



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

# Examen de Grado

## Magíster en Ciencias de Datos UC

### Proyecto “Forecast de ventas de repuestos automotrices”

Luciano Lorenzo Davico Larenas  
lldavico@uc.cl

3 de marzo, 2025

## **Abstract**

El dinámico mercado automotriz de Chile supone ciertos desafíos de gestión relevantes en dicha industria. Una buena planificación y gestión de la demanda de repuestos automotrices se torna como un desafío crucial para una saludable operación de las empresas pertenecientes a este mercado, siendo el reto más relevante el logro de una gestión eficiente del inventario de aquellos productos, por medio de un buen pronóstico de la demanda a futuro por los repuestos. De lo contrario, las empresas podrían caer en elevados costos asociados a quiebre de stock o inventarios elevados de repuestos, que podrían generar pérdidas de posibles ventas, insatisfacción de clientes u obsolescencia de los repuestos en el inventario, derivando en el desecho de dichas piezas.

El objetivo del proyecto es lograr desarrollar un modelo regresor de predicción de ventas de repuestos automotrices que permita optimizar la gestión de inventarios, desde una perspectiva práctica, por medio de una métrica de utilidad definida que permita cuantificar el efecto real de la implementación del modelo. Esta elección de modelos se complementa con una métrica de calidad de ajuste que busca minimizar el error entre el valor observado y el valor pronosticado. El modelo propuesto será aquel que maximice la utilidad y minimice la métrica de error. La metodología empleada para desarrollar los modelos es CRISP-DM, poniendo un fuerte foco en la primera etapa de entendimiento del negocio, dado la naturaleza aplicación práctica que se le quiere otorgar al proyecto.

Dado el problema evidenciado, se estudia el estado del arte del problema de demandas de repuestos y los mecanismos normalmente empleados para hacer frente a este problema de pronóstico de demanda, así como posibles enfoques alternativos que permiten subdividir el problema según la categorización de la demanda de los repuestos. Es importante destacar que comúnmente la venta de repuestos automotrices no se produce a diario, por lo que el problema se debe caracterizar como un problema de demanda intermitente. Dado lo anterior, se logra caracterizar heurísticamente los repuestos automotrices según cuatro grupos dependiendo de la frecuencia de su demanda y se define trabajar sobre ciertos grupos de repuestos.

En la implementación de métodos se decide utilizar modelos basados en árboles de Machine Learning y el modelo Croston, basado en la técnica de Suavizamiento Exponencial. Se constata un desempeño superior en cuanto a utilidad y error en el modelo de Croston, el cual es justamente adecuado para abordar demandas intermitentes, lo que es pertinente según la naturaleza de este problema. Pese a lo anterior, se concluye lo desafiante de trabajar con series de tiempo de demanda intermitente en cuanto a lograr predicciones adecuadas, considerando que las métricas obtenidas no fueron las ideales.

Finalmente, como próximos pasos se propone la implementación de juicio experto en la toma de decisiones que utilice el modelo propuesto como un complemento en la decisión final, así como la relevancia de incorporar variables adicionales y/o contextuales, como tendencias macroeconómicas, que proporcionen más información al modelo para el aprendizaje de ciertos patrones.

### Pregunta 1.

**Si tuvieran que diseñar un sistema híbrido que combine modelos predictivos con la intuición humana, ¿qué enfoque propondrías para lograr el equilibrio entre automatización y supervisión experta?**

En general cuando se trata de tomar decisiones, los enfoques que actualmente están primando en las empresas siempre tienen una componente *basada en datos*, o bien, *data driven / insight driven*, desde los cual se obtiene información relevante sobre oportunidades de tomas de decisiones que no siempre son intuitivas desde el punto de vista humano. Sin embargo, modelar el contexto para tomar la decisión correcta puede no ser trivial, por lo que siempre la supervisión experta debería primar bajo estos casos. Si bien los datos aportan relevantemente a los casos de negocio, los modelos derivados deberían aportar bajo un rango de acción acotado y controlado por humanos, evitando sesgos y/o comportamientos erráticos. Hay que evitar dejar toda la responsabilidad al modelo, dependiendo de los impactos que estos puedan tener, siendo siempre controlados síncrona o asíncronamente por supervisión experta. Según nuestro proyecto de demanda de repuestos, debemos tener bien claro las limitaciones del modelo y los rangos entre los cuales las predicciones de los modelos son confiables (los horizontes de tiempo del *forecast* futuro de repuestos), así como el costo-beneficio de operar con este modelo, versus la intuición humana y de negocio que ciertos actores podrían proporcionar.

En concreto, si estamos ante una situación de incertidumbre y los recursos son limitados sugiero adoptar el siguiente enfoque híbrido para poder maximizar el beneficio en una toma de decisiones.

1. Delimitar concretamente el problema que se quiere resolver. Con esto me refiero a identificar los **alcances del problema**, definir **criterios concretos y tangibles** para obtener una solución “aceptable”, viabilidad económica para abordar el problema, tiempo máximo para afrontar el problema y pertinencia de la solución (no queremos resolver un “no-problema”). El problema de predecir el pronóstico de repuestos podría ser acotado a la venta de cierto grupo de repuestos que se venden con mayor cadencia, ya que impacta más negativamente en los costos de quiebre de stock o inventario, así como a la imagen de la empresa. Es necesario revisar con detenimiento cuál es el dolor que queremos abordar con análisis de datos.
2. Analizar si **el problema es determinístico o si existe incertidumbre**. Este punto lo considero sumamente relevante. Podríamos estar ante una situación que bajo ciertas condiciones, siempre arrojará el mismo resultado, por más que se incorporen múltiples variables extras, por lo cual el aporte de los modelos predictivos que se deba hacer cargo de la incertidumbre no va al caso. Esto podría darse cuando sabemos de antemano cuánto vender de ciertos repuestos, donde sería aconsejable excluir estos de una solución automatizada. Entonces siempre debemos **primero definir si podemos determinar a priori la solución** o el output por medio de una persona capacitada, o bien si debemos **incorporar efectos conjuntos de variables predictoras que excedan la capacidad humana**.

3. En la demanda de repuestos probablemente existe incertidumbre y puede ser pertinente el desarrollo de un modelo predictivo, pero nunca se debe **dejar toda la responsabilidad al modelo**. La salida que arroja el modelo siempre debe ser operada y analizada por supervisión experta. Para dar un uso adecuado al modelo se requieren los siguientes criterios:
  - a. La persona debe entender los cimientos sobre el cual está construido el modelo. Se deben entender las variables que el modelo utiliza, las limitaciones técnicas del modelo, posibles sesgos en los que se puede incurrir y si el modelo tiene resultados coherentes en las demandas pronosticadas.
  - b. Se debe monitorear constantemente las métricas del modelo que permitan establecer su confiabilidad. Esto es tener métricas de calidad de ajuste con límites cuantitativos establecidos en base a reglas de negocios. Se debería controlar la utilidad agregada según el pronóstico del modelo, el cual podría no ser rentable para la empresa. Asimismo, la métrica de error debe observarse para el control de inventarios.
  - c. El modelo debe otorgar interpretabilidad para los stakeholders. Es necesario que las decisiones de adquisición de repuestos sean fundamentadas y sean viables para la operación de la empresa.
4. Una vez cumplidos los puntos anteriores, la **supervisión experta** debe ser capaz de entregar valor adicional a la decisión de adquisición de repuestos, haciéndose cargo de aplicar criterios justos y éticos y lograr complementar la intuición e insights obtenidos desde modelos predictivos que en conjunto deriven en información para la toma de decisiones. La supervisión experta debe considerar la visión de los funcionarios asociados a las adquisiciones de repuestos y considerar situaciones de ventas ocurridas en el pasado como medidas de control en la venta de repuestos. **Si eventualmente la cantidad pronosticada de repuestos difiere ampliamente de la venta real, la visión de un experto debería tomar protagonismo en resolver dicha situación bajo una medida más práctica o heurística.** Aquí es siempre importante considerar **evitar caer en sesgos**. Es necesario lograr anticiparse ante posibles fallas del modelo. Este mismo se podría acotar en su rango de acción a solo pronosticar la venta de repuestos de una categoría o un cluster en específico en donde únicamente sea pertinente.

En la práctica, la inclusión de sistemas tecnológicos híbridos en general es lo que debería primar. La intuición humana permite la evaluación de criterios no tangibles, incorporando situaciones contextuales vividas, así como un entendimiento del negocio, lo cual suele ser difícil de incorporar o modelar bajo variables de un modelo predictivo. Estos logran aprender comportamientos desde los datos y siempre es aconsejable que sean utilizados bajo una situación que lo amerite y que esté limitada en su rango de acción. En este caso, **podría valer la pena limitar la predicción de ventas de repuestos sobre un grupo concreto que requiera inclusión de información adicional que complemente a la supervisión experta.** Podría ser más aconsejable **automatizar múltiples modelos según el tipo de repuesto**, pero siempre siendo monitoreados e interpretados correctamente por la intuición experta, complementando pasivamente la toma de decisiones.

## Pregunta 2.

**¿Qué impacto tendría la introducción de variables externas, como tendencias macroeconómicas o cambios regulatorios, en la predicción de demanda? ¿Cómo podría integrarse esta información en los modelos actuales?**

En el problema de predicción de demanda siempre está incluida la compra y venta de productos o servicios para poder satisfacer la demanda, por lo que las tendencias macroeconómicas directa o indirectamente tiene incidencia en el comportamiento de la demanda y venta de productos o servicios. Asimismo, los cambios regulatorios también podrían tener un efecto significativo en los modelos de series de tiempo que pronostican demanda, dependiendo del grado de regulación del producto o servicio ofrecido.

Tomando en cuenta el proyecto en cuestión de la Actividad Final de Grado, las tendencias macroeconómicas o cambios regulatorios pueden afectar directamente en el mercado de repuestos automotrices. En Chile prácticamente no se producen automóviles, por lo que los repuestos automotrices que manejan las automotoras o talleres generalmente tienen **precios indexados al valor del costo de importación** (los repuestos son adquiridos en el extranjero), cuya moneda es el dólar. De esta manera, las fluctuaciones de esta divisa podrían incidir fuertemente en el precio final de los repuestos de los automóviles de cara al consumidor, lo que afectaría luego en la demanda de repuestos.

Por otro lado, en Chile comúnmente la venta e instalación de los repuestos automotrices al cliente final está en valores UF. Esto genera **un efecto de indexación del precio de los repuestos según la inflación acumulada y entregada por el IPC**. En los últimos cinco o seis años el país se ha visto afectado por los eventos del estallido social y de la pandemia del Covid-19 lo que ha derivado en un aumento de la inflación y, por consiguiente, la UF. En consecuencia, **los precios de los repuestos automotrices fluctúan acorde a esta variable económica**. Según datos de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), la venta de nuevos vehículos automotrices livianos y medianos cayó en un 26,5% (Diario Financiero, 2024), lo que refleja cómo al mercado automotriz chileno no le es ciertamente ajeno el panorama macroeconómico y por ende la demanda de repuestos o reparaciones podría verse afectada ante un encarecimiento de los servicios de reposición de repuestos.

En cuanto a cambios regulatorios, el mercado de repuestos no está ajeno a modificaciones. Desde febrero de 2024 comenzó a regir la Ley de Eficiencia Energética para vehículos livianos, la cual pretende fomentar el uso de vehículos eficientes energéticamente (Ministerio de Energía de Chile, 2024). Lo anterior puede generar una perturbación en el mercado de repuestos dando paso a un nuevo grupo de **repuestos asociado al mercado de automóviles híbridos o eléctricos**, aumentando las ventas de este tipo de repuestos en desmedro de aquellos asociados a los automóviles convencionales con motor a bencina.

Se desprende entonces que ciertos indicadores macroeconómicos, tales como la UF o el valor del dólar, tienen una potencial incidencia en la demanda de repuestos automotrices, impactando directamente en el precio de los repuestos. Asimismo, cambios en la normativa vigente podrían dar paso a nuevos mercados de repuestos automotrices eléctricos en desmedro de los mercados tradicionales de motores a bencina, generando un impacto en la distribución de ventas según las categorías de los repuestos. Estas variables externas generan efectos tanto en las empresas como en los consumidores. Por un lado, las empresas tienen costos más altos en la importación de repuestos, así como la tarea de ajustarse ante nuevos mercados de repuestos. Al mismo tiempo, los consumidores incurren en costos mayores de repuestos a medida que el valor de la UF o del dólar aumentan.

Queda bastante clara la relevancia de estas variables externas en la predicción de demanda y por ende se podrían incluir dentro de los modelos predictivos bajo los siguientes enfoques:

- Típicamente en la predicción de demanda se trabaja con **series de tiempo**. Sería aconsejable incorporar las variables del valor diario del dólar y de la UF para analizar **la elasticidad precio-demanda de los repuestos**. Dado que los repuestos usualmente son adquiridos según el valor de la UF, es pertinente que el precio de estos sea incluido en valores UF para el entrenamiento de valores predictivos.
- Por otra parte, se podrían incorporar **variables booleanas o categóricas según el motor del tipo de automóvil** con su respectivo tratamiento para incluirlas en los modelos de series de tiempo y/o Machine Learning. En este sentido, es importante lograr establecer un valor cuantitativo de cada *feature* en el problema de regresión que tenga un sentido semántico. Para lo anterior, en la medida de lo posible, se podría definir la variable de tipo de motor **con una estrategia One Hot Encoding en vez de Label Encoding** evitando que los modelos establezcan un valor ordinal o de mayor relevancia según el tipo de motor asociado al repuesto.
- Similarmente, se podrían incluir variables asociadas a la regulación de uso de cierto tipo de repuesto (si aplica). Con esto, se podrían etiquetar repuestos asociados a vehículos catalíticos, no catalíticos, o vehículos eficientes energéticamente para que los modelos logren visualizar o aprender algún patrón en la demanda según la categoría asociada a la regulación del repuesto.

Todas estas variables también se podrían incluir en modelos regresores de Machine Learning, dependiendo la naturaleza del modelo. Como regla general, sería aconsejable que todas las variables logren tener valores numéricos con las estrategias mencionadas anteriormente.

Por otro lado, con las variables numéricas y categóricas utilizadas anteriormente se podrían aplicar un enfoque de aprendizaje no supervisado por medio de estrategias de **clustering**, que logren identificar patrones de agrupamiento de repuestos automotrices en común. Finalmente, esto podría servir para validar las variables predictoras ya descritas, o bien, determinar nuevos patrones en los datos que permitan establecer categorías para luego mejorar las predicciones.

## Referencias bibliográficas

- Salinas, T. (2023). *Ventas de autos nuevos retrocedieron 26,5% durante 2023 y el sector proyecta un repunte moderado este año.* Diario Financiero. Recuperado de <https://www.df.cl/empresas/retail/la-venta-de-autos-nuevos-en-chile-se-hundio-26-5-en-2023-con-cerca-de>
- Ministerio de Energía. (2024). *Entra en vigencia nuevo estándar de eficiencia energética para vehículos livianos.* Gobierno de Chile. Recuperado de <https://www.energia.gob.cl/noticias/biobio/entra-en-vigencia-nuevo-estandar-de-eficiencia-energetica-para-vehiculos-livianos>