monteforte, Mettas, & Ogden determinan que los productos funcionan bajo tensiones y usos aleatorios, y los métodos tradicionales de predicción y entendimiento de garantías usan los valores promedio de estas variables aleatorias, ignorando su aleatoriedad y generando resultados inexactos. Mediante un análisis por escenarios de las tensiones aleatorias, y de las tensiones aleatorias en integración con los usos aleatorios de los clientes, llegan a la conclusión de que las soluciones aproximadas pueden ser muy diferentes de los resultados exactos, y que considerar las variaciones y los intervalos de la predicción es mucho mejor puesto que la estimación de intervalo proporciona más información que una estimación puntual simple. (Guo, Monteforte, Mettas, & Ogden, 2009)

En el año 2013 fueron implementadas por Wang, Pan, Li, & Jiang pruebas de degradación acelerada, entendiendo que las condiciones de laboratorio pueden ser diferentes de la

condición de campo, por lo que para predecir fallas en campo definen calibrar la predicción por medio de los datos producto de la degradación acelerada. Este método de evaluación mediante un enfoque bayesiano y métodos Monte Carlo de cadenas de Márkov integra los datos de laboratorio con los datos de fallas de campo, utilizando factores de calibración para denotar la diferencia entre las condiciones de laboratorio y de campo a fin de predecir la confiabilidad de campo real de un producto con mayor precisión. (Wang, Pan, Li, & Jiang, 2013)

En el año 2016 Delgado Cifuentes & Orejuela Roldan se generó un modelo de predicción de reclamaciones de tarjeta de crédito de una entidad financiera para determinar la viabilidad en la utilización de un modelo ARIMA de series de tiempo que permita pronosticar el volumen de reclamaciones susceptibles de presentarse respecto al Producto de Tarjeta de Crédito en una entidad financiera, presentando un resultado favorable en la evaluación del ajuste (Delgado Cifuentes & Orejuela Roldan, 2016). También en el mismo año fue presentado por Geiger & Sarakakis un método para utilizar los datos reales de desempeño en el usuario, con el fin de gestionar la confiabilidad del producto. Con estos datos proporcionaron información a los ingenieros de desarrollo para los casos de uso relevantes, desarrollando perfiles de prueba de usuario, y generando perfiles de prueba que revelan modos de falla relevantes durante la prueba y la simulación, con el fin de que este método en que los análisis se fundamentan en datos influirá positivamente en la forma en que se implementa la confiabilidad. (Geiger & Sarakakis, 2016)

En el año 2018 fue desarrollado un estudio en el mercado de automóviles en el que se determinó que la confiabilidad de los productos mejora con el tiempo. Fue desarrollado un modelo de regresión log-lineal sobre la tasa de falla de los productos considerando la tasa de uso y el día de fabricación como covariables, con un enfoque de máxima verosimilitud utilizada para estimar los parámetros. Los resultados muestran la existencia de efectos de aprendizaje en confiabilidad en la etapa temprana de manufactura. (Shuguang He, Zhaomin Zhang, Wei Jiang & Dejun Bian, 2018)

En el 2020 fue realizado un ejercicio de pronóstico para determinar cuantos kilómetros recorre un autobús antes de presentar una falla, información que esperaba usarse para para realizar una gestión adecuada de la flota y con ello disminuir las fallas que se presentan en la operación. Fueron implementadas las técnicas de árbol de decisión recortados y sin recortar, y red neuronal, presentando un menor error cuadrático medio la red neuronal. (Tigeros, 2020)

1.3 Objetivos

General

Proponer un modelo para la predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca.

Específicos

1. Caracterizar las variables requeridas para un modelo de predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca.
2. Implementar un modelo de predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca con las variables caracterizadas.
3. Validar el modelo propuesto.

1.4 Metodología

Será adaptado a la metodología CRISP-DM en concordancia con los objetivos específicos planteados. En detalle:

1. *Caracterización de las variables de los servicios prestados en garantía.*

En primera instancia será realizado un ejercicio de recolección de posibles variables explicativas de la desagregación de garantías, serán recopilados los datos alusivos con el fin de realizar un análisis descriptivo para entender el comportamiento de las variables, y por medio de un ejercicio de selección de factores determinar las variables explicativas apropiadas para la creación del modelo.

2. *Implementación de técnica para la predicción de los servicios prestados en garantía y tasa de fallo estimada de un periodo de elaboración.*

Valorar diferentes técnicas hasta determinar las que serán estudiadas para realizar el ejercicio de predicción de la desagregación de las garantías en el tiempo.

3. *Validación del modelo propuesto para la predicción de servicios en garantía.*

Realización de pruebas de calidad a las diferentes técnicas, y seleccionar la que tenga un mejor pronóstico. Por último, documentar los resultados.

1.5 Aportes y contribuciones

En el presente trabajo se aborda la importancia de gestionar la información de las garantías para conocer sobre la calidad de los productos y servicios que se comercializan, se suministra información respecto a cómo deben ser analizados e interpretados los datos de las garantías, y por último se propone un modelo para la predicción de la desagregación de garantías en el tiempo. Se sugieren nuevas configuraciones de modelos que se espera logren una mayor precisión, y sean más sensibles ante novedades de calidad que deban ser atendidas con urgencia.

Esta información pueda contribuir a compañías productoras de bienes en la gestión interna de su calidad y por tanto en la mejora de la rentabilidad compañía, además de suministrar un método que sirve como base para cumplir con el requisito legal de la provisión que es exigido y regulado por la revisoría fiscal. Por último, también se proponen nuevas ideas para dar continuidad al presente trabajo buscando maximizar su impacto en la mejora de la calidad compañía y en la disminución de costes.

1.6 Mapa del documento

El presente documento está constituido en 4 capítulos, el *capítulo 1: La problemática de las garantías: herramienta de control de la destrucción de valor en compañías de comercialización de productos* suministra información introductoria a la problemática de las garantías, presenta los principales hallazgos de la revisión de la literatura previa a la realización del trabajo, plantea los objetivos y metodología que fueron empleados, y por último sugiere los que se consideran los principales aportes y contribuciones de este trabajo. El *capítulo 2: Caracterización de los datos de garantías* establece cuales fueron los materiales y métodos empleados para el ejercicio de pronóstico incluido el proceso de entendimiento y transformación de los datos, y los resultados y conclusiones de esta etapa. Seguido el *capítulo 3: Modelo predictivo de desagregación de garantías en el tiempo* es el cuerpo del trabajo en que se desarrolla el ejercicio de pronóstico, materiales y métodos utilizados y por último los resultados y la discusión alusiva. Por último, el *capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones* relata respecto a las conclusiones generales del documento, y el cumplimiento de los objetivos planteados, las recomendaciones y posibles trabajos futuros en continuidad al ejercicio propuesto. Finalmente, se presentan las referencias empleadas.

2. Caracterización de los datos de garantías

2.1 Introducción

La garantía es una obligación solidaria que deben cumplir los comercializadores de productos de responder al consumidor por la idoneidad de los bienes suministrados durante el periodo de tiempo pactado en el momento de la venta. Los datos de garantías surgen en el mercado de línea blanca de los servicios técnicos prestados a cliente final, tras haber recibido una comunicación por parte del consumidor de que se presentaron novedades en el correcto funcionamiento del electrodoméstico, y debe ser atendida esta reclamación por parte del productor prestando una reparación gratuita, condiciones logísticas de ser necesario y el suministro oportuno de repuestos. El término de la garantía legal se da a partir del momento en que el producto es entregado al consumidor final.

Para efectos de trazabilidad se debe garantizar que los productos comercializados tengan un seriado que permita determinar la fecha de elaboración del producto, que facilitará tras relacionarlo con registros internos la identificación del producto atendido, proveedores que suministraron cada una de las materias primas, condiciones de producción en el proceso de manufactura, entre otras. Además, es fundamental que exista en el momento de la prestación del servicio en garantía una toma de registro del serial atendido y de la fecha de prestación de la garantía. Idealmente también debería tomarse registro de la falla identificada y observaciones alusivas que faciliten el análisis del equipo encargado de gestionar la calidad y mejora continua de los productos. Solo teniendo claridad de la fecha de elaboración y la fecha de prestación del servicio en garantía podrá realizarse un análisis efectivo de la desagregación de garantías en el tiempo. El análisis de estos datos no se enfoca en la cantidad total de garantías recibidas en determinado mes de servicio sino en las garantías que se han recibido de cada periodo de elaboración, entendiendo que la distribución de las reclamaciones en el periodo de tiempo de garantía no se da de forma homogénea, y por tanto auditar la cantidad de tiempo que transcurre desde que el producto fue manufacturado hasta el momento de prestación de la garantía es un dato fundamental para hacer estimaciones efectivas respecto a el desempeño de los lotes de producción recientes y a las reclamaciones futuras para las que debería prepararse la compañía.

El número de garantías atendidas siempre deberá valorarse con relación a la cantidad de unidades producidas, para en función de eso determinar el índice de falla de determinado lote de fabricación. Por último, deberá velarse por que los datos aquí especificados sean lo más confiables y precisos posible, tanto en los datos registrados en el momento de producción, como en el momento de la prestación del servicio en garantía.

2.2 Materiales y métodos

Las garantías son servicios técnicos prestados por personal autorizado en la que el técnico valida en el momento de la prestación del servicio la fecha de elaboración del producto con base en el serial y la cantidad de tiempo transcurrida desde la emisión de la factura presentada por el cliente, con el fin de garantizar que el producto se encuentra en el periodo de tiempo estipulado por la compañía para prestación de garantía. En cada prestación de servicio son registrados los datos de número de servicio, fecha de prestación del servicio, código de producto, serial de producto, fecha de venta, entre otros campos. Las garantías recibidas pertenecen a las categorías de Refrigeración, Calefacción, Lavado, y Producto importado que tienen una participación sobre el total de productos portafolio del 41%, 21%, 28% y 10% respectivamente. Por protección de los datos de la compañía no se profundiza en el análisis descriptivo de los datos ni serán incluidas cifras verídicas en ningún de las ilustraciones, sin embargo, las tendencias y análisis si representan la veracidad de los datos facilitando el entendimiento del comportamiento de las garantías y su desagregación en el tiempo.

Para la preparación de los datos de garantías fue llevado a cabo el proceso de entendimiento y transformación especificado a continuación. En primera instancia se realizó un consolidado de los datos de garantías recibidas. Se determina cuantas garantías fueron atendidas en un periodo de servicio de cada periodo de elaboración, y se realiza el cálculo de la cantidad de meses transcurridos desde el periodo de elaboración a la fecha de prestación del servicio, que en adelante será denominado “Meses”. Los periodos aquí especificados representan un mes, agrupando en un único lote todo lo pertenece a determinado año-mes de fabricación o de prestación de servicio. Se ejemplifica la estructura final de los datos en la *Ilustración No. 1*, en la que se asumen un total de 4.000 garantías atendidas en el periodo de servicio 2022-12, que contiene garantías de productos manufacturados en el periodo de elaboración 2022-12 (Meses =0) y de los productos manufacturados en periodos de elaboración anteriores.

Periodo servicio	Periodo de elaboración	Meses	Garantías
2022-12	2022-12	0	55
2022-12	2022-11	1	251
2022-12	2022-10	2	296
2022-12	2022-09	3	280
2022-12	2022-08	4	255
2022-12	2022-07	5	230
2022-12	2022-06	6	213
2022-12	2022-05	7	197
2022-12	2022-04	8	182
2022-12	2022-03	9	170
2022-12	2022-02	10	159
2022-12	2022-01	11	150

Ilustración No.1: Desagregación de las garantías recibidas en un periodo de servicio por periodo de elaboración.

Esta distribución de las garantías debe hacerse para cada periodo de servicio, hasta llegar a una estructura equivalente a la visualizable en la *Ilustración No.2*. Para su interpretación, el eje X constituye los periodos de elaboración, el eje Y determina a los cuantos Meses se presenta la falla y se contabiliza la cantidad de garantías presentadas para cada caso. Para facilidad del ejercicio se realiza la desagregación para el año 2022.

Periodo de elaboración	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total general
2022-01	40	187	226	219	205	190	182	173	164	159	154	150	2.050
2022-02	41	193	234	227	212	197	188	179	170	165	159		1.966
2022-03	43	199	242	234	219	204	194	185	176	170			1.866
2022-04	44	206	250	242	226	210	201	191	182				1.751
2022-05	45	212	257	249	234	217	207	197					1.618
2022-06	47	219	265	257	241	223	213						1.465
2022-07	48	225	273	264	248	230							1.288
2022-08	49	232	281	272	255								1.088
2022-09	51	238	288	280									857
2022-10	52	244	296										593
2022-11	53	251											304
2022-12	55												55
Total general	568	2.406	2.612	2.244	1.840	1.471	1.186	924	692	495	314	150	14.901

Ilustración No.2: Desagregación de garantías en estructura matricial

Para conocer el número de garantías total recibidas de un periodo de elaboración y su respectivo índice de falla asociado, se calcula el acumulado de garantías recibidas, como se evidencia en la *Ilustración No.3*.

Periodo de elaboración	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2022-01	40	226	452	672	877	1.067	1.249	1.422	1.587	1.746	1.900	2.050
2022-02	41	234	468	695	907	1.104	1.292	1.471	1.641	1.806	1.966	
2022-03	43	242	484	718	937	1.141	1.335	1.520	1.696	1.866		
2022-04	44	250	499	741	967	1.178	1.378	1.569	1.751			
2022-05	45	258	515	764	998	1.214	1.421	1.618				
2022-06	47	265	530	787	1.028	1.251	1.465					
2022-07	48	273	546	810	1.058	1.288						
2022-08	49	281	562	834	1.088							
2022-09	51	289	577	857								
2022-10	52	297	593									
2022-11	53	304										
2022-12	55											
Total general	568	2.919	5.227	6.878	7.861	8.243	8.141	7.600	6.674	5.418	3.866	2.050

Ilustración No.3: Garantías acumuladas de un periodo de elaboración

La diagonal coloreada en tonalidad naranja representa las garantías atendidas en el periodo de servicio 2022-12 y teniendo en cuenta que el periodo de servicio en curso es el 2023-01, se desconocen la cantidad total de garantías a recibir del mes 1 de 2022-12, del mes 2 de 2022-11 y en adelante. Es por esta razón que la zona coloreada en azul solo se conocerá con certeza para el periodo de elaboración 2022-12 hasta llegado el periodo 2023-11. Generalmente la tendencia creciente o decreciente observable desde el mes 2 respecto a los periodos de elaboración anteriores y se mantiene hasta el final de las garantías recibidas.

2.3 Resultados y discusión

Si bien el término de la garantía es generalmente un año, existen diferentes factores que ocasionan que las garantías sean atendidas mucho después de los 12 meses legales, y se fundamentan en que la garantía de cada producto empezará a contar a partir del momento en que el producto llegue a manos de consumidor, no a partir del momento en que es manufacturado. Debe contemplarse en este análisis que puede existir un periodo de tiempo en que el producto esté almacenado en los centros de distribución propios, un tiempo de transporte, y un tiempo en que puede almacenarse en los centros de distribución de los intermediarios quienes entregan el producto al consumidor. Considerando que generalmente por condiciones de trazabilidad se desconoce la fecha de venta del producto, todas las estimaciones se fundamentan en la fecha de elaboración del producto. En un panorama más completo, en una empresa comercializadora de electrodomésticos la desagregación de garantías se da aproximadamente bajo la distribución ejemplificada en la *Ilustración No.4*.

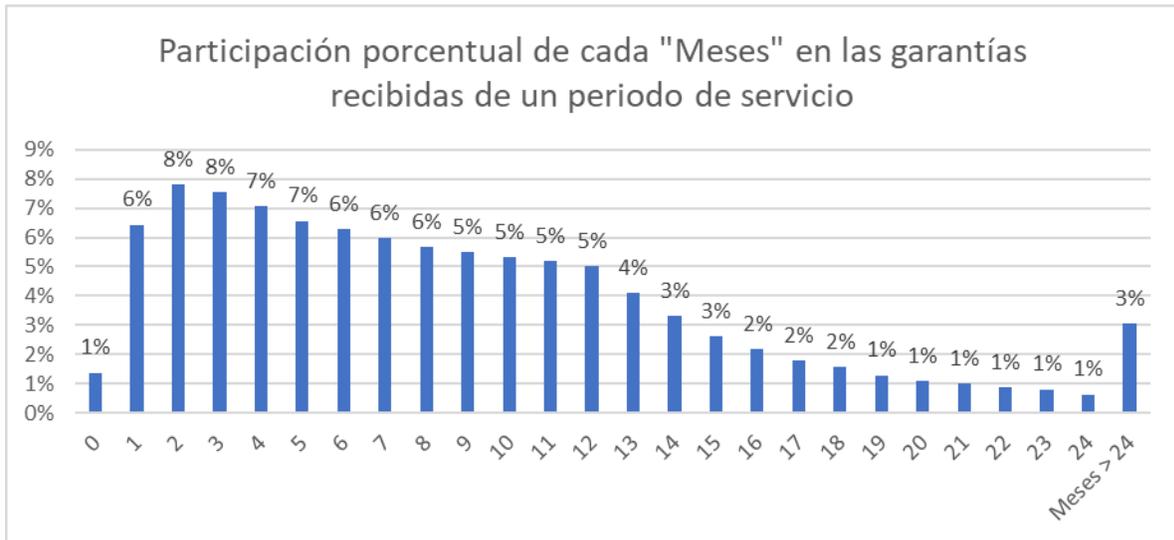


Ilustración No.4: Participación porcentual de cada "Meses" en las garantías recibidas de un periodo de servicio.

Cabe recalcar aquí que cada mes de servicio puede tener una distribución diferente, que dependerá del desempeño del producto en campo y del tipo de fallas que se estén presentando, la rotación del inventario de la compañía y de los distribuidores, del mes que se evalúe, entre otras variables.

Volviendo al ejemplo del periodo de elaboración 2022-12 y en consideración a que pude tomar hasta 3 años lograr la completa desagregación de las garantías, se estima que podría tardar hasta 2025-12 para tener certeza respecto al desempeño de la producción. De este hecho, la importancia de lograr predecir como será la desagregación en el tiempo de las garantías que aún no se han materializado, porque permite identificar el impacto de intervenciones o novedades en el proceso, y permite a la compañía prepararse para los servicios y costos que deberá asumir. Es fundamental mantener este análisis de la desagregación de garantías también en relación con la ventas de determinado periodo de elaboración que facilita entender respecto a la noción de la rotación del inventario.

Existen diversos factores que afectan la cantidad de garantías a atender de cada periodo de servicio, como el número de unidades vendidas en los meses anteriores que varía en función de las promociones ofertadas, negocios cerrados, ocurrencia de fechas especiales, la salida de nuevos productos o variaciones a los actuales que desestabilicen las condiciones de calidad, variaciones en el proceso de manufactura, condiciones como la pandemia que impidió la prestación de servicios, entre muchos otros que dificultan establecer un patrón en la prestación de servicios por mes del año. En la *Ilustración No.5: Participación de cada mes de servicio respecto al total de garantías en el año* se realiza una estimación de cómo es la participación aproximada de cada mes en un año en que no

se presenten variaciones en producto o proceso de impacto relevante, condiciones de venta relevantemente atípicas o pandemias.

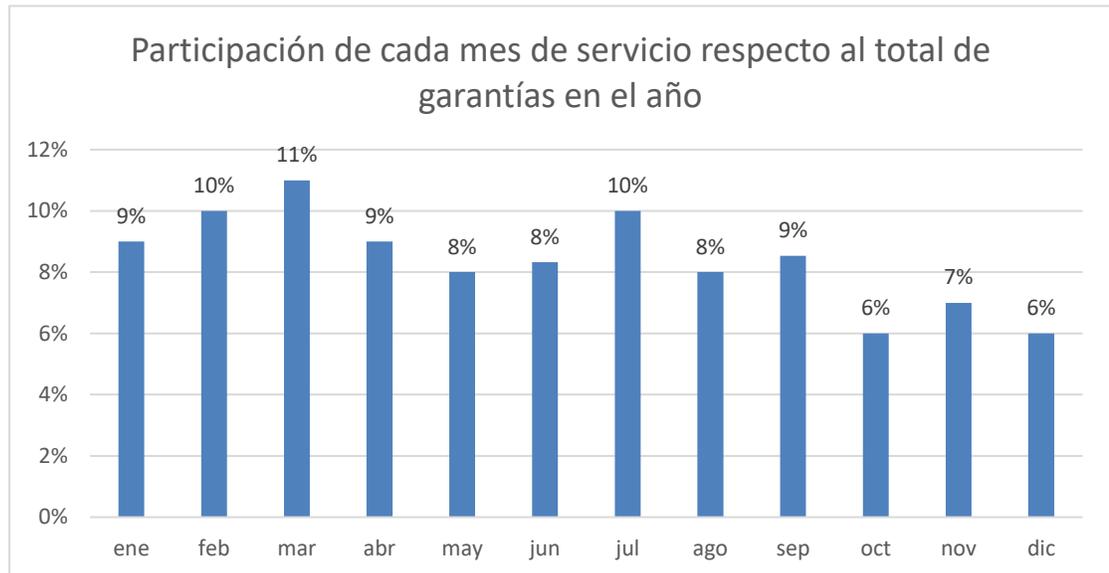


Ilustración No.5: Participación de cada mes de servicio respecto al total de garantías en el año

Como se hace evidente en este análisis se espera un incremento en el primer tercio de meses del año producto de las garantías recibidas de las altas ventas del cierre del año anterior, un nuevo incremento en el tercer tercio posterior al pago de primas y día de la madre que ocasionan un incremento en venta de electrodomésticos, por último, una disminución en el último tercio del año que se ve impactado por una baja en ventas en el tercer tercio del año.

2.4 Conclusiones

- Es fundamental realizar el análisis de las garantías no por el periodo de servicio en que fueron recibidas sino más bien en función de la desagregación por periodo de elaboración, que permite realmente alcanzar un entendimiento de cómo está el desempeño de los productos en campo, volviendo la calidad comparable entre los diferentes periodos de elaboración para valorar el impacto de intervenciones de cualquier índole.

3. Modelo predictivo de desagregación de garantías en el tiempo

3.1 Introducción

Con el fin de facilitar la preparación de la empresa para la prestación de garantías futuras desde las perspectivas de aprovisionamiento de repuestos, gestión de la capacidad del personal de servicio técnico y establecimiento de metas, se partió con el objetivo de establecer cuantas garantías serían atendidas en los meses venideros, pronosticando exclusivamente el número de garantías que serían atendidas sin ningún detalle adicional. Al iniciar el ejercicio fue comprensible que este número por si mismo no permitiría hacer análisis efectivos del desempeño de la calidad, por lo que se procedió a ajustar el modelo de pronóstico de modo tal que permitiese pronosticar no solo el número de garantías que se presentarían en el mes de servicio, sino también a que periodos de elaboración en específico pertenecen las garantías atendidas. Esta información será beneficiosa para diferentes fines y equipos de trabajo, entre los que se observan:

- El equipo de calidad podrá medir el impacto de las variaciones generadas en el proceso, como ingreso de proyectos, variaciones a producto o procesos, impacto de contingencias que fueron admitidas, desempeño de nuevas materias primas, entre otras, y tomar acciones correctivas oportunas para evitar la materialización de mayor número de garantías.
- El equipo de servicio técnico podrá preparar sus recursos físicos y de personal de forma oportuna dadas las alertas tempranas que pudiese identificar el equipo de calidad.
- El equipo de abastecimiento podrá hacer las compras de componentes oportuna para evitar servicios retrasados o pospuestos por desabastecimiento de repuestos afectando los tiempos de respuesta y la satisfacción de los clientes de la compañía.
- El equipo de financiera podrá aprovisionar los recursos monetarios para responder por los servicios estimados hacia el futuro, dando cumplimiento al requisito legal de la provisión.

3.2 Materiales y métodos

Los datos fueron cargados y transformados en Visual Studio Code, así como la creación, entrenamiento y validación del modelo, y su posterior despliegue. Fueron seguidos los siguientes pasos:

1. Cargue de los datos: Fueron cargados los datos de garantías recibidas en el periodo comprendido entre feb 2019 – jul 2022 y las producción y ventas del mismo periodo de tiempo. Existen 3 variables principales descritas a continuación:
 - **Garantías:** Sumatoria de servicios técnicos prestados en garantía en el territorio nacional en un periodo de tiempo definido.
 - **Producción:** Sumatoria de unidades de producto terminado producidas e importadas independiente de su categoría o familia de producto en un periodo de tiempo definido.
 - **Ventas:** Sumatoria de unidades de producto terminado vendidas en el territorio nacional independiente de su categoría o familia de producto en un periodo de tiempo definido.
2. Transformación de los datos: Fueron seguidos los pasos a continuación:
 - 2.1 Crear los campos “Periodo de servicio”, “Periodo de elaboración” y “Garantías” como sumatoria en la tabla consolidada de garantías, y “Periodo de elaboración” en la tabla de producción y ventas. Tener en cuenta que en esta construcción desaparece para ambas tablas el nivel de días convirtiendo todos los días a 01.
 - 2.2 Generar la unión entre la tabla de garantías y la tabla de producción y ventas por el campo de “Periodo de servicio”.
 - 2.3 Creación del campo “MesElaboracion” como resultado de la resta entre el periodo de servicio y el periodo de elaboración.
 - 2.4 Extrae los últimos 6 datos de el mismo mes, periodos de servicios atrás. Si se trata del mes 6 del periodo de elaboración 2020-12, extrae el mes 6 de 2020-11, 2020-10, 2020-09 y en adelante hacía atrás.
 - 2.5 Estima la producción y las ventas futuras con base en la producción y ventas del mismo mes del año inmediatamente anterior.
 - 2.6 Todo lo superior al “MesElaboracion” > 90 se convierte a una única categoría nombrada "Mayor 90 meses".

3. Entrenamiento y validación del modelo: No fueron utilizados los campos 'PeriodoServicio', 'PeriodoElaboracion', 'Año', 'Mes', 'Producción', 'Ventas', 'MesElaboracion' para el entrenamiento del modelo. Se empleó el 10% de los datos para entrenamiento, y fue empleado "random state = 42" para garantizar la repetibilidad del modelo. Fue utilizado "AutoML" para determinar el mejor modelo para el pronóstico de desagregación de garantías, y fue entrenado durante 1000 segundos

AutoML ha sido utilizado en varios trabajos científicos, como la clasificación multietiqueta en el que se destacan los impresionantes resultados que ha tenido en el ámbito del aprendizaje supervisado (M. Wever, A. Tornede, F. Mohr y E. Hüllermeier, 2021), posteriormente en 2022 se realiza una revisión de soluciones de ML y AutoML para pronosticar datos de series temporales, entre otras aplicaciones. Las investigaciones han demostrado que un número adecuado de hiperparámetros incrementa significativamente el rendimiento de los modelos en comparación con la mayoría de las configuraciones predeterminadas del modelo (Mantovani RG, Horváth T, Cerri R, Vanschoren J, de Carvalho AC, 2016). Es seleccionada esta tecnología puesto que permite la creación de modelos de aprendizaje automático de manera más rápida y eficiente, automatizando tareas como la selección de características, la selección de algoritmos y la optimización de hiperparámetros.

El modelo sugerido es un `extra_tree`, con `n_estimadores:8`, características máximas: 0.6815, máximo de hojas: 52 y mejor perdida: 0.0989. Este modelo obtuvo las métricas error medio cuadrado: 2112.31, error porcentaje absoluto medio: 1.317, puntaje R2: 0.92. Dado que cumple con unas condiciones de calidad admisibles se procede a generar la predicción con base a este entrenamiento.

4. Se realiza el ejercicio de predicción solo para 2 meses, siendo estos ago-22 y sep-22, dado que los meses oct-22, nov-22, y dic-22 fueron meses atípicos en la prestación de servicios por variaciones en el sistema de captura de información del equipo de servicio técnico. Para el mes de agosto el número total de servicios en garantía atendidos en el periodo de servicio estuvo 9,1% por encima del valor real,

y para el caso de sep-22 la estimación estuvo un 6% por debajo de la cantidad de real de servicios atendidos.

Estos valores parecieran ser un buen resultado dada la disponibilidad de datos de entrenamiento para el modelo y la naturaleza volátil en la prestación de garantías, sin embargo al realizar el análisis de forma desagregada, es decir, valorando la calidad de la proyección en la desagregación en el tiempo de las garantías, se identificó que el error en porcentaje absoluto medio estuvo 60% desfasado del dato real, con algunos datos estimados con absoluta precisión presentando un 0% en error, y otros en condiciones críticas con un error de hasta 320%.

3.3 Resultados y discusión

Los resultados obtenidos no satisfacen las expectativas en cuanto a la calidad de la predicción, ya que los valores pronosticados difieren significativamente de los valores reales presentados en la desagregación, que es el objetivo de este ejercicio. A pesar de que el modelo presenta un coeficiente de determinación (R^2) superior al 90%, no logra ser efectivo, lo cual se debe a que el R^2 es una medida de la cantidad de variación en los datos que se explica por el modelo, pero no indica necesariamente qué tan bien se ajusta el modelo a los datos. Como se mencionaba anteriormente unos datos pronosticados estuvieron muy ajustados y otros por el contrario con desajuste de más del 300%. Se estima que el modelo puede estar sobreajustado a los datos de entrenamiento y no logra una buena estimación en los nuevos datos, lo que puede darse por el nivel de complejidad del modelo y los pocos datos disponibles de entrenamiento o por la utilización de variables que pueden no ser lo suficientemente relevantes para el problema en cuestión.

Si bien en ausencia de un mejor modelo puede usarse para tener una noción de las garantías en el futuro, el equipo de trabajo deberá continuar su trabajo en la construcción de otro modelo que logre un menor error en su pronóstico. En el proceso de construcción fue identificable que esta formulación no logra capturar periodos de elaboración que tengan comportamientos atípicos, dado que al tener un valor pronosticado en función del desempeño de los periodos de elaboración anteriores y no de las garantías previas de ese mismo periodo, tiene tendencia a tener un comportamiento horizontal que no represente la cantidad de garantías reales a recibir.

Si por ejemplo hubiese una novedad en materia prima de un producto que se tiene identificado generará un incremento de cerca de un 40% de las garantías, y se puede tener meses 0,1,2 significativamente mayores a los meses 0,1,2 de los periodos de elaboración anteriores, el mes 3 a pronosticar seguirá estando dado por los meses 3 de los periodos de elaboración anteriores, y no captará que los meses 0,1,2 de ese periodo en particular es por mucho mayor a los anteriores.

Por tanto, se propone una transformación diferente a los datos para realizar el entrenamiento del modelo, que se espera esté en la capacidad de captar esas variaciones importantes en los primeros meses para pronosticar los siguientes. La propuesta consiste en tomar como variables predictoras no los valores de los periodos de elaboración anteriores, sino los 3 meses previos del periodo de elaboración que se esté pronosticando, entendiendo que esto representaría que solo puede ser pronosticado un mes cuando este tenga consolidado los meses 0,1,2, pero aun así permite el pronóstico de la desagregación de todos los periodos de elaboración anteriores a ese.

Otra variación que se sugiere es que estas nuevas variables predictoras que son el histórico ya acumulado del periodo de elaboración a pronosticar, este dado como las garantías acumuladas a ese *Meses* en específico, siendo que, si va a ser pronosticado el mes 3 de un periodo de elaboración, se tendrá como variables predictoras:

Variable 1: mes 0

Variable 2: mes 0+1

Variable 3: mes 0+1+2.

Considerando que estos números podrían tener una volatilidad importante dado que está determinadamente impactado por la producción de ese periodo de elaboración, se propone también realizar el ejercicio relacionando las variables predictoras con la producción, en donde:

Variable 1: (mes 0) / Producción del periodo de elaboración

Variable 2: (mes 0+1) / Producción del periodo de elaboración

Variable 3: (mes 0+1+2) / Producción del periodo de elaboración

En este escenario no sería pronosticado el número de garantías sino la tasa de fallo acumulada a un *Meses* en específico, que, tras relacionarse de nuevo con la producción y las garantías acumuladas del periodo inmediatamente anterior, permitirá obtener el número de garantías. Se espera que estas modificaciones permitan no solo obtener un mejor ejercicio de pronóstico, sino también un modelo más sensible a verdaderas novedades de calidad que debe generar alertas a los encargado de gestionarla.

3.4 Conclusiones

Los resultados del modelo obtenido no cumplen con la precisión esperada por el negocio (se requiere del 90%); sin embargo, el pronóstico obtenido puede ser utilizados para analizar lo que se espera de la desagregación de garantías en el tiempo mientras se logra la construcción de uno con mejores resultados. Se sugiere una nueva formulación del modelo que se espera sea más preciso y sensible ante verdaderas novedades de calidad que requieren ser atendidas con prioridad.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones generales

Se logró la propuesta de un modelo para la predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca, sin embargo, este no cumple con las expectativas de calidad esperadas por el negocio, por lo que son propuestas variaciones al proceso de transformación y modelado con los que se espera mejor la precisión en el pronóstico.

4.2 Cumplimiento de los objetivos

1. Son caracterizadas exitosamente las variables requeridas para un modelo de predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca. El entendimiento de los datos alcanzado permite sugerir nuevas transformaciones y modelos para lograr mayor precisión en el diagnóstico.
2. Se implementa el modelo de predicción de la desagregación de servicios en garantías de productos de línea blanca propuesto, sin embargo, este no cumple con las expectativas de precisión del negocio.
3. Es validado el modelo implementado mediante la comparación con las garantías reales presentadas, denotando que en la desagregación de garantías en el tiempo el pronóstico tiene un error en porcentaje absoluto medio del 60%.
4. El código de trabajo se encuentra disponible en el link a continuación:
https://drive.google.com/file/d/1WI_v8dhbsKs5f303wvhtZgsQmqJpCufL/view?usp=sharing

4.3 Trabajo futuro

El enfoque del presente trabajo es proponer un modelo que permita una estimación de cómo se daría la desagregación de garantías en el tiempo futuro de los diferentes lotes de producción, y en su construcción fueron identificadas posibles transformaciones y variables que pudiesen suministrar información complementaria, más específica, o en si aportar a una mejor estimación. En el inicio de la etapa de transformación de datos sería posible

realizar filtrados a la información para obtener un nivel de detalle diferente, pudiendo filtrar por categoría, familia, producto, o incluso por la evolución de un daño reportado por el que se han hecho intervenciones desde el proceso. Con esta filtración desde el inicio, podrá entrenarse un modelo diferente de acuerdo con la necesidad.

Desde el insumo de datos con que se alimenta el modelo, sería ideal tener el registro de la fecha de venta del producto atendido en garantía, para en ese sentido lograr un cálculo de *Meses* estimado de forma uniforme a todos los productos que contabilice el tiempo desde el momento en que empezó a ser usado, hasta el momento en que presentó la falla (tiempo medio de falla) que sería de mucha utilidad no solo para la precisión del modelo, sino también para la estimación de los periodos de garantía ofertados y las negociaciones con proveedores. De no ser posible por condiciones de trazabilidad del proceso, podría buscarse la integración de una variable que logre en mayor medida suministrar información de la rotación de producto. Esta rotación del producto es una medida del tiempo que transcurre desde que el producto es manufacturado hasta que llega a manos del consumidor. Si existe en términos generales una baja rotación de producto, los productos permanecerán almacenados muchos meses ocasionando que las garantías prestadas en los meses 0,1,2 sean valores muy bajos, dando la impresión de que se trata de lotes de producción con muy buen desempeño. Del mismo modo, si el producto es manufacturado e inmediatamente llega a manos del consumidor, los meses 0,1,2 tendrán valores muy altos generando la impresión de que hay importantes novedades en la producción.

Por último, se considera este modelo como un recurso para seguir construyendo herramientas de mayor impacto hacia el futuro. Entre ellas:

- Modelo de provisión de garantías. Existe un requisito legal de aprovisionar los recursos monetarios para responder por la prestación de garantías futuras, y esta se fundamenta en la desagregación de garantías en el tiempo que debe relacionarse con la estimación del costo de las garantías a atender en el futuro.
- Modelo de optimización de minimización de costos de garantía. Generar un modelo de optimización que integre la estimación del número de garantías y el costo de la garantía, con el fin de determinar cuáles familias, fallas, u otros, deben ser las prioridades de trabajo del equipo de calidad con el fin de minimizar los costos asociados a prestación de garantías. Si por ejemplo se identifica que determinado producto tiene pocas garantías, pero la mayoría de estas son por cambio de producto (que son significativamente más costosas porque asumen el costo del producto nuevo entregado) podría establecerse como prioridad para lograr una contención y corrección oportuna del problema.
- Sistema de alertas tempranas de calidad. Al identificar que existe una variación en el número de garantías estimadas de cualquier configuración (categoría – familia -

producto) emita una alerta al equipo anunciando que hay una novedad que debe ser atendida con prioridad.

Estas son algunas de las posibilidades observables hasta ahora, cuya implementación efectiva se espera logre impactar en el rubro de costo de las garantías, y por tanto en la competitividad de la compañía.

5. Referencias

- BLISCHKE, W. R; MURTHY, D. N. P. (2000). *Reliability*. New York: Wiley.
- Cifuentes, O., & Martínez, L. (2009). LA MEDICIÓN DE LA REPUTACIÓN EMPRESARIAL: PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, Vol. 15, Nº 2, pp. 127-142.
- D.N.P. MURTHY. (2007). Product reliability and warranty: an overview and future research. *Production*, v. 17, n. 3, p. 426-434.
- Delgado Cifuentes, S., & Orejuela Roldan, J. J. (2016). *Modelo de predicción de reclamaciones de tarjeta de crédito de una entidad financiera*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Geiger, C., & Sarakakis, G. (2016). Data driven design for reliability. *Data driven design for reliability*. Tucson, AZ, USA: IEEE.
- Gillezeau, P., & Romero, S. (2004). Sistema de costos de calidad como proceso de mejoramiento continuo. *Revista ágora*, 13, 17-42.
- Gobierno de Colombia. (20 de 06 de 2022). *Protección del Consumidor*. Obtenido de Superintendencia de industria y comercio: <https://www.sic.gov.co/fallas-baja-calidad-e-incumplimiento-de-garantias>
- Guo, H., Monteforte, A., Mettas, A., & Ogden, D. (2009). Warranty prediction for products with random stresses and usages. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*. Fort Worth, TX, USA: IEEE.
- L. Todd Rose & Kurt W. (2011). Garbage In, Garbage Out: Having Useful Data Is Everything. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 9:4, 222-226, DOI: 10.1080/15366367.2011.632338.
- Lawless, F. (1998). Statistical analysis of product warranty data. *International Statistical Review*, Vol. 66, pp. 41-60.

- M. Wever, A. Tornede, F. Mohr y E. Hüllermeier. (2021). AutoML para clasificación multietiqueta: descripción general y evaluación empírica. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 43, núm. 9, págs. 3037-3054.
- Mantovani RG, Horváth T, Cerri R, Vanschoren J, de Carvalho AC. (2016). Ajuste de hiperparámetros de un algoritmo de inducción de árboles de decisión. *IEEE*, págs. 37–42.
- Murthy & Djamaludin. (2002). New product warranty: A literature review. *International Journal of Production Economics*, Volume 79, Issue 3, Pages 231-260.
- Ramos, A. Y. (2016). Modelo de gestión de la eficiencia basado en los costos de la calidad con enfoque generalizador. *Ingeniería industrial*, vol.37 no.1.
- Shuguang He, Zhaomin Zhang, Wei Jiang & Dejun Bian. (2018). Predicting field reliability based on two-dimensional warranty data with learning effects. *Journal of Quality Technology*, 50:2, 198-206.
- Tigeros, D. F. (2020). *¿Cómo predecir la cantidad de kilómetros que recorrerá un bus antes de presentar falla?* Bogotá, Colombia: Fundación universitaria los libertadores.
- Wang, L., Pan, R., Li, X., & Jiang, T. (2013). A Bayesian reliability evaluation method with integrated accelerated degradation testing and field information. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 112, Pages 38-47.