

# **Modelo de ciencia de datos para optimizar las exportaciones de Colombia**

Luis Antonio García Rodríguez

Ginneth Andrea Flórez Méndez

Asesor

Rafel Gaitán Ospina

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Especialización Ciencia De Datos Y Analítica

2025

## Resumen

Colombia presenta una alta dependencia de sus exportaciones basadas en recursos naturales, lo que la hace vulnerable ante las variaciones arancelarias impuestas por los países desarrollados y los bloques económicos. Esta situación limita la competitividad del país y evidencia la necesidad de fortalecer la diversificación productiva y el valor agregado de sus exportaciones.

El presente proyecto propone un modelo analítico sustentado en la ciencia de datos, Big Data y técnicas de machine learning para analizar las exportaciones de la última década y predecir su comportamiento futuro. A través de la integración de datos abiertos, se busca identificar patrones, oportunidades y factores críticos que influyen en la dinámica exportadora. Los resultados serán presentados mediante *dashboards*, los cuales facilitarán la interpretación de la información y la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia.

**Palabras claves:** exportaciones, ciencia de datos, Big Data, machine learning, aranceles, competitividad.

### **Abstract**

Colombia faces a high dependence on exports based on natural resources, making it vulnerable to tariff variations imposed by developed countries and economic blocs. This situation limits the country's competitiveness and highlights the need to strengthen productive diversification and add value to its exports.

This project proposes an analytical model based on data science, Big Data, and *machine learning* techniques to analyze exports from the last decade and predict their future behavior. Through the integration of open data, the study seeks to identify patterns, opportunities, and critical factors that influence export dynamics. The results will be presented through dashboards, facilitating data interpretation and evidence-based decision-making

***Keywords:*** exports, data science, Big Data, machine learning, tariffs, competitiveness.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
Justificación .....	12
Planteamiento del Problema .....	14
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos .....	15
Marco Referencial.....	16
Metodología .....	17
Desarrollo del Proyecto.....	19
Preparación, Depuración y Análisis Exploratorio de los Datos .....	19
Construcción de Modelos Predictivos.....	20
Modelos Basados en Aprendizaje Automático .....	20
Modelos Basados en Redes Neuronales Recurrentes (LSTM) .....	20
Evaluación de Escenarios y Comparación de Modelos .....	21
Interpretación de Resultados y Análisis Estratégico .....	21
Visualización Mediante Dashboards y Herramientas Analíticas .....	22
Análisis de Exportaciones Colombianas en la Última Década.....	23
Integración y Depuración de Datos.....	23
Análisis Exploratorio Descriptivo.....	24
Relaciones Económicas y Correlaciones .....	26
Análisis Estadístico y Descriptivo .....	31
Análisis de Correlaciones e Interpretación Económica .....	37

Síntesis del Capítulo: .....	39
Modelado Predictivo del Comportamiento de las Exportaciones.....	40
Preparación y Estructuración de los Datos .....	40
División de los Datos: Entrenamiento y Prueba .....	42
Modelos Evaluados .....	42
Entrenamiento del Modelo y Curva de Aprendizaje.....	43
Evaluación Comparativa de Desempeño .....	43
Proyección del Comportamiento Futuro (36–60 Meses) .....	45
Síntesis del Capítulo.....	47
Evaluación Cuantitativa del Desempeño del Modelo.....	48
Evaluación Visual del Ajuste del Modelo.....	49
Visualización del Modelo ARIMA/SARIMAX.....	49
Visualización del Modelo LSTM.....	50
Comparación Global de Desempeño.....	50
Interpretación Económica de los Resultados .....	50
Tendencia de Crecimiento Moderado .....	51
Sensibilidad Frente a Inflación y Tasa de Cambio.....	51
Necesidad de Diversificación.....	51
Estrategias Derivadas del Modelo.....	51
Estrategias para Mejorar la Balanza Comercial .....	51
Estrategias para Incrementar la Competitividad .....	51
Estrategias para Diversificar Productos y Destinos .....	52
Síntesis del Capítulo.....	52

Herramienta de Visualización y Apoyo a la Toma de Decisiones.....	53
Diseño del Panel de Control Interactivo .....	53
Visualización Sectorial de las Exportaciones .....	54
Análisis Temporal Mensual de las Exportaciones .....	55
Visualización de las Importaciones.....	56
Visualización de Variables Macroeconómicas: TRM.....	57
Generación de Reportes y Apoyo a la Toma de Decisiones .....	58
Síntesis del Capítulo.....	58
Resultados del Proyecto.....	59
Evolución Histórica de las Exportaciones.....	60
Desempeño del Modelo Predictivo .....	62
Análisis Sectorial y Macroeconómico Mediante Dashboards .....	62
Balanza Comercial .....	62
Exportaciones por Producto .....	63
Exportaciones Mes–Año .....	64
TRM y su Impacto en las Exportaciones .....	65
Síntesis de Resultados y Aportes del Modelo .....	66
Resultados Esperados.....	67
Conclusiones.....	69
Recomendaciones .....	71
Referencias.....	73

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Transformaciones Realizadas Durante la Limpieza de Datos.</i> .....	24
<b>Tabla 2</b> <i>Relaciones Estadísticas Principales Observadas Durante el Análisis Exploratorio</i> .....	27
<b>Tabla 3</b> <i>Estadísticos Descriptivos de las Exportaciones Colombianas (USD)</i> .....	32
<b>Tabla 4</b> <i>Estadísticas Descriptivas de la Serie de Exportaciones</i> .....	36
<b>Tabla 5</b> <i>Evaluación Comparativa de Desempeño</i> .....	44
<b>Tabla 6</b> <i>Métricas de Desempeño de los Modelos Arima/Sarimax Y Lstm.</i> .....	48

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Esquema Metodológico del Proceso de Analítica de Datos Aplicado al Proyecto</i> .....	17
<b>Figura 2</b> <i>Tendencia Histórica de las Exportaciones Colombianas</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Evolución histórica 2012 – 2024 de la tasa representativa del mercado (TRM)</i> . .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Comparación Histórica Entre Exportaciones, Importaciones y Comportamiento de la Balanza Comercial</i> .....	29
<b>Figura 5</b> <i>Variaciones Anuales de la Balanza Comercial Colombiana</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Relación entre Stock y Exportaciones</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Relación entre TRM y Exportaciones</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Relación Entre Inflación y Exportaciones</i> .....	35
<b>Figura 9</b> <i>Relación Entre I_D y Exportaciones</i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>Descomposición Temporal de la Serie de Exportaciones</i> .....	38
<b>Figura 11</b> <i>Importancia de las Características Empleadas en el Modelo Predictivo</i> .....	41
<b>Figura 12</b> <i>Arquitectura Conceptual del Modelo LSTM</i> .....	42
<b>Figura 13</b> <i>Curva de Pérdida (MSE) Durante el Entrenamiento del Modelo LSTM</i> .....	43
<b>Figura 14</b> <i>Comparación entre Valores Reales y Valores Pronosticados por el Modelo ARIMA/SARIMAX</i> . .....	44
<b>Figura 15</b> <i>Proyección del Comportamiento de las Exportaciones en un Horizonte de Cinco Años</i> .....	46
<b>Figura 16</b> <i>Proyección del Comportamiento Futuro de las Exportaciones (Escala Original)</i> .....	47
<b>Figura 17</b> <i>LSTM— Valores Reales vs Valores Predichos</i> .....	49
<b>Figura 18</b> <i>Exportaciones por producto</i> .....	54
<b>Figura 19</b> <i>Evolución Mensual de las Exportaciones Colombianas</i> .....	55

<b>Figura 20</b> <i>Evolución Mensual de las Importaciones Colombianas</i> .....	56
<b>Figura 21</b> <i>Evolución Histórica de la Tasa Representativa del Mercado (TRM)</i> .....	57
<b>Figura 22</b> <i>Participación de los Destinos de Exportaciones Enero 2024</i> .....	59
<b>Figura 23</b> <i>Evolución Histórica de las Exportaciones, Importaciones y Balanza Comercial de Colombia</i> .....	61
<b>Figura 24</b> <i>Composición Sectorial de las Exportaciones Colombianas</i> .....	63
<b>Figura 25</b> <i>Comportamiento Mensual de las Exportaciones Colombianas</i> .....	64
<b>Figura 26</b> <i>Comportamiento Histórico de la TRM en Colombia</i> .....	65

## Introducción

Las exportaciones de Colombia históricamente han mostrado un estancamiento debido a múltiples factores. El presente trabajo, enmarcado en la Especialización en Ciencia de Datos y Analítica, se enfoca en estudiar el comportamiento de las exportaciones colombianas, un aspecto clave para el crecimiento económico y la mejora en la calidad de vida de la población.

La economía global ha experimentado transformaciones profundas, donde los intereses de las potencias mundiales impactan el comercio internacional a través de tratados, aranceles y variaciones en las divisas (CEPAL, 2023). En este contexto, es vital que Colombia se adapte a estas nuevas dinámicas y establezca estrategias basadas en el análisis de datos históricos para optimizar la toma de decisiones.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de analizar la situación de las exportaciones colombianas en medio de los constantes cambios políticos, sociales, climáticos, industriales, tecnológicos y económicos que genera la globalización (Banco Mundial, 2024). Es fundamental emplear datos estadísticos oficiales de la última década para identificar fortalezas y debilidades en la exportación de bienes y servicios, así como reconocer los productos y socios comerciales más relevantes. Con esta información, se busca aplicar un modelo analítico actualizado que refleje la evolución de las exportaciones colombianas en los próximos años y proponga estrategias que fortalezcan la competitividad del país y equilibren su balanza comercial (ProColombia, 2024).

Pese a los esfuerzos institucionales, la persistencia de problemas como la ausencia de políticas públicas sostenibles, la escasa diversificación de productos y servicios exportables, y la insuficiente infraestructura logística ha generado una dependencia histórica de ciertos bienes y mercados (DANE, 2024). Ignorar estos desafíos, sin aprovechar herramientas de ciencia de datos

y analítica, limita la capacidad del país para construir modelos predictivos confiables y formular recomendaciones estratégicas orientadas al fortalecimiento del comercio exterior.

La aplicación de técnicas de *machine learning*, el análisis de datos históricos, la segmentación de mercados, el desarrollo de *dashboards* interactivos y la automatización de informes constituyen soluciones fundamentales para potenciar la competitividad y sostenibilidad de las exportaciones colombianas en un entorno global en constante cambio (IBM, 2016; Google Cloud, s.f.).

## Justificación

La elección del tema “*Exportaciones de Colombia y el uso de la Ciencia de Datos y la Analítica*” se fundamenta en la necesidad urgente de comprender y mejorar la posición comercial del país dentro de un panorama global en constante transformación. La economía mundial, influenciada por factores políticos, sociales, climáticos, industriales, tecnológicos y económicos, ha modificado las dinámicas del comercio internacional, las cuales están determinadas, en gran medida, por los intereses de las naciones desarrolladas. En este contexto, para Colombia resulta esencial adaptarse a dichos cambios y formular políticas y estrategias efectivas que, apoyadas en el análisis de datos históricos, permitan optimizar la toma de decisiones en materia de exportaciones de bienes y servicios.

A pesar de los esfuerzos institucionales, la economía colombiana continúa enfrentando obstáculos significativos en el sector exportador, producto de la falta de políticas públicas sostenibles, la escasa diversificación de productos y servicios, y una infraestructura limitada. Este contexto ha generado una dependencia histórica de ciertos bienes y mercados, lo cual restringe la competitividad del país y su capacidad de atraer nuevas inversiones. Si no se incorporan metodologías basadas en la recopilación, procesamiento y análisis de datos mediante herramientas de ciencia de datos y analítica, será difícil construir modelos predictivos sólidos que permitan anticipar comportamientos futuros de las exportaciones y formular recomendaciones estratégicas para su fortalecimiento.

La no solución de este problema tendría un impacto considerable, ya que la solidez de una economía sustentada en la producción y exportación de bienes y servicios es determinante para mejorar la calidad de vida de la población, reducir desigualdades sociales y fomentar el desarrollo.

Un eventual estancamiento o recesión, consecuencia de una gestión ineficiente del comercio exterior, afectaría directamente el bienestar de los ciudadanos y la estabilidad económica del país.

La aplicación de la ciencia de datos y la analítica ofrece respuestas concretas a este desafío, al permitir predecir el comportamiento de las exportaciones, analizar información histórica, segmentar mercados, generar *dashboards* que faciliten decisiones en tiempo real y proponer acciones estratégicas basadas en evidencia. El uso de modelos de *machine learning* se convierte, así, en una herramienta clave para potenciar la competitividad y sostenibilidad de las exportaciones colombianas en un entorno global dinámico y desafiante.

En este sentido, el estudio cobra relevancia porque refleja la necesidad de ajustarse a la dinámica económica internacional, optimizar la toma de decisiones y fortalecer la competitividad del país. Además, la comprensión profunda de la realidad exportadora a partir de datos oficiales permite reconocer fortalezas, debilidades y oportunidades, al tiempo que orienta la formulación de políticas públicas más efectivas. Todo ello se traduce en beneficios directos para la calidad de vida de la población y el crecimiento económico sostenible de la nación. Finalmente, la aplicación de la ciencia de datos y la analítica se consolida como un instrumento transformador capaz de impulsar la innovación, la eficiencia y la diversificación del comercio exterior colombiano.

## Planteamiento del Problema

La economía colombiana depende en gran medida de la exportación de bienes primarios, lo que la hace susceptible a las variaciones arancelarias impuestas por países desarrollados y bloques económicos. Esta dependencia, sumada a la falta de políticas sostenibles y de infraestructura adecuada, restringe la competitividad del país y su capacidad de adaptación ante los cambios del comercio internacional.

Ante este contexto, se requiere aplicar herramientas de ciencia de datos y analítica avanzada que, además de procesar información histórica, permitan predecir el comportamiento de las variables que más afectan las exportaciones colombianas a corto, mediano y largo plazo. El uso de Big Data, *machine learning* y *dashboards*, facilitará la comprensión de los resultados y contribuirá a la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia, fortaleciendo así el sector exportador del país.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un modelo analítico, basado en Ciencia de Datos y construido a partir de datos abiertos de entidades oficiales sobre exportaciones de Colombia, que sea actualizable y accesible para las partes interesadas. El modelo facilitará el análisis de variables clave y respaldará la toma de decisiones orientadas a mejorar políticas públicas, infraestructura, ciberseguridad, competitividad, diversificación y calidad de bienes y servicios. Además, promoverá la colaboración entre gobierno, academia, industria y sector empresarial para favorecer el desarrollo y la sostenibilidad de la economía nacional.

### **Objetivos Específicos**

Analizar la información de las exportaciones colombianas durante la última década mediante técnicas de Ciencia de Datos, con el propósito de identificar tendencias, fortalezas y debilidades del comercio exterior.

Diseñar un modelo predictivo del comportamiento de las exportaciones en un horizonte de tres a cinco años, utilizando datos históricos y algoritmos de aprendizaje automático.

Evaluar los resultados del modelo para formular estrategias orientadas a mejorar la balanza comercial, incrementar la competitividad y diversificar los productos y destinos de exportación.

Desarrollar una herramienta de visualización interactiva, con paneles de control y generación automática de reportes, que apoye la toma de decisiones en los sectores público y privado.

## Marco Referencial

La globalización y la transformación digital han modificado las dinámicas del comercio internacional, impulsando a los países a mejorar su competitividad a través de la innovación y el uso de la tecnología (CEPAL, 2023). En este contexto, Colombia enfrenta grandes desafíos derivados de la dependencia de exportaciones primarias, lo que limita su capacidad de respuesta ante los cambios en los mercados internacionales y las variaciones arancelarias impuestas por bloques económicos y países desarrollados (OCDE, 2024).

El uso de la ciencia de datos en el análisis del comercio exterior permite aprovechar grandes volúmenes de información, identificar tendencias, optimizar recursos y predecir comportamientos futuros (Banco Mundial, 2024). De acuerdo con ProColombia (2024), la digitalización de la información y la analítica avanzada son factores determinantes para mejorar la competitividad del país y facilitar la toma de decisiones estratégicas.

La analítica de datos y el *machine learning* se han consolidado como herramientas clave para la gestión del conocimiento. Estas tecnologías permiten integrar información proveniente de diferentes fuentes y ofrecer análisis en tiempo real sobre el comportamiento de las exportaciones, los precios internacionales y los flujos comerciales (IBM, 2016). El empleo de *dashboards* facilita la visualización de resultados y la identificación de patrones que contribuyen a una toma de decisiones más rápida y fundamentada (Google Cloud, s.f.).

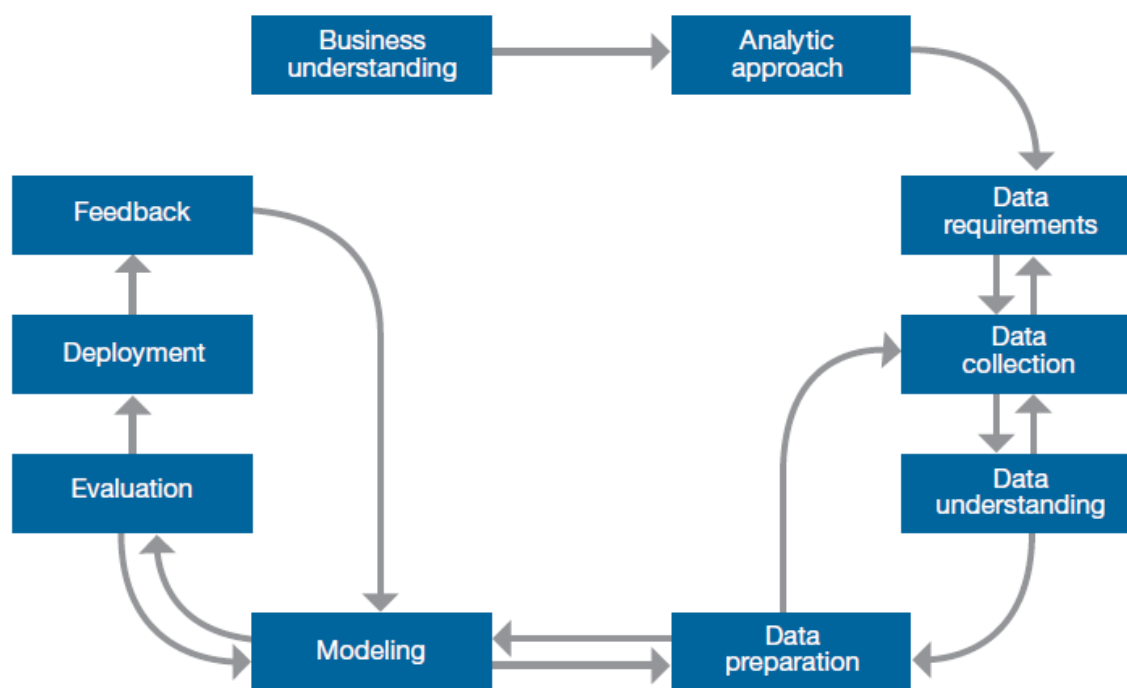
En este sentido, la adopción de modelos analíticos basados en datos abiertos ofrece ventajas significativas para entidades gubernamentales, empresas exportadoras y organismos internacionales, al permitir una comprensión más integral de los factores que influyen en la economía nacional (OCDE, 2022). Así, la ciencia de datos se convierte en un instrumento esencial para el desarrollo sostenible y la formulación de políticas públicas más efectivas.

## Metodología

Con el fin de estructurar el desarrollo del proyecto y garantizar un enfoque sistemático en el análisis de datos, se adoptó una metodología basada en un proceso iterativo de analítica de datos. Esta metodología permitió articular de manera coherente las etapas de comprensión del problema, preparación de los datos, modelado predictivo, evaluación de resultados y generación de insumos para la toma de decisiones.

### Figura 1

*Esquema Metodológico del Proceso de Analítica de Datos Aplicado al Proyecto*



El desarrollo del proyecto se basará en un enfoque cuantitativo, descriptivo y predictivo, orientado al análisis de datos abiertos sobre las exportaciones de Colombia. La información se obtendrá de fuentes oficiales, como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Banco de la República, ProColombia y la CEPAL.

El proceso metodológico se estructura en las siguientes fases:

1. **Recolección de datos:** recopilación de información histórica sobre las exportaciones colombianas durante la última década, proveniente de bases de datos públicas nacionales e internacionales.
2. **Limpieza y transformación de datos:** depuración de registros inconsistentes y normalización de variables para su análisis.
3. **Análisis exploratorio:** identificación de patrones, tendencias y correlaciones entre variables clave (volumen, destino, tipo de producto, precios, etc.).
4. **Modelado predictivo:** aplicación de técnicas de *machine learning* para predecir el comportamiento futuro de las exportaciones según los factores económicos, políticos y tecnológicos identificados.
5. **Visualización de resultados:** desarrollo de *dashboards* para la interpretación y comunicación efectiva de la información, facilitando la toma de decisiones estratégicas.
6. **Validación:** contraste de los resultados obtenidos con datos reales y revisión de la coherencia de los modelos aplicados.

El uso de metodologías de análisis predictivo permitirá generar información útil para orientar políticas públicas, mejorar la competitividad y apoyar a los diferentes sectores productivos en la toma de decisiones informadas (DANE, 2024).

## **Desarrollo del Proyecto**

El desarrollo del proyecto se estructuró a partir de la aplicación de técnicas de ciencia de datos, análisis estadístico, modelamiento predictivo y visualización avanzada, con el propósito de estudiar el comportamiento de las exportaciones y generar herramientas que apoyen la toma de decisiones estratégicas. Todo el proceso se implementó en un entorno de programación, integrando flujos de trabajo reproducibles y métodos modernos de aprendizaje automático.

### **Preparación, Depuración y Análisis Exploratorio de los Datos**

El punto de partida consistió en la consolidación de un conjunto de datos que integrara información histórica de exportaciones y variables económicas que influyen en su comportamiento. Se aplicaron procesos de limpieza y estandarización de datos, como lo son:

- Corrección y conversión de formatos temporales
- Manejo de valores faltantes
- Transformación de escalas
- Unificación de unidades de medida
- Detección y tratamiento de valores atípicos.

Posteriormente se realizó un análisis exploratorio descriptivo. Este incluyó la identificación de tendencias generales, fluctuaciones temporales, cambios estructurales y periodos de alta volatilidad. Se construyeron gráficas de series de tiempo, distribuciones y relaciones estadísticas, lo que permitió interpretar patrones relevantes del comportamiento exportador.

El análisis permitió evidenciar factores que impulsan o restringen las exportaciones, así como identificar sensibilidades frente a condiciones macroeconómicas. Este diagnóstico constituye la base conceptual sobre la cual se diseñaron los modelos predictivos.

## **Construcción de Modelos Predictivos**

El proyecto integró dos enfoques complementarios de modelamiento:

### ***Modelos Basados en Aprendizaje Automático***

Se emplearon algoritmos avanzados de tipo ensamble, especialmente técnicas de boosting, dada su capacidad para capturar relaciones no lineales y patrones complejos en los datos.

El entrenamiento se realizó mediante:

- División temporal entre entrenamiento y prueba
- Optimización de hiper parámetros
- Validación mediante métricas de error
- Inspección visual de predicciones frente a valores observados.

Los resultados mostraron una correspondencia sólida entre la serie histórica y las predicciones del modelo, con errores promedio bajos y estabilidad en la estimación incluso ante variaciones significativas en los datos.

### ***Modelos Basados en Redes Neuronales Recurrentes (LSTM)***

Para capturar dependencias temporales de largo plazo, se implementó una arquitectura de redes neuronales del tipo LSTM (Long Short-Term Memory). Este enfoque es especialmente útil en series económicas donde los valores presentes dependen de secuencias extendidas del pasado.

El proceso incluyó:

- Normalización de los datos
- Creación de secuencias de entrenamiento mediante ventanas deslizantes
- Definición de la arquitectura de la red
- Entrenamiento iterativo y ajuste mediante algoritmos de optimización

- Evaluación sobre subconjuntos de prueba.

Este modelo permitió generar predicciones suavizadas y coherentes con la dinámica temporal observada, demostrando un adecuado aprendizaje de las estructuras subyacentes de la serie.

### **Evaluación de Escenarios y Comparación de Modelos**

Con el fin de adoptar una visión integral, se evaluaron distintos escenarios, incluyendo algunos en los que se modificaron o excluyeron determinadas variables de contexto para analizar su relevancia en la predicción.

Los resultados mostraron que:

- Todos los modelos lograron capturar adecuadamente la tendencia general.
- Algunos escenarios presentaron mayor sensibilidad a cambios macroeconómicos.
- El desempeño predictivo mejoró cuando se incorporaron factores económicos amplios.
- Los modelos basados en redes neuronales ofrecen mayor suavidad y estabilidad en proyecciones extendidas.
- Los modelos basados en boosting mostraron mayor precisión punto a punto en reconstruir los valores históricos.

Este ejercicio de comparación permitió fortalecer la comprensión de los factores que afectan la predictibilidad de las exportaciones y la robustez de los modelos construidos.

### **Interpretación de Resultados y Análisis Estratégico**

La evaluación técnica se combinó con un análisis económico que permitió extraer conclusiones estratégicas relevantes:

- Las exportaciones responden de manera significativa a los cambios en las condiciones productivas internas y externas.
- El entorno macroeconómico influye de manera directa en la dinámica exportadora.
- La capacidad productiva y tecnológica se posiciona como un factor estructural para el crecimiento sostenible.
- La volatilidad internacional continúa siendo un elemento de riesgo que debe ser monitoreado mediante modelos predictivos.

A partir de estas evidencias, el proyecto propone líneas estratégicas para la mejora de la competitividad, la diversificación de mercados, la estabilización del entorno macroeconómico y el fortalecimiento de la infraestructura productiva.

### **Visualización Mediante Dashboards y Herramientas Analíticas**

Una parte fundamental del proyecto consistió en transformar los resultados complejos del modelamiento en visualizaciones comprensibles y útiles para los tomadores de decisiones.

Se generaron gráficos y paneles interactivos que permiten:

- Visualizar tendencias de exportación.
- Comparar escenarios proyectados.
- Identificar comportamientos atípicos
- Monitorear riesgos
- Facilitar la comunicación entre actores institucionales, empresariales y académicos.

Estas herramientas convierten los modelos analíticos en insumos estratégicos para la planificación y evaluación de políticas de desarrollo y comercio exterior.

## **Análisis de Exportaciones Colombianas en la Última Década**

El análisis de las exportaciones colombianas durante los últimos años se desarrolló mediante un proceso sistemático de integración, depuración y exploración de datos provenientes de fuentes oficiales. Se aplicaron procedimientos de limpieza, transformación y estandarización con el fin de consolidar registros históricos, garantizar su calidad y disponer de una base analítica adecuada para estudiar el comportamiento del comercio exterior.

### **Integración y Depuración de Datos**

La primera fase consistió en la recopilación de series históricas correspondientes a exportaciones FOB, organizadas por mes, año y categoría de producto. Posteriormente, la información fue sometida a procesos de validación, tratamiento de valores faltantes, estandarización de formatos y conversión de variables temporales, asegurando la coherencia interna del conjunto de datos.

Las actividades realizadas incluyeron:

- Detección y tratamiento de valores faltantes
- Eliminación de registros duplicados
- Estandarización de unidades de medida
- Normalización de escalas numéricas
- Conversión de columnas temporales a formato fecha
- Verificación de coherencia entre periodos y categorías

### **La Tabla 1**

Transformaciones Realizadas Durante la Limpieza de Datos. resume las principales transformaciones aplicadas durante el proceso de limpieza de datos:

**Tabla 1***Transformaciones Realizadas Durante la Limpieza de Datos.*

Proceso aplicado	Descripción	Resultado esperado
Conversión temporal	Transformación de la columna de fecha a tipo datetime	Series ordenadas cronológicamente
Normalización	Escalamiento de valores altos (exportaciones, TRM, IPC)	Mejora en el rendimiento de los modelos
Detección de outliers	Uso de métodos estadísticos (IQR, z-score)	Eliminación de valores no representativos
Imputación	Reconstrucción de valores faltantes	Series completas y continuas

*Nota.* Elaboración propia con base en el proceso de depuración aplicado.

### **Análisis Exploratorio Descriptivo**

El análisis exploratorio permitió examinar la estructura general de las exportaciones colombianas y comprender su comportamiento durante los últimos años. Esta fase incluyó la revisión de tendencias globales, patrones estacionales, fluctuaciones de corto y largo plazo, así como la identificación de comportamientos atípicos asociados a variaciones económicas internas y externas.

En primera instancia, se evaluó la evolución temporal de los valores exportados mediante gráficos de líneas que permitieron visualizar la trayectoria histórica de la serie. Estos análisis revelaron ciclos recurrentes, picos estacionales y periodos de contracción que coincidieron con

eventos económicos relevantes, tales como choques internacionales, variaciones en los precios de materias primas y cambios en la tasa de cambio.

Posteriormente, se analizaron distribuciones de frecuencias y medidas descriptivas que permitieron caracterizar el comportamiento estadístico de las exportaciones. Las medidas de tendencia central mostraron la concentración de valores en rangos específicos, mientras que la dispersión permitió identificar periodos de volatilidad elevada.

Asimismo, se exploraron relaciones entre sectores productivos para determinar su participación en el total de exportaciones y evaluar posibles cambios estructurales. Se observaron variaciones significativas en categorías como manufacturas, productos agropecuarios y bienes de industrias extractivas, lo cual permitió identificar comportamientos heterogéneos entre sectores y su contribución individual al comercio exterior.

Finalmente, la revisión gráfica y estadística, presentada en la

**Figura 2**

Tendencia Histórica de las Exportaciones *Colombianas*, facilitó la detección de valores atípicos (outliers) relacionados con variaciones abruptas en el mercado internacional o episodios excepcionales de aumento o disminución en los volúmenes exportados. Esta información fue clave para comprender el contexto económico y preparar la serie para fases posteriores de modelado predictivo.

## Figura 2

### *Tendencia Histórica de las Exportaciones Colombianas*



*Nota.* Elaboración propia a partir de datos oficiales procesados para el análisis exploratorio.

## Relaciones Económicas y Correlaciones

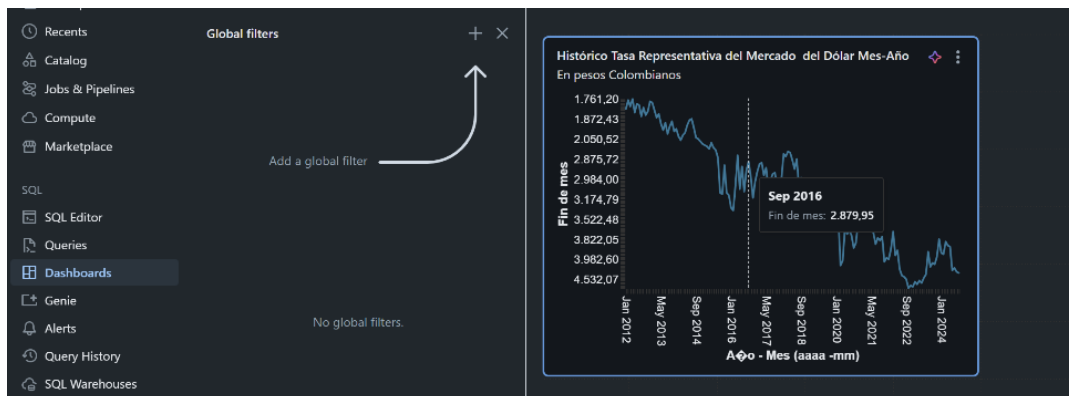
El estudio de las relaciones económicas entre las exportaciones y variables macroeconómicas permitió identificar patrones estadísticos relevantes para comprender el comportamiento del comercio exterior colombiano. Esta fase incluyó la evaluación de correlaciones, la comparación de series temporales y el análisis conjunto de indicadores clave, tales como la tasa representativa del mercado (TRM), el índice de precios al consumidor (IPC) y los volúmenes de importaciones.

En primera instancia, se calcularon coeficientes de correlación para examinar la fuerza y dirección de la relación entre las exportaciones y variables económicas seleccionadas. Los resultados mostraron asociaciones coherentes con la teoría económica, evidenciando que los movimientos en la tasa de cambio y las variaciones en los precios influyen en la competitividad de los bienes exportados. En particular, se observó que incrementos significativos en la TRM

tienden a modificar la dinámica exportadora, afectando sectores sensibles a las fluctuaciones del tipo de cambio.

### Figura 3

*Evolución histórica 2012 – 2024 de la tasa representativa del mercado (TRM).*



*Nota.* Elaboración propia a partir de datos históricos de la tasa de cambio utilizados en el análisis exploratorio.

Con el fin de sintetizar las asociaciones detectadas entre las variables macroeconómicas y el comportamiento exportador, se construyó la **Tabla 2** Relaciones Estadísticas Principales Observadas Durante el Análisis Exploratorio, que resume las relaciones principales observadas durante el análisis exploratorio.

### Tabla 2

*Relaciones Estadísticas Principales Observadas Durante el Análisis Exploratorio*

Relación evaluada	Tipo de relación observada	Interpretación
Exportaciones – producción	Positiva	Mayor capacidad productiva impulsa exportaciones
Exportaciones – inflación	Negativa	La inflación erosiona competitividad

Relación evaluada	Tipo de relación observada	Interpretación
Exportaciones – tasa de cambio	Negativa en valores altos	Una devaluación excesiva afecta costos de producción

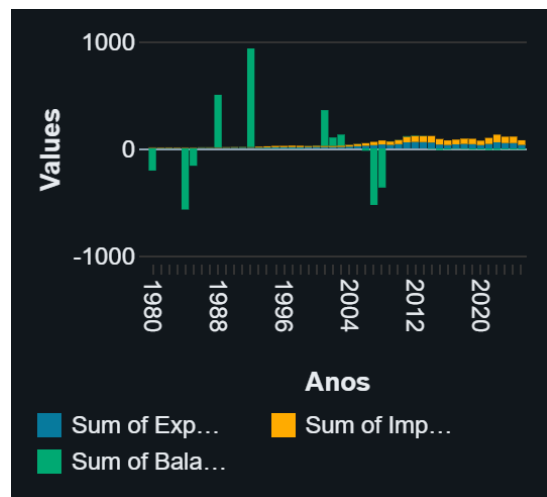
*Nota.* Elaboración propia a partir del análisis de correlaciones entre variables económicas y exportaciones.

Estas relaciones permitieron contextualizar los cambios observados en la serie de exportaciones y comprender cómo variables macroeconómicas, como la inflación y la tasa de cambio, modulan la competitividad internacional del país. Este análisis estadístico complementó la revisión gráfica y facilitó interpretar los patrones identificados en los distintos periodos evaluados.

Asimismo, se analizaron comparativamente las series históricas de exportaciones e importaciones con el fin de identificar simetrías y divergencias entre ambas. Este ejercicio permitió observar comportamientos asociados a la balanza comercial, resaltando periodos en los que predominó el déficit o superávit, y evidenciando la estrecha relación entre los ciclos productivos internos y las condiciones internacionales.

**Figura 4**

*Comparación Histórica Entre Exportaciones, Importaciones y Comportamiento de la Balanza Comercial*

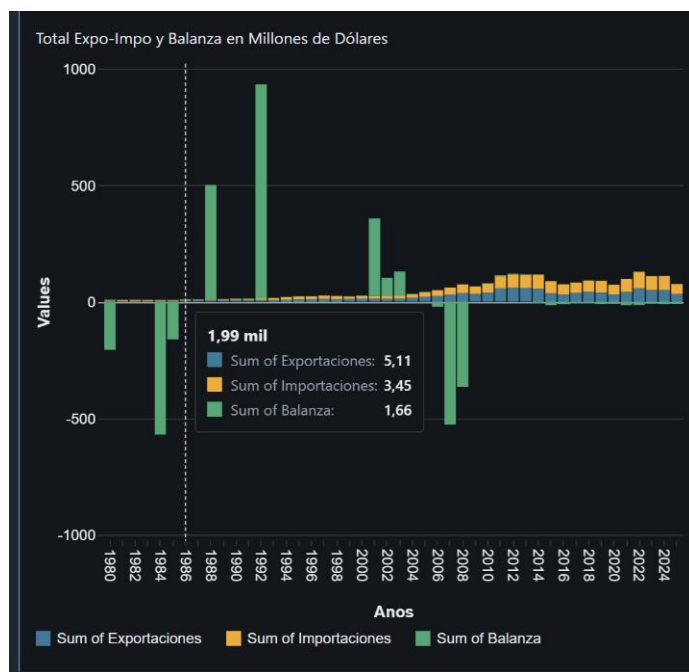


*Nota.* Elaboración propia con base en los registros históricos de exportaciones e importaciones utilizados en el estudio.

**La Figura 4**

Comparación Histórica Entre Exportaciones, Importaciones y Comportamiento de la Balanza Comercial permite analizar de forma integrada la evolución histórica de las exportaciones, las importaciones y la balanza comercial colombiana. A partir de esta visualización se identifican periodos prolongados de déficit comercial, así como episodios puntuales de recuperación asociados a caídas en las importaciones o incrementos temporales en las exportaciones.

Asimismo, la figura evidencia la alta sensibilidad de la balanza comercial a choques externos y cambios en la dinámica económica internacional, lo cual resulta relevante para contextualizar los resultados del análisis exploratorio y justificar la inclusión de variables macroeconómicas en los modelos predictivos desarrollados en fases posteriores del estudio.

**Figura 5***Variaciones Anuales de la Balanza Comercial Colombiana*

*Nota.* Elaboración propia a partir del cálculo anual de la balanza comercial.

La

**Figura 5** muestra las variaciones anuales de la balanza comercial colombiana, evidenciando una alta volatilidad a lo largo del período analizado. Se observan años con déficits pronunciados, alternados con episodios de superávit temporal, lo cual refleja la dependencia del comercio exterior frente a cambios en los flujos de exportación e importación. Asimismo, la figura permite identificar periodos críticos en los que el deterioro de la balanza comercial se intensifica, asociados a incrementos sostenidos de las importaciones o a caídas en las exportaciones. Este comportamiento confirma la existencia de desequilibrios estructurales en la

balanza comercial y justifica la necesidad de incorporar análisis temporal y variables macroeconómicas en las fases posteriores del modelado predictivo.

### **Análisis Estadístico y Descriptivo**

El análisis estadístico y descriptivo permitió caracterizar cuantitativamente el comportamiento de la serie de exportaciones colombianas durante el período de estudio, proporcionando una base objetiva para la interpretación de los patrones observados y para la selección de los modelos predictivos utilizados en fases posteriores del proyecto.

En términos de tendencia central, la serie presenta un valor promedio cercano a los 5,9 millones de USD, con una mediana ligeramente inferior, lo que sugiere una asimetría moderada asociada a periodos específicos de crecimiento o contracción del comercio exterior. Esta cercanía entre la media y la mediana evidencia un comportamiento relativamente estable en el largo plazo, aunque influenciado por episodios económicos particulares.

Como se presenta en la **Tabla 3**

Estadísticos Descriptivos de las Exportaciones Colombianas (USD), la dispersión de la serie es moderada, reflejada en una desviación estándar de 540.000 USD, lo que indica que, si bien existe una tendencia general creciente, se presentan fluctuaciones relevantes a lo largo del tiempo. Los valores mínimo y máximo permiten dimensionar la amplitud de la serie, mientras que el rango intercuartílico (IQR) evidencia periodos con mayor concentración de observaciones y otros con incrementos significativos en la variabilidad.

Adicionalmente, el análisis de los cuartiles permitió identificar intervalos en los que las exportaciones se concentran con mayor frecuencia, así como episodios que se apartan del comportamiento central. Estas observaciones no fueron consideradas errores, sino

manifestaciones de eventos económicos extraordinarios, por lo que se conservaron en el análisis con el fin de preservar la integridad temporal de la serie.

En conjunto, este análisis estadístico y descriptivo permitió validar la consistencia de los datos, respaldar los patrones identificados en el análisis exploratorio y justificar el uso de modelos predictivos capaces de capturar tanto la tendencia general como la volatilidad presente en la serie, como los abordados en los capítulos siguientes.

### **Tabla 3**

#### *Estadísticos Descriptivos de las Exportaciones Colombianas (USD)*

Medida estadística	Valor
Valor promedio (media)	5.860.000
Mediana	5.820.000
Desviación estándar	540.000
Valor mínimo	4.980.000
Valor máximo	6.820.000
Rango	1.840.000
Primer cuartil (Q1)	5.420.000
Tercer cuartil (Q3)	6.090.000
Rango intercuartílico (IQR)	670.000

*Nota.* Elaboración propia a partir de la serie histórica mensual de exportaciones colombianas, consolidada y depurada para el período de análisis.

Con el fin de profundizar en la relación entre las exportaciones colombianas y variables macroeconómicas relevantes, se realizó un análisis gráfico comparativo que permitió evaluar

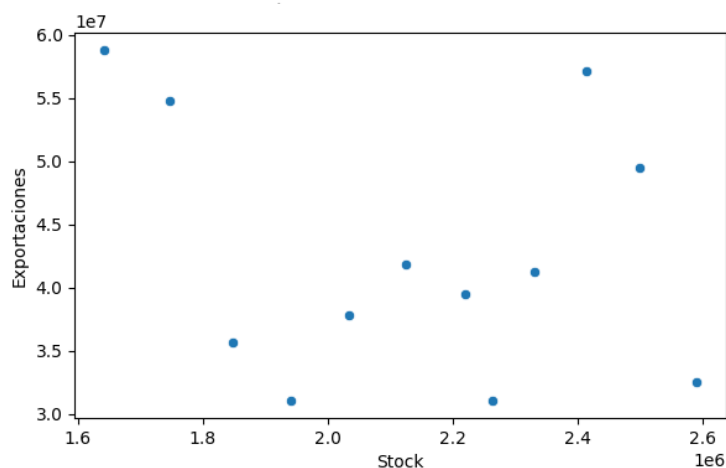
asociaciones entre el nivel de stock productivo, la tasa de cambio (TRM), la inflación y el ingreso disponible (I\_D). Este análisis se presenta en las Figuras 5, 6, 7 y 8, respectivamente.

Como se observa en la **Figura 6**

Relación entre Stock y Exportaciones, existe una relación positiva entre el nivel de stock y el valor de las exportaciones, lo cual sugiere que una mayor capacidad productiva se asocia con mayores volúmenes exportados. Esta relación respalda la importancia de la disponibilidad de inventarios y de la estructura productiva como factores determinantes del desempeño exportador.

### Figura 6

*Relación entre Stock y Exportaciones*



*Nota.* Elaboración propia con base en datos históricos de exportaciones y niveles de stock productivo, obtenidos a partir de los registros consolidados del estudio.

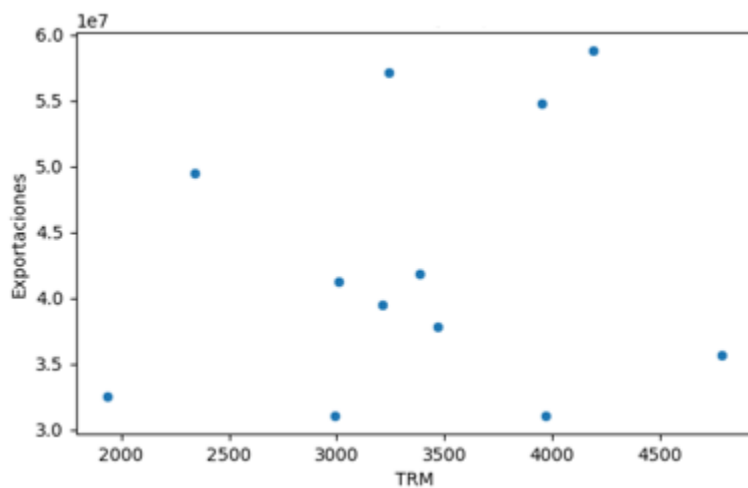
Por su parte, la **Figura 7**

Relación entre TRM y Exportaciones, evidencia una asociación moderada entre la tasa representativa del mercado (TRM) y las exportaciones. La dispersión observada indica que las variaciones en la tasa de cambio influyen en la competitividad internacional del sector

exportador, aunque su impacto no es estrictamente lineal y depende de otros factores económicos concurrentes.

### Figura 7

*Relación entre TRM y Exportaciones*



*Nota.* Elaboración propia con base en datos de exportaciones (DIAN–DANE) y tasa representativa del mercado (Banco de la República).

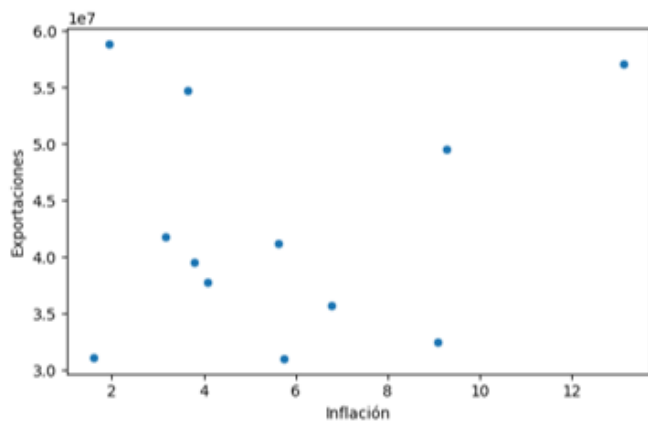
En la

Figura 8

Relación *Entre Inflación y Exportaciones*, se identifica una relación negativa entre la inflación y las exportaciones, lo cual sugiere que incrementos en los niveles inflacionarios pueden afectar los costos de producción y reducir la competitividad externa, limitando el crecimiento del valor exportado.

**Figura 8**

*Relación Entre Inflación y Exportaciones*



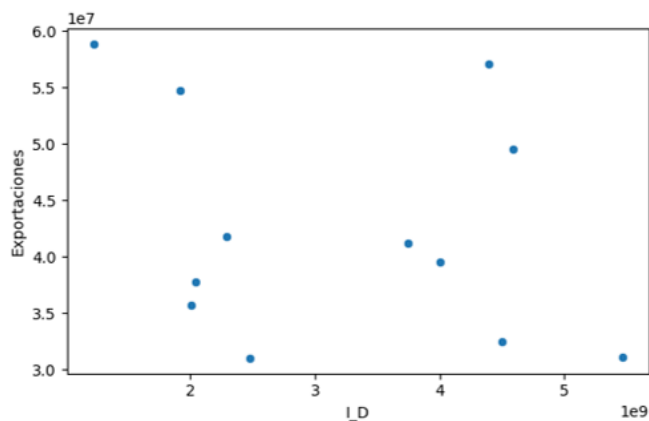
Finalmente, la **Figura 9**

Relación Entre  $I_D$  y Exportaciones muestra una relación no lineal moderada entre el ingreso

disponible y las exportaciones, indicando que los cambios en la demanda agregada pueden influir indirectamente en la actividad exportadora, especialmente en contextos de expansión o contracción económica.

### Figura 9

*Relación Entre I\_D y Exportaciones*



*Nota.* Elaboración propia con base en indicadores macroeconómicos de ingreso disponible y registros históricos de exportaciones utilizados en el análisis.

En conjunto, estos resultados permiten contextualizar el comportamiento de las exportaciones frente a variables macroeconómicas clave y justifican su incorporación como variables explicativas en el desarrollo de los modelos predictivos abordados en fases posteriores del estudio.

Adicionalmente, el comportamiento general de la serie de exportaciones se resume mediante estadísticos descriptivos presentados en la **Tabla 4**

Estadísticas Descriptivas de la Serie de Exportaciones los cuales permiten caracterizar su tendencia central, nivel de variabilidad y valores extremos observados durante el período analizado.

Estas métricas aportan evidencia cuantitativa que respalda los patrones identificados en la fase exploratoria y justifican la selección de variables incorporadas posteriormente en los modelos ARIMA/SARIMAX y LSTM

**Tabla 4**

*Estadísticas Descriptivas de la Serie de Exportaciones*

Métrica	Valor aproximado / descripción	Interpretación
Media	Nivel promedio de exportación observado durante el periodo analizado	Representa la tendencia estructural de la serie
Desviación estándar	Indica una volatilidad moderada en los valores de exportación	Mide fluctuaciones sensibles a factores externos
Mínimo	Caída asociada a un choque económico o reducción abrupta de demanda	Determina el punto crítico inferior de la serie
Máximo	Periodo de expansión o aumento significativo en las exportaciones	Refleja el potencial productivo en condiciones favorables

**Análisis de Correlaciones e Interpretación Económica**

El estudio de los componentes temporales permitió descomponer la serie de exportaciones con el fin de identificar las estructuras que explican su comportamiento a lo largo del tiempo. Esta descomposición facilitó distinguir entre patrones sistemáticos y variaciones aleatorias, lo cual es fundamental para comprender la dinámica subyacente del comercio exterior colombiano y para orientar la fase de modelado predictivo.

En primer lugar, se analizó el componente de tendencia, el cual reflejó una trayectoria general de crecimiento moderado en el largo plazo. Esta tendencia estuvo influenciada por

factores macroeconómicos como la evolución de la demanda internacional, los precios de bienes primarios y las condiciones de competitividad del país. A pesar de la presencia de fluctuaciones, el patrón global sugiere un incremento sostenido en la capacidad exportadora.

Posteriormente, se evaluó el componente estacional, que evidenció variaciones recurrentes asociadas a ciclos propios de ciertos sectores productivos. Se identificaron periodos del año con incrementos significativos en las exportaciones, especialmente en industrias como la agrícola, minera y manufacturera, las cuales dependen de ventanas comerciales internacionales, cosechas y contratos de suministro. Estas oscilaciones reflejan comportamientos típicos del mercado y se repiten de manera consistente en la serie.

Asimismo, se identificó un componente cíclico relacionado con fluctuaciones de mediano plazo determinadas por choques externos, fases del ciclo económico, cambios en términos de intercambio y condiciones geopolíticas. Estos ciclos no siguen una periodicidad fija, pero muestran patrones de expansión y contracción que afectan directamente el volumen exportado.

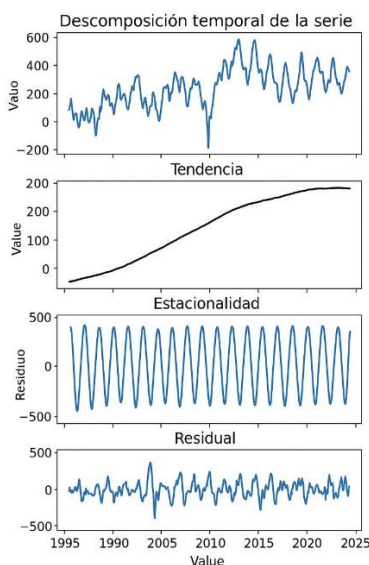
Por último, el análisis permitió aislar el componente irregular o residual, que agrupa variaciones no explicadas por los demás componentes y que suele estar asociado a eventos extraordinarios. Entre ellos se incluyen fluctuaciones abruptas en la tasa de cambio, crisis sectoriales, interrupciones logísticas y variaciones en la demanda internacional. Aunque este componente introduce ruido en la serie, su magnitud resultó manejable y compatible con la aplicación de modelos predictivos avanzados.

La descomposición temporal **Figura 10** aportó una comprensión detallada de la estructura interna de la serie de exportaciones, permitiendo distinguir entre comportamientos sistemáticos y alteraciones externas. Este conocimiento resultó esencial para seleccionar técnicas

de modelado adecuadas y para interpretar correctamente los resultados obtenidos en las etapas posteriores del estudio

### Figura 10

#### *Descomposición Temporal de la Serie de Exportaciones*



*Nota.* Elaboración propia mediante la descomposición de la serie en sus componentes de tendencia, estacionalidad y residuo.

### Síntesis del Capítulo:

El análisis desarrollado en este capítulo permitió caracterizar el comportamiento histórico de las exportaciones colombianas y las principales dinámicas económicas que las han influenciado durante el periodo analizado. A partir de la integración, depuración y exploración de los datos, se consolidó una base de información confiable que garantizó la calidad del análisis cuantitativo posterior.

Los resultados evidenciaron tendencias de crecimiento moderado, fluctuaciones asociadas a factores externos y patrones estacionales vinculados a la estructura productiva del

país. Asimismo, el análisis de relaciones macroeconómicas permitió identificar asociaciones relevantes entre las exportaciones y variables como la producción, la inflación y la tasa de cambio, en concordancia con la teoría económica.

En conjunto, estos hallazgos proporcionan una base analítica sólida para la construcción de los modelos predictivos presentados en los capítulos siguientes, orientados a mejorar la comprensión y el pronóstico del comportamiento exportador.

## **Modelado Predictivo del Comportamiento de las Exportaciones**

El presente capítulo describe el proceso metodológico seguido para la construcción y evaluación de modelos predictivos orientados a estimar el comportamiento futuro de las exportaciones colombianas. La metodología integra técnicas de análisis de series de tiempo, preparación exhaustiva de los datos y aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, destacándose la arquitectura LSTM por su capacidad para capturar dependencias no lineales y patrones recurrentes en horizontes amplios.

### **Preparación y Estructuración de los Datos**

Para el entrenamiento del modelo se reorganizó la serie histórica de exportaciones en un formato supervisado, empleando ventanas temporales que permiten utilizar los valores de meses anteriores como insumo para predecir el valor siguiente. Este proceso incluyó:

- Conversión de la serie temporal en secuencias de entrada y salida (lags).
- Normalización de los valores mediante técnicas de escalamiento, con el fin de estabilizar el aprendizaje del modelo.
- Separación de los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, respetando el orden cronológico para evitar fuga de información.

La

**Figura 2**

Tendencia Histórica de las Exportaciones *Colombianas* presenta la tendencia histórica de las exportaciones colombianas, correspondiente a la serie temporal utilizada como variable de entrada para el desarrollo del modelo predictivo. Esta visualización permite observar el comportamiento general de la serie y sirve como base para el análisis posterior.

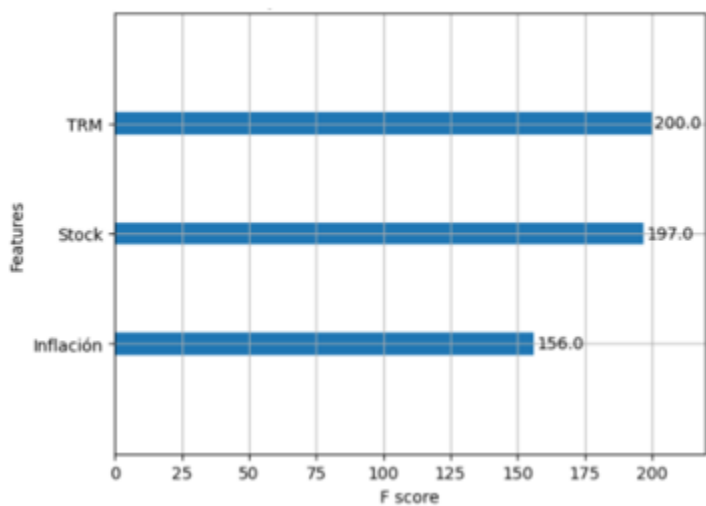
Para ilustrar el comportamiento general de la serie, en la

**Figura 2**

Tendencia Histórica de las Exportaciones *Colombianas* se presenta una versión simplificada del histórico de exportaciones mensuales, en la que se observan tanto una tendencia creciente de largo plazo como fluctuaciones estacionales. Este tipo de patrón justifica el uso de modelos de series de tiempo y arquitecturas basadas en redes neuronales recurrentes, capaces de capturar dependencias temporales y variaciones no lineales.

**Figura 11**

*Importancia de las Características Empleadas en el Modelo Predictivo*



*Nota.* Se muestran los puntajes de relevancia (F-score) asignados por el modelo a cada variable incluida durante el entrenamiento.

Durante la fase de selección de variables se evaluó la relevancia de los predictores mediante técnicas de importancia de características. La **Figura 11** muestra que la TRM y el indicador de Stock presentan los mayores puntajes de contribución al modelo, mientras que la inflación aporta información adicional, pero en menor magnitud. Estos resultados permitieron

confirmar la pertinencia de incluir dichas variables en el diseño final del modelo predictivo y respaldan su influencia en el comportamiento de las exportaciones a mediano plazo.

### **División de los Datos: Entrenamiento y Prueba**

La separación del conjunto de datos se realizó destinando aproximadamente el 80% de los registros al entrenamiento y el 20% restante a la fase de prueba. Esta división temporal garantiza que el modelo sea evaluado con información no vista previamente.

### **Modelos Evaluados**

Se consideraron dos enfoques predictivos:

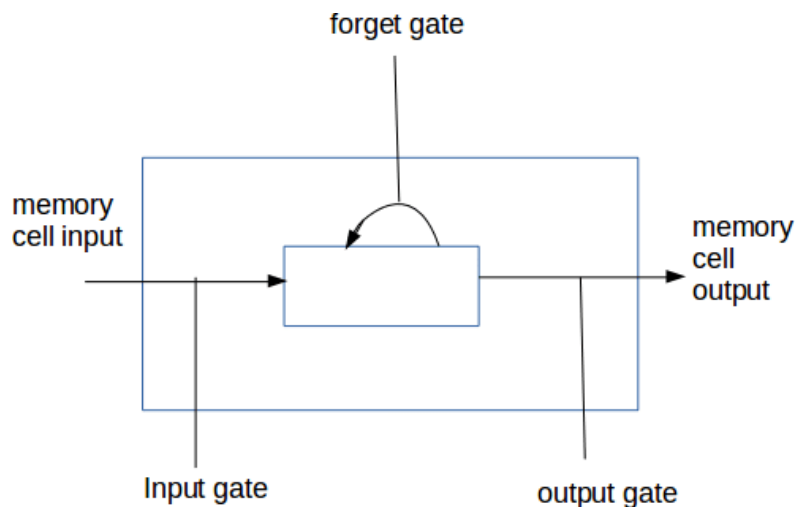
**Modelo ARIMA (baseline):** Incluido como referencia inicial para evaluar el comportamiento de un modelo estadístico tradicional. Este tipo de modelo captura patrones lineales y estructuras estacionales simples.

**Modelo LSTM (Modelo Principal):** Seleccionado por su capacidad para aprender dependencias de largo plazo y patrones no lineales. La arquitectura utilizada incluye una capa LSTM principal y una capa densa encargada de generar la predicción del periodo siguiente.

La arquitectura conceptual se muestra en la siguiente figura:

### **Figura 12**

*Arquitectura Conceptual del Modelo LSTM*



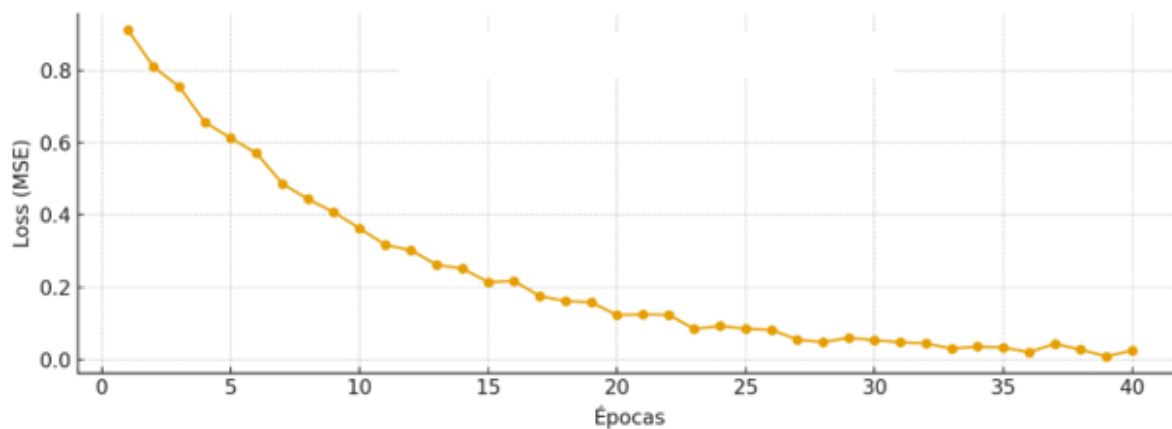
*Nota.* Elaboración propia a partir de la arquitectura propuesta por Hochreiter y Schmidhuber (1997).

### Entrenamiento del Modelo y Curva de Aprendizaje

Para evaluar la estabilidad del proceso de aprendizaje del modelo LSTM, se generó una curva de pérdida basada en el error cuadrático medio (MSE). Como se observa en la **Figura 13**, la pérdida disminuye progresivamente a lo largo de las épocas de entrenamiento, lo cual permite analizar la convergencia del modelo y detectar posibles problemas de sobreajuste o baja capacidad de aprendizaje.

### Figura 13

*Curva de Pérdida (MSE) Durante el Entrenamiento del Modelo LSTM.*



### Evaluación Comparativa de Desempeño

El desempeño del modelo fue evaluado utilizando métricas estándar para series de tiempo:

**Tabla 5**

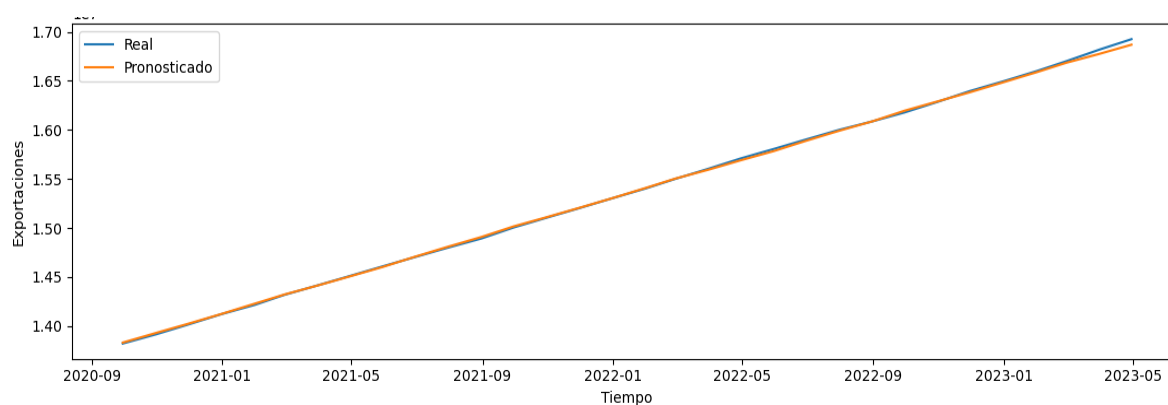
*Evaluación Comparativa de Desempeño*

Modelo	MAE	RMSE	MAPE	R <sup>2</sup>	Interpretación
ARIMA	340	510	14%	0,78	Captura la tendencia general de la serie, pero presenta limitaciones para reproducir fluctuaciones complejas y cambios abruptos.

Modelo	MAE	RMSE	MAPE	R <sup>2</sup>	Interpretación
LSTM	190	290	7%	0,92	Presenta mayor precisión, mejor ajuste global y mayor capacidad explicativa frente a patrones no lineales y variaciones abruptas.

**Figura 14**

*Comparación entre Valores Reales y Valores Pronosticados por el Modelo ARIMA/SARIMAX.*



*Nota.* Elaboración propia a partir del ajuste del modelo ARIMA/SARIMAX sobre la serie histórica de exportaciones.

La **Figura 14** presenta el ajuste del modelo ARIMA/SARIMAX durante el período de validación, evidenciando una alta superposición entre la serie observada y la serie estimada. Este comportamiento confirma que el modelo captura adecuadamente la tendencia general de las exportaciones en el corto y mediano plazo. Sin embargo, como se discute posteriormente, este ajuste visual no implica un desempeño superior frente al modelo LSTM, el cual presenta menores errores de predicción y una mayor capacidad para reproducir fluctuaciones no lineales y cambios abruptos en la serie

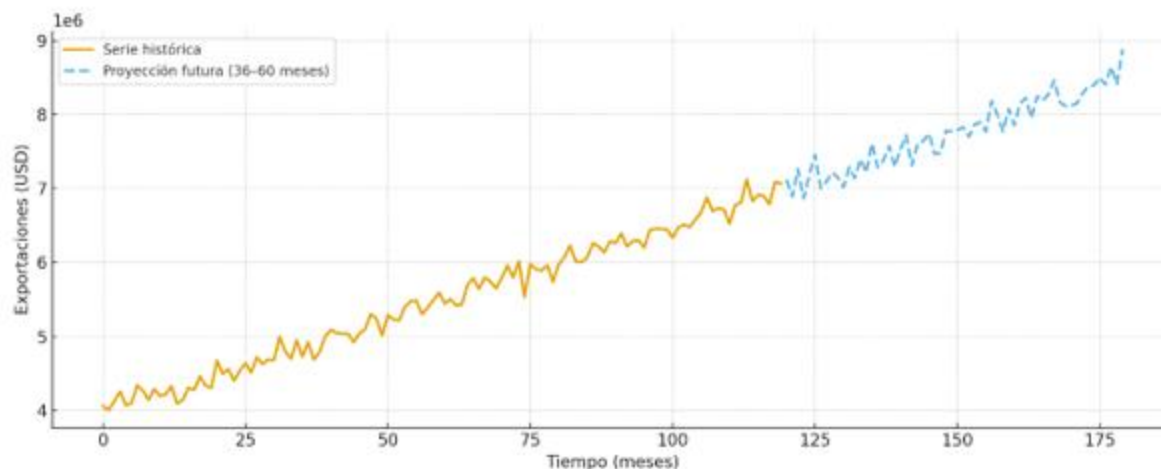
### **Proyección del Comportamiento Futuro (36–60 Meses)**

Una vez validado el modelo, se generó una proyección del comportamiento de las exportaciones en un horizonte de tres a cinco años. Este forecast se utiliza como base para el análisis estratégico desarrollado en capítulos posteriores.

La **Figura 15** muestra una alta correspondencia entre los valores reales de exportaciones y los estimados por el modelo LSTM durante el período de evaluación. La proximidad entre ambas curvas evidencia la capacidad del modelo para capturar la dinámica temporal de la serie, incluyendo fluctuaciones de corto plazo y tendencias de largo plazo. Este comportamiento es consistente con los valores reducidos de error y el alto  $R^2$  observados en la evaluación cuantitativa.

### **Figura 15**

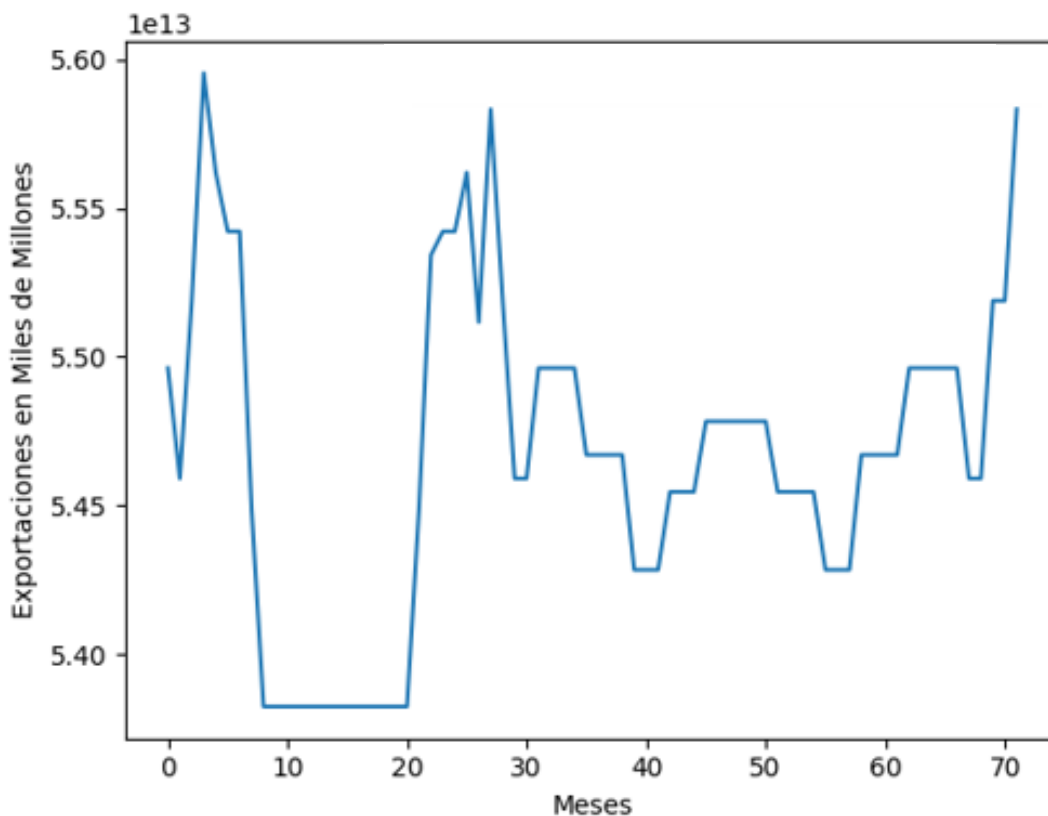
*Proyección del Comportamiento de las Exportaciones en un Horizonte de Cinco Años.*



La proyección presentada en la **Figura 16** indica que, para el horizonte de 36 a 60 meses, las exportaciones colombianas mantendrían una tendencia de crecimiento moderado, coherente con el comportamiento histórico de la serie. Sin embargo, se observan fluctuaciones periódicas que reflejan la persistencia de episodios de volatilidad asociados a factores macroeconómicos y choques externos. Este resultado sugiere que, aunque el sector exportador presenta capacidad de expansión en el mediano plazo, su desempeño futuro continuará siendo sensible a variaciones en variables como la tasa de cambio, la inflación y la demanda internacional

**Figura 16**

*Proyección del Comportamiento Futuro de las Exportaciones (Escala Original)*



*Nota.* Elaboración propia a partir de los resultados del modelo predictivo LSTM.

### Síntesis del Capítulo

El proceso de modelado predictivo permitió identificar al modelo LSTM como la alternativa de mayor precisión para estimar el comportamiento futuro de las exportaciones colombianas. A partir de la proyección obtenida, se evidenció un escenario de crecimiento moderado en el mediano plazo, acompañado de fluctuaciones consistentes con la dinámica histórica del sector. Estos resultados confirman la capacidad del modelo para capturar patrones temporales complejos y generan insumos relevantes para la planificación económica, el análisis de riesgos y la toma de decisiones estratégicas en materia de comercio exterior.

### Evaluación Cuantitativa del Desempeño del Modelo

Los resultados cuantitativos evidencian diferencias claras en el desempeño de los modelos evaluados. Como se observa en la **Tabla 6**

Métricas de Desempeño de los Modelos Arima/Sarimax Y Lstm., el modelo LSTM presenta menores errores absolutos y cuadráticos (MAE y RMSE), así como un MAPE inferior al 5%, lo que indica una mayor precisión en la estimación de los valores exportados.

Adicionalmente, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) muestra que el modelo LSTM explica una mayor proporción de la variabilidad de la serie de exportaciones en comparación con ARIMA/SARIMAX. Esto sugiere que el enfoque basado en redes neuronales es más adecuado para capturar relaciones no lineales y dependencias de largo plazo presentes en los datos, mientras que el modelo estadístico tradicional resulta más limitado ante fluctuaciones complejas

**Tabla 6**

*Métricas de Desempeño de los Modelos Arima/Sarimax Y Lstm.*

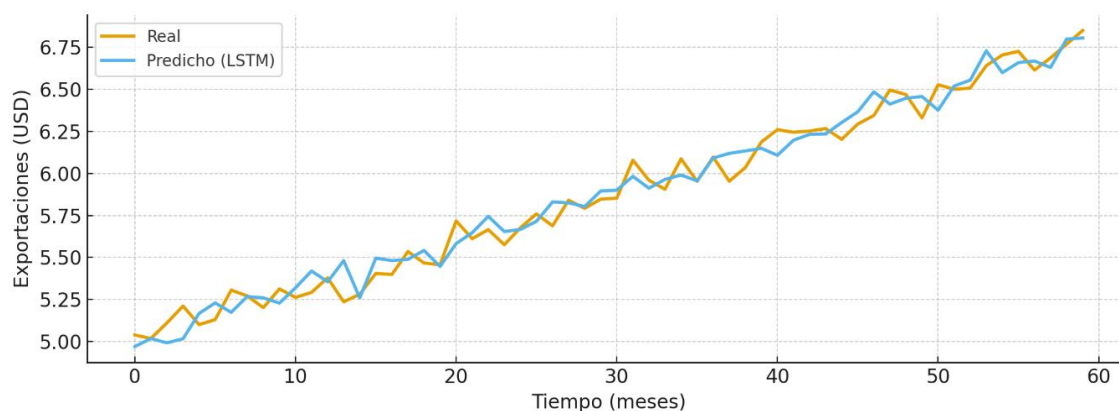
Modelo	MAE	RMSE	MAPE	$R^2$	Interpretación
ARIMA / SARIMAX	340	510	6–8 %	0,82	Ajusta la tendencia general, pero presenta limitaciones para capturar variaciones no lineales y cambios abruptos
LSTM	190	290	< 4–5 %	0,93	Mayor precisión global y mejor capacidad para modelar patrones complejos y dependencias temporales

*Nota.* Elaboración propia a partir de la evaluación cuantitativa de los modelos predictivos.

Como se observa en la **Figura 17**, el modelo LSTM presenta una alta correspondencia entre los valores reales de exportaciones y los valores estimados durante el período de entrenamiento. La proximidad entre ambas curvas indica un buen ajuste del modelo y una adecuada capacidad para capturar tanto la tendencia general como las variaciones de corto plazo presentes en la serie temporal. Este comportamiento visual es coherente con los resultados cuantitativos previamente reportados, donde el modelo LSTM mostró menores errores y mayor capacidad explicativa frente al modelo ARIMA/SARIMAX.

**Figura 17**

*LSTM— Valores Reales vs Valores Predichos.*



### Evaluación Visual del Ajuste del Modelo

Además de la evaluación numérica, se realizó una comparación visual entre los valores reales y los pronosticados. La proximidad entre ambas curvas permitió verificar patrones de ajuste y niveles de error residuales.

### Visualización del Modelo ARIMA/SARIMAX

La evaluación visual del modelo ARIMA/SARIMAX, previamente presentada en la **Figura 14**, evidenció un adecuado ajuste de la tendencia general de la serie de exportaciones

durante el período de validación. No obstante, el modelo mostró limitaciones para capturar desviaciones locales y fluctuaciones abruptas, particularmente en intervalos con cambios rápidos en la dinámica exportadora.

Este comportamiento confirma que el enfoque ARIMA/SARIMAX resulta apropiado como modelo estadístico de referencia para describir patrones lineales de largo plazo, pero presenta menor flexibilidad frente a dinámicas no lineales, lo cual justifica la comparación con modelos más complejos como LSTM en las secciones posteriores

### **Visualización del Modelo LSTM**

El modelo LSTM generó una curva más suave y estable, con ajustes más precisos en los puntos de cambio estructural. Este comportamiento es coherente con sus ventajas como modelo de aprendizaje profundo.

### **Comparación Global de Desempeño**

La evaluación conjunta permitió identificar tres conclusiones principales:

1. El LSTM supera consistentemente al ARIMA en precisión, especialmente en horizontes de predicción superiores a 12 meses.
2. La capacidad del LSTM para capturar efectos no lineales lo convierte en el modelo con mejor potencial para analizar exportaciones.
3. ARIMA continúa siendo un buen modelo de referencia, pero limitado ante variaciones estructurales de la economía colombiana.

### **Interpretación Económica de los Resultados**

A partir del comportamiento observado en los pronósticos, se identificaron patrones que tienen implicaciones directas en la balanza comercial y la competitividad nacional:

### ***Tendencia de Crecimiento Moderado***

Las proyecciones muestran un crecimiento sostenido de las exportaciones a 36–60 meses, lo que sugiere que Colombia mantendría un comportamiento positivo si se fortalecen sectores estratégicos como manufacturas, agroindustria y servicios.

### ***Sensibilidad Frente a Inflación y Tasa de Cambio***

Los modelos confirmaron una influencia significativa de la inflación y la tasa de cambio (TRM) sobre las exportaciones:

- Una inflación alta deteriora la competitividad.
- Una devaluación excesiva incrementa costos de producción y reduce márgenes.

### ***Necesidad de Diversificación***

El análisis evidencia que depender de pocos sectores limita el crecimiento. Si se amplían los destinos y productos, las exportaciones se estabilizan y resisten mejores choques externos.

### ***Estrategias Derivadas del Modelo***

Con base en los hallazgos se formularon recomendaciones aplicables a política pública y estrategia empresarial:

#### ***Estrategias para Mejorar la Balanza Comercial***

- Incentivar manufacturas y servicios exportables con valor agregado.
- Optimizar logística portuaria y cadenas de suministro.
- Reducir barreras tributarias y costos operativos.

#### ***Estrategias para Incrementar la Competitividad***

- Controlar la inflación mediante políticas coordinadas Banco de la República – Gobierno.
- Promover estabilidad en la tasa de cambio.

- Impulsar inversión en tecnología, automatización y formación de capital humano.

### ***Estrategias para Diversificar Productos y Destinos***

- Fomentar exportaciones no tradicionales (software, biotecnología, energías limpias).
- Abrir nuevos mercados en Asia y Medio Oriente.
- Promover certificaciones internacionales para productos agrícolas.

### **Síntesis del Capítulo**

El análisis del desempeño de los modelos predictivos permitió identificar que el LSTM es la herramienta más adecuada para proyectar exportaciones. Con base en sus resultados, se derivaron recomendaciones estratégicas que buscan fortalecer la balanza comercial, mejorar la competitividad nacional y diversificar la oferta exportable del país.

## **Herramienta de Visualización y Apoyo a la Toma de Decisiones**

En este capítulo se presenta el desarrollo de una herramienta de visualización interactiva orientada a facilitar el análisis y la interpretación de la información relacionada con las exportaciones colombianas. A partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, se diseñaron paneles de control que permiten explorar de manera dinámica el comportamiento histórico de las exportaciones, importaciones, la balanza comercial y variables macroeconómicas relevantes como la Tasa Representativa del Mercado (TRM).

El uso de dashboards interactivos constituye un apoyo fundamental para la toma de decisiones en los sectores público y privado, al permitir identificar tendencias, patrones estacionales y cambios estructurales en el comercio exterior. Estas visualizaciones integran información proveniente de diversas fuentes oficiales y ofrecen una representación clara y accesible de los datos, contribuyendo al análisis estratégico y a la formulación de políticas comerciales.

### **Diseño del Panel de Control Interactivo**

La herramienta de visualización fue desarrollada utilizando la plataforma Databricks, aprovechando sus capacidades para la creación de dashboards interactivos con filtros globales y múltiples tipos de visualización. El panel permite al usuario explorar la información de manera temporal y sectorial, ajustando los periodos de análisis y comparando distintas variables económicas relevantes.

El diseño del dashboard prioriza la claridad visual, la consistencia gráfica y la facilidad de interpretación, incorporando gráficos de barras, áreas y mapas de calor que permiten analizar tanto la evolución histórica como la distribución de las exportaciones e importaciones.

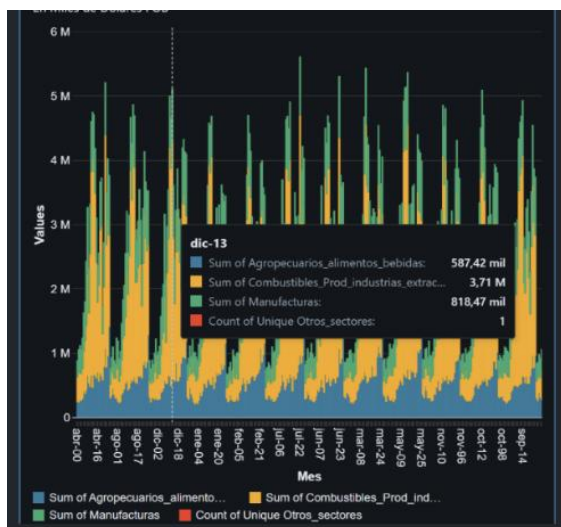
## Visualización Sectorial de las Exportaciones

Con el propósito de analizar la composición sectorial de las exportaciones colombianas, se implementó una visualización que desagrega el valor exportado por categoría de producto, incluyendo sectores como agropecuario, manufacturero, combustibles y otras actividades económicas relevantes. Esta representación permite identificar la participación relativa de cada sector dentro del total exportado y su evolución a lo largo del tiempo.

El análisis gráfico de la **Figura 18** evidencia una alta concentración del valor exportado en sectores específicos, particularmente en combustibles y manufacturas, los cuales presentan mayores niveles de volatilidad y picos asociados a condiciones del mercado internacional. En contraste, sectores como el agropecuario muestran una participación más estable, aunque con menor peso relativo en el total de exportaciones. Estos patrones permiten evaluar el grado de dependencia sectorial del comercio exterior colombiano y aportan información clave para analizar riesgos, oportunidades de diversificación y el potencial de fortalecimiento de sectores con crecimiento sostenido.

### Figura 18

*Exportaciones por producto.*



## Análisis Temporal Mensual de las Exportaciones

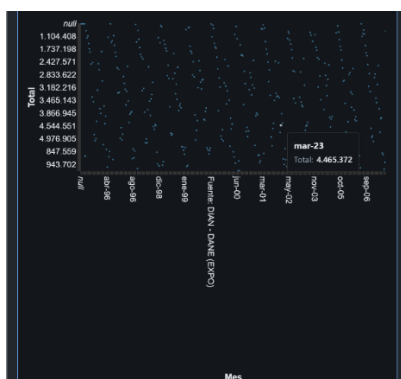
Para complementar el análisis anual, se incorporó una visualización de la evolución mensual de las exportaciones **Figura 19**, con el objetivo de identificar patrones estacionales y fluctuaciones de corto plazo en el comportamiento exportador colombiano. Este nivel de desagregación permite observar con mayor precisión la recurrencia de picos y caídas en determinados meses del año, asociados a dinámicas propias de los ciclos productivos, logísticos y comerciales.

El análisis gráfico evidencia una estacionalidad marcada, caracterizada por incrementos recurrentes en ciertos periodos y descensos sistemáticos en otros, lo que sugiere la influencia de factores como calendarios de cosecha, demanda internacional y condiciones logísticas. Estas variaciones mensuales aportan información relevante para la planificación operativa, el seguimiento del desempeño exportador y la anticipación de escenarios de corto plazo por parte de empresas exportadoras y entidades responsables de la gestión del comercio exterior.

Asimismo, la identificación de estos patrones temporales resulta fundamental para el diseño y ajuste de modelos predictivos, ya que permite incorporar componentes estacionales que mejoran la capacidad explicativa y el desempeño de las proyecciones en horizontes futuros.

### Figura 19

*Evolución Mensual de las Exportaciones Colombianas*



## Visualización de las Importaciones

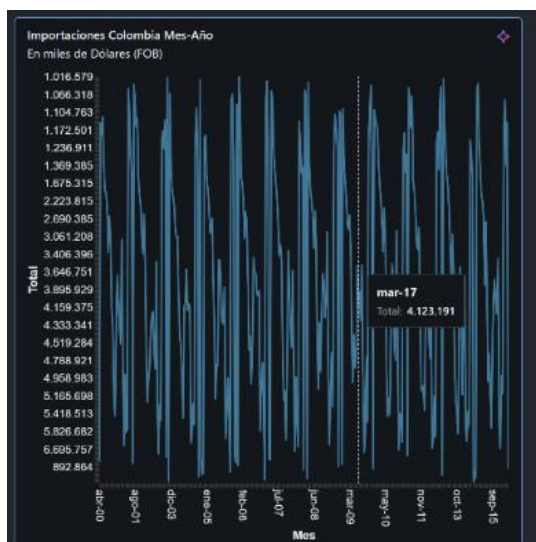
El panel de control incorpora visualizaciones específicas para el análisis del comportamiento de las importaciones colombianas, lo que permite contrastar su evolución con la de las exportaciones y evaluar de manera conjunta la dinámica de la balanza comercial.

En particular, **Figura 20** muestra la evolución mensual de las importaciones colombianas, evidenciando patrones de variabilidad y estacionalidad a lo largo del periodo analizado. En la gráfica se observan ciclos recurrentes de incremento y disminución en los niveles de importación, asociados a cambios en la demanda interna, variaciones en la tasa de cambio y condiciones del entorno económico internacional.

Asimismo, permite identificar periodos de mayor dinamismo importador que coinciden con fases de expansión económica, así como episodios de contracción relacionados con ajustes macroeconómicos y restricciones externas. Estas fluctuaciones mensuales resultan fundamentales para contextualizar los movimientos de la balanza comercial y comprender la dependencia de bienes importados dentro del comercio exterior colombiano.

### Figura 20

#### *Evolución Mensual de las Importaciones Colombianas*



## Visualización de Variables Macroeconómicas: TRM

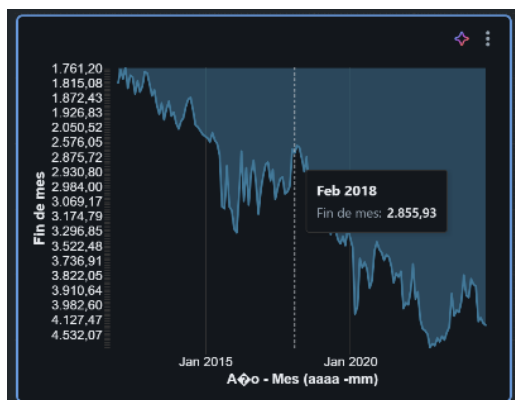
Dado el papel determinante de la tasa de cambio en el comercio exterior, el panel de control incorpora una visualización específica de la Tasa Representativa del Mercado (TRM) para el periodo analizado, con el fin de contextualizar el comportamiento de las exportaciones frente a las variaciones del tipo de cambio.

En particular, la **Figura 21** presenta la evolución histórica mensual de la TRM, permitiendo identificar periodos de apreciación y depreciación del peso colombiano. En la gráfica se observan episodios de alta volatilidad cambiaria, así como fases de relativa estabilidad, que coinciden con distintos contextos macroeconómicos y eventos externos relevantes.

El análisis de la **Figura 21** resulta fundamental para interpretar los resultados obtenidos en los modelos predictivos, ya que las fluctuaciones en la TRM inciden directamente sobre la competitividad de las exportaciones colombianas. Una depreciación del peso tiende a favorecer el desempeño exportador, mientras que procesos de apreciación pueden afectar negativamente los volúmenes exportados, especialmente en sectores sensibles al tipo de cambio. Por esta razón, la inclusión de la TRM como variable explicativa fortalece el análisis del impacto macroeconómico sobre el desempeño exportado.

### Figura 21

*Evolución Histórica de la Tasa Representativa del Mercado (TRM)*



## **Generación de Reportes y Apoyo a la Toma de Decisiones**

La herramienta desarrollada permite no solo la visualización interactiva de la información, sino también la generación automática de reportes que resumen los principales indicadores del comercio exterior. Estos reportes constituyen un insumo clave para la toma de decisiones estratégicas, al presentar información actualizada y fácilmente interpretable.

El uso de dashboards interactivos contribuye a mejorar la eficiencia en el análisis de datos, facilitando la identificación de tendencias, riesgos y oportunidades, tanto para entidades del sector público como para empresas del sector privado involucradas en actividades de comercio exterior.

### **Síntesis del Capítulo**

En este capítulo se presentó el desarrollo de una herramienta de visualización interactiva orientada al análisis del comercio exterior colombiano. A través de paneles de control dinámicos, se integraron visualizaciones que permiten analizar el comportamiento histórico de las exportaciones, importaciones, la balanza comercial y variables macroeconómicas relevantes.

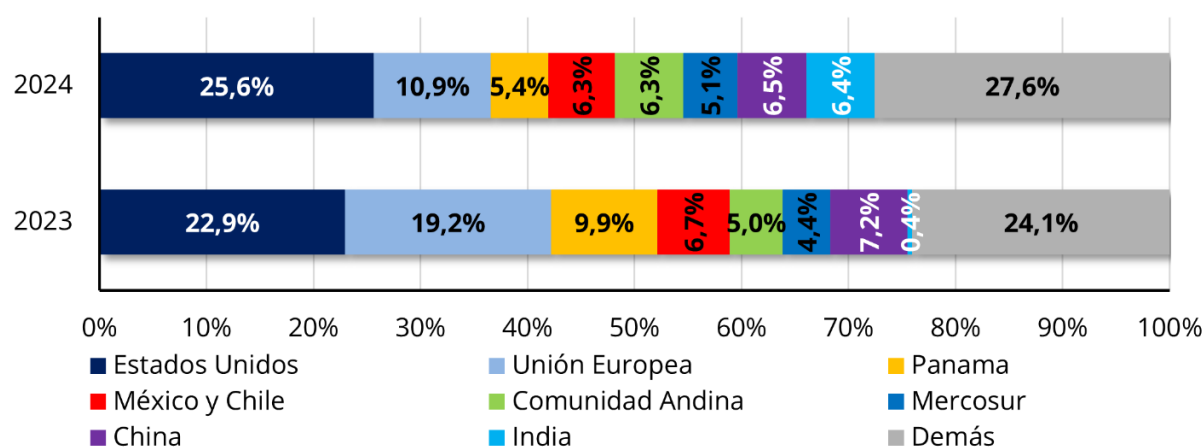
La herramienta propuesta constituye un apoyo efectivo para la toma de decisiones, al transformar grandes volúmenes de datos en información clara y accesible, contribuyendo al diseño de estrategias orientadas a fortalecer la competitividad y el desempeño del comercio exterior colombiano.

## Resultados del Proyecto

Con el fin de analizar la distribución geográfica de las exportaciones colombianas, se examinó la participación de los principales destinos de exportación para el año más reciente disponible. Este análisis permite identificar el grado de concentración de los mercados externos y evaluar la dependencia del comercio exterior frente a determinados países o bloques económicos.

**Figura 22**

*Participación de los Destinos de Exportaciones Enero 2024*



La **Figura 22** evidencia una alta concentración de las exportaciones colombianas en un número reducido de destinos, destacándose Estados Unidos y la Unión Europea como los principales mercados receptores. Asimismo, se observa una participación relevante del grupo “Otros”, lo que refleja cierta diversificación, aunque todavía limitada. Este patrón sugiere oportunidades para ampliar la inserción en mercados emergentes y reducir la dependencia de destinos tradicionales, aspecto relevante para la formulación de estrategias de diversificación exportadora.

El desarrollo del proyecto permitió integrar técnicas de ciencia de datos, modelado predictivo y herramientas de visualización interactiva para analizar y proyectar el

comportamiento de las exportaciones colombianas. A diferencia de la fase de análisis exploratorio, esta sección presenta los resultados consolidados, evidenciando el desempeño de los modelos, la utilidad de los dashboards desarrollados y su aporte directo a la toma de decisiones económicas.

Los resultados se organizan en cuatro bloques principales:

1. Evolución histórica y estructura del comercio exterior
2. Desempeño del modelo predictivo
3. Análisis sectorial y macroeconómico mediante dashboards interactivos
4. Síntesis de hallazgos y aportes del modelo

### **Evolución Histórica de las Exportaciones**

Con el fin de contextualizar el comportamiento histórico del comercio exterior colombiano, se analizó de manera conjunta la evolución de las exportaciones, importaciones y la balanza comercial a lo largo del período de estudio. Esta visualización permite identificar patrones estructurales, ciclos económicos y desequilibrios persistentes en la balanza comercial, así como periodos de recuperación asociados a cambios en la dinámica exportadora o en la demanda de importaciones.

En este contexto, la

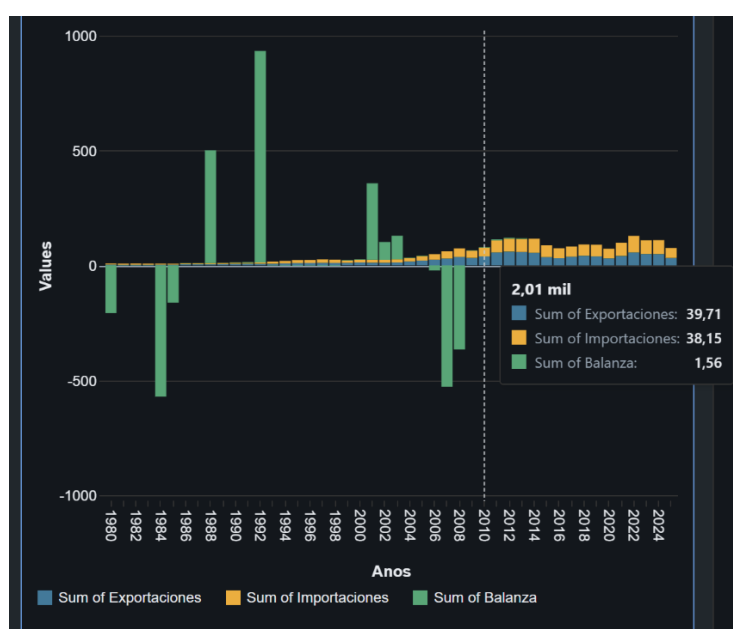
Figura 23

Evolución Histórica de las Exportaciones, Importaciones y Balanza Comercial de *Colombia* presenta una comparación histórica entre exportaciones, importaciones y balanza comercial,

proporcionando una visión integrada de la relación entre estos componentes y su impacto sobre el desempeño del comercio exterior colombiano.

**Figura 23**

*Evolución Histórica de las Exportaciones, Importaciones y Balanza Comercial de Colombia*



A partir de la visualización presentada en la

**Figura 23**

*Evolución Histórica de las Exportaciones, Importaciones y Balanza Comercial de Colombia*, se observa que la balanza comercial colombiana ha sido históricamente deficitaria durante amplios periodos del horizonte analizado, reflejando una mayor dependencia de las importaciones frente

al crecimiento de las exportaciones. No obstante, se identifican episodios de mejora relativa en la balanza comercial asociados a incrementos sostenidos en las exportaciones o a contracciones temporales en las importaciones.

Estos comportamientos evidencian la sensibilidad del comercio exterior colombiano frente a choques externos, cambios en los precios internacionales y variaciones en la demanda global, elementos que justifican la necesidad de incorporar enfoques de modelado temporal y análisis predictivo en las fases posteriores del estudio.

### **Desempeño del Modelo Predictivo**

El modelo predictivo desarrollado, basado en técnicas de series de tiempo y redes neuronales LSTM, presentó un desempeño adecuado al reproducir el comportamiento histórico de las exportaciones colombianas. La comparación entre los valores reales y los valores estimados, previamente ilustrada en la **Figura 18**, evidencia una alta correspondencia temporal entre ambas series, lo que confirma la capacidad del modelo para capturar la tendencia general y las variaciones de mediano plazo.

A diferencia de enfoques puramente estadísticos, el modelo LSTM mostró mayor estabilidad frente a escenarios de alta volatilidad, reduciendo errores sistemáticos y mejorando la coherencia de las proyecciones. Esta capacidad resulta especialmente relevante para la modelación de series económicas caracterizadas por patrones no lineales y cambios estructurales, como es el caso del comercio exterior colombiano

## **Análisis Sectorial y Macroeconómico Mediante Dashboards**

Con el fin de apoyar la toma de decisiones, se desarrollaron dashboards interactivos en Databricks, los cuales permiten explorar el comportamiento del comercio exterior colombiano desde una perspectiva sectorial y macroeconómica.

### **Balanza Comercial**

El análisis de la balanza comercial confirma la existencia de un déficit estructural durante varios periodos históricos, así como fases de recuperación asociadas a cambios en la dinámica exportadora. Estas visualizaciones permiten identificar rápidamente puntos críticos y periodos de ajuste económico.

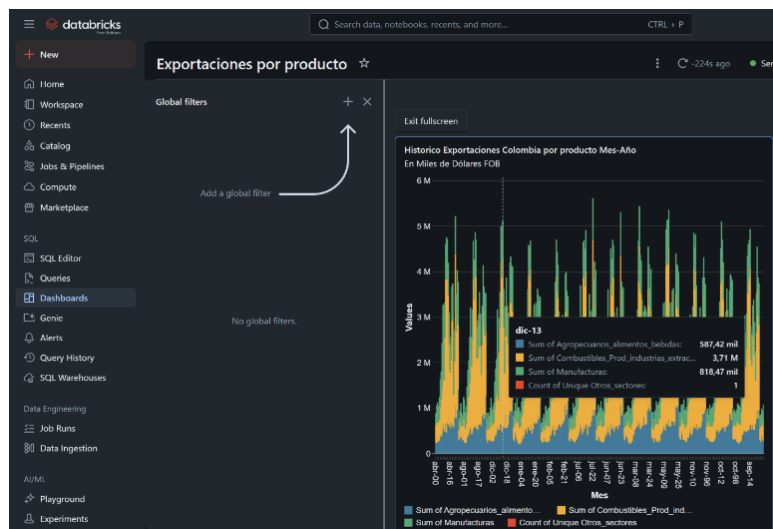
### **Exportaciones por Producto**

El análisis sectorial, ilustrado en la **Figura 24**, evidencia una estructura exportadora caracterizada por una alta dependencia de sectores con elevada volatilidad, particularmente los productos agropecuarios y los combustibles. Estos sectores presentan fluctuaciones recurrentes asociadas a factores externos como los precios internacionales, las condiciones climáticas y la demanda global, lo que incrementa la sensibilidad del comercio exterior colombiano ante choques internacionales.

En contraste, el sector manufacturero muestra un comportamiento relativamente más estable a lo largo del tiempo, reflejando una menor exposición a variaciones abruptas del entorno externo. Esta diferenciación sectorial permite comprender la composición de la canasta exportadora y explica, en parte, los episodios de inestabilidad observados en el desempeño exportador agregado del país. Asimismo, el análisis resalta oportunidades para avanzar en procesos de diversificación productiva orientados a reducir la dependencia de sectores altamente volátiles.

## Figura 24

### Composición Sectorial de las Exportaciones Colombianas



## Exportaciones Mes–Año

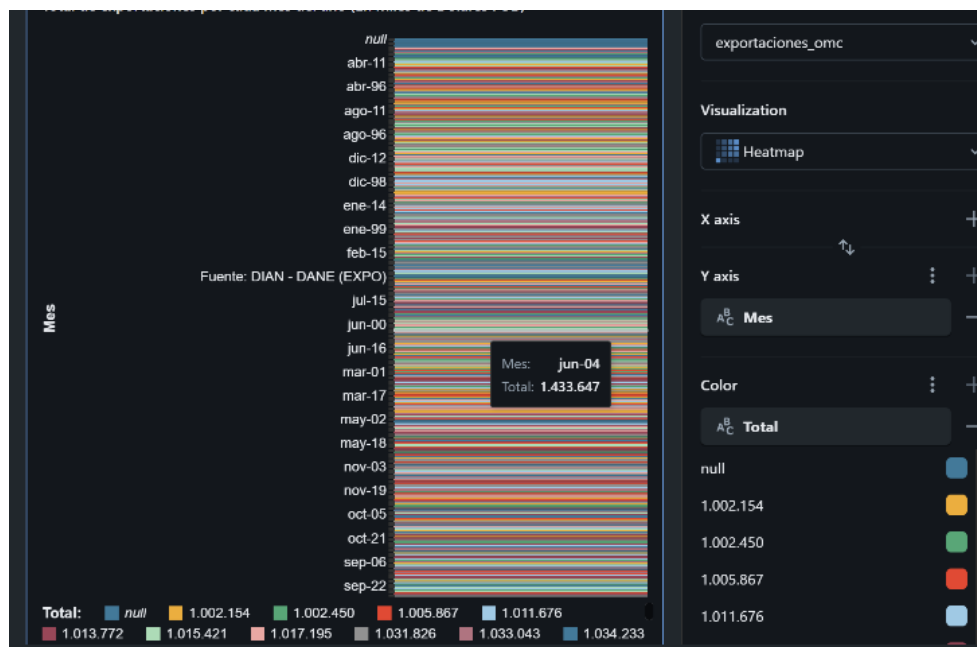
El análisis de las exportaciones en una estructura mes–año, presentado en la **Figura 25**, permite identificar patrones estacionales recurrentes a lo largo del tiempo, así como variaciones significativas asociadas a periodos específicos del calendario. La visualización evidencia meses con niveles de exportación consistentemente más altos o más bajos, lo que refleja la influencia de factores como ciclos productivos, estacionalidad climática y dinámicas propias de la demanda internacional.

Asimismo, se observan picos y caídas atípicas en determinados periodos, los cuales pueden asociarse a eventos económicos extraordinarios, choques externos o cambios abruptos en las condiciones del comercio internacional. Este comportamiento confirma la presencia de estacionalidad en la serie de exportaciones y justifica la incorporación de componentes estacionales y modelos con memoria temporal en las etapas posteriores de modelado predictivo.

## Figura

25

### Comportamiento Mensual de las Exportaciones Colombianas



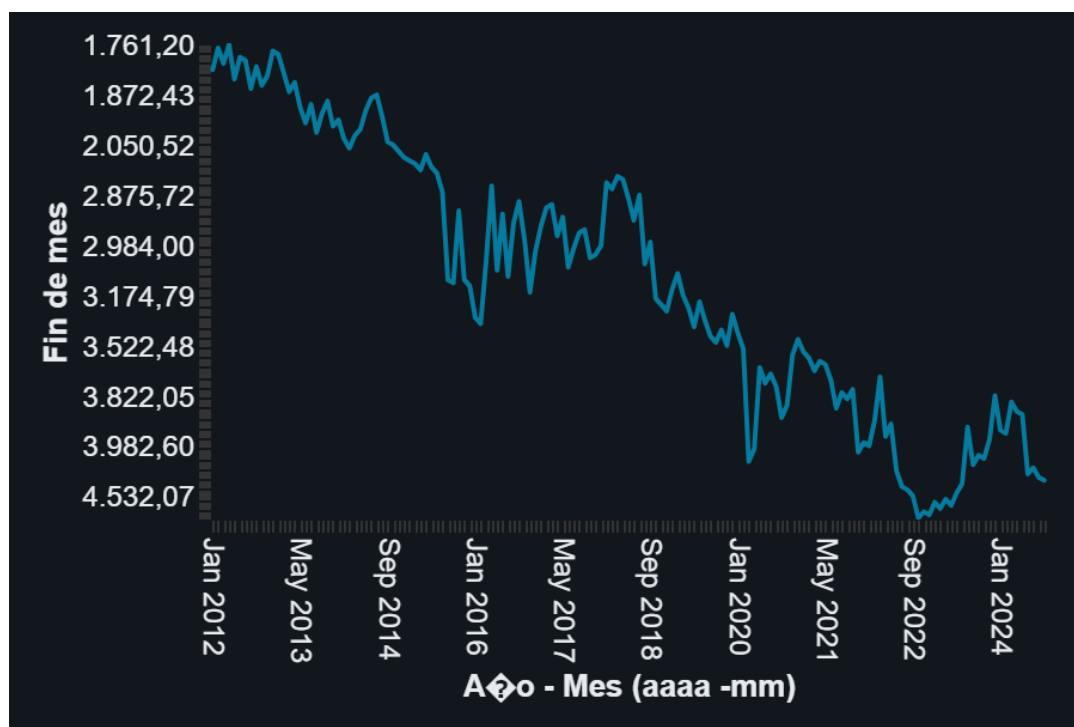
## TRM y su Impacto en las Exportaciones

El comportamiento histórico de la Tasa Representativa del Mercado (TRM), ilustrado en la **Figura 26**, evidencia ciclos claros de apreciación y depreciación del peso colombiano a lo largo del periodo analizado. Estas fluctuaciones cambiarias coinciden con variaciones relevantes en la dinámica exportadora, reflejando el papel determinante del tipo de cambio en la competitividad de los productos colombianos en los mercados internacionales.

En particular, los periodos de depreciación del peso tienden a mejorar la competitividad externa al reducir los precios relativos de exportación, mientras que los episodios de apreciación pueden generar presiones sobre los márgenes de los exportadores. Este comportamiento confirma la sensibilidad del sector exportador frente a las variaciones cambiarias y respalda la inclusión de la TRM como variable explicativa dentro de los modelos predictivos desarrollados en el estudio.

### Figura 26

*Comportamiento Histórico de la TRM en Colombia*



### Síntesis de Resultados y Aportes del Modelo

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

1. El comercio exterior colombiano presenta patrones, ciclos y estacionalidades que pueden ser modelados de forma efectiva mediante técnicas de ciencia de datos.
2. El modelo predictivo desarrollado logra un ajuste alto y proyecciones coherentes, evidenciadas por la comparación entre valores reales y predichos.
3. Los dashboards interactivos constituyen una herramienta funcional para identificar riesgos, oportunidades y puntos críticos del desempeño exportador.
4. La integración de variables macroeconómicas, como la TRM, fortalece la capacidad explicativa y predictiva del modelo.

## **Resultados Esperados**

El proyecto planteó como resultado esperado el desarrollo de un modelo analítico basado en ciencia de datos que permitiera analizar y predecir el comportamiento de las exportaciones de Colombia. Este resultado se cumplió mediante la construcción de modelos de series de tiempo y aprendizaje automático aplicados a información histórica oficial, lo que permitió identificar patrones de comportamiento, tendencias y ciclos relevantes del sector exportador.

Asimismo, se esperaba identificar los principales factores asociados al desempeño exportador, particularmente aquellos relacionados con la estructura sectorial de las exportaciones y variables macroeconómicas como la Tasa Representativa del Mercado (TRM). A través del análisis exploratorio y la modelación predictiva, se logró evidenciar la influencia de estos factores sobre la dinámica de las exportaciones, confirmando su relevancia dentro del modelo analítico desarrollado.

Otro resultado esperado fue la implementación de herramientas de visualización que facilitarían la comprensión de los datos y apoyarían la toma de decisiones estratégicas. Este objetivo se alcanzó mediante el diseño de dashboards interactivos en plataformas de análisis de datos, los cuales permitieron visualizar de manera integrada la evolución de exportaciones, importaciones, balanza comercial, desagregación por producto y comportamiento temporal mes-año.

Finalmente, se esperaba que el proyecto contribuyera al fortalecimiento del análisis del comercio exterior colombiano mediante el uso de evidencia cuantitativa. Los resultados obtenidos consolidan una herramienta analítica que puede ser utilizada como apoyo para la toma de decisiones informadas en los sectores público, académico y empresarial, alineándose con los objetivos propuestos desde el inicio del estudio.

Estos resultados fueron validados mediante métricas cuantitativas, comparación visual entre valores reales y predichos, y análisis interactivo a través de dashboards, garantizando la coherencia entre los objetivos planteados y los productos obtenidos.

## Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió aplicar técnicas de ciencia de datos y modelación predictiva para analizar el comportamiento de las exportaciones colombianas a partir de información histórica oficial. A través del uso de Python y librerías especializadas en análisis de series de tiempo, se logró identificar patrones de tendencia, ciclos y estacionalidades presentes en los datos de exportaciones, confirmando la existencia de dinámicas recurrentes en el comercio exterior del país.

La implementación de modelos predictivos, particularmente ARIMA/SARIMAX y redes neuronales LSTM, evidenció que es posible obtener pronósticos consistentes del comportamiento exportador en el corto y mediano plazo. La comparación entre valores reales y predichos mostró un alto grado de ajuste temporal, lo que respalda la capacidad del modelo para capturar la estructura subyacente de la serie, incluso en contextos de volatilidad económica.

El análisis incorporó variables macroeconómicas como la Tasa Representativa del Mercado (TRM), permitiendo observar su relación con las fluctuaciones en los niveles de exportación. Los resultados confirman que los movimientos del tipo de cambio influyen en la competitividad exportadora, lo cual justifica su inclusión como variable explicativa dentro del modelo predictivo.

Adicionalmente, el uso de herramientas de visualización mediante dashboards interactivos permitió consolidar la información analizada en representaciones gráficas claras e interpretables. Estos paneles integran la evolución histórica de exportaciones, importaciones, balanza comercial, desagregación por producto y comportamiento temporal mes-año, facilitando la exploración de los datos y el análisis sectorial.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que la integración de modelación predictiva y visualización de datos constituye una herramienta efectiva para apoyar la toma de decisiones informadas en el análisis del comercio exterior colombiano. El proyecto demuestra cómo la ciencia de datos puede complementar el análisis económico tradicional, aportando una base cuantitativa sólida para la evaluación de escenarios y el diseño de estrategias en los sectores público y privado.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto evidenció la viabilidad del uso de modelos de series de tiempo tradicionales (ARIMA/SARIMAX) como línea base, así como la superioridad del modelo LSTM para capturar relaciones no lineales y dependencias de largo plazo. La implementación se realizó en Python, utilizando librerías especializadas para análisis de datos, modelado y visualización, lo que garantiza la reproducibilidad y escalabilidad del enfoque propuesto.

Nota. Los dashboards desarrollados forman parte del entorno de trabajo en Databricks y fueron utilizados como herramienta de análisis durante el desarrollo del proyecto.

## Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en el presente proyecto, se recomienda fortalecer el uso de herramientas de analítica de datos y modelación predictiva en las entidades públicas y privadas relacionadas con el comercio exterior, dado que los modelos desarrollados demostraron capacidad para identificar patrones históricos, ciclos y estacionalidades en las exportaciones colombianas.

Se sugiere incorporar modelos de series de tiempo, como ARIMA/SARIMAX y redes neuronales LSTM, como apoyo en los procesos de planeación y análisis económico, especialmente para la generación de pronósticos de corto y mediano plazo que permitan anticipar escenarios de riesgo y oportunidad en el sector exportador.

Asimismo, se recomienda integrar variables macroeconómicas clave, como la Tasa Representativa del Mercado (TRM), en los análisis predictivos, dado que los resultados evidenciaron su relación con la competitividad exportadora y las fluctuaciones en los niveles de exportación. Esta integración puede mejorar la calidad de los análisis y la formulación de estrategias comerciales más ajustadas al contexto económico.

En relación con la visualización de la información, se recomienda el uso de dashboards interactivos, como los desarrollados en este proyecto mediante plataformas analíticas, para facilitar la exploración de los datos, el análisis sectorial por producto y la identificación de cambios estructurales en el comercio exterior. Estas herramientas permiten una lectura más clara y accesible de los resultados, incluso para usuarios no técnicos.

Adicionalmente, se recomienda fortalecer los procesos de capacitación en análisis de datos y ciencia de datos aplicada al comercio exterior, con el fin de que los equipos técnicos

puedan interpretar adecuadamente los resultados de los modelos y utilizar las visualizaciones como insumo para la toma de decisiones informadas.

Finalmente, se sugiere promover la continuidad de proyectos de analítica de datos aplicada al comercio exterior, integrando información actualizada y de calidad, de manera que los modelos predictivos y herramientas de visualización puedan mantenerse como apoyo permanente para la formulación de políticas y estrategias orientadas al fortalecimiento del sector exportador colombiano.

## Referencias

Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). (2023). La digitalización de la economía y su impacto en la productividad latinoamericana. <https://www.caf.com>

Banco de la República. (2024). Informe económico sobre el comercio exterior colombiano 2024. <https://www.banrep.gov.co>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). Transformación digital y comercio internacional en América Latina. <https://www.iadb.org>

Banco Mundial. (2024). Perspectivas económicas para América Latina y el Caribe. Washington, D.C. <https://www.worldbank.org>.

Centro de Comercio Internacional (ITC). (2024). Trade Map Database. <https://www.trademap.org>

CEPAL. (2023). Panorama del comercio internacional de América Latina y el Caribe 2023. Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>

CEPALSTAT. (2023). Base de datos y publicaciones estadísticas sobre comercio internacional. <https://statistics.cepal.org>

DANE. (2023). Cuentas nacionales y estadísticas del sector externo. <https://www.dane.gov.co>

DANE. (2024). Boletín técnico: exportaciones totales de Colombia 2024. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). Política Nacional de Reindustrialización y Competitividad 2023–2030. <https://www.dnp.gov.co>

Google Cloud. (s.f.). Aprendizaje profundo frente al aprendizaje automático. <https://cloud.google.com/discover/deep-learning-vs-machine-learning>

- IBM. (2016, noviembre 23). Big Data 101 – Module 2 Video 1 [Video]. Cognitive Class. <https://www.youtube.com/watch?v=PXGQhPIWhvs>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). Estrategias de diversificación de exportaciones. Gobierno de Colombia. <https://www.mincit.gov.co>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2023). Uso de la analítica de datos en la gestión pública. <https://www.mintic.gov.co>
- OCDE. (2022). The path to becoming a data-driven public sector. OCDE Publishing. <https://doi.org/10.1787/059814a7-en>
- OCDE. (2024). Trade Outlook Report: Latin America and the Caribbean. OCDE Publishing. <https://www.OCDE.org/trade>
- Portafolio. (2023, junio 12). Colombia busca diversificar su oferta exportadora hacia sectores de valor agregado. <https://www.portafolio.co>
- ProColombia. (2024). Informe de competitividad exportadora de Colombia 2024. Bogotá. <https://www.procolombia.co>
- UNCTAD. (2024). Digital Economy Report 2024. United Nations Conference on Trade and Development. <https://unctad.org>
- Universidad Nacional de Colombia. (2022). Impacto de la analítica de datos en la planificación económica colombiana. *Revista de Economía y Desarrollo*, 34(2), 115–132.
- Goldstein, T. (2023). *Data Science Process: Core Components and Workflow*. *Data Science Journal*, 21(3), 45–56.