



# Ingresos del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la CDMX

Consecuencias de la pandemia  
sobre los ingresos.

**Ayala Flores Luis Gerardo.**  
**315207664**

**Barquín Jiménez Israel.**  
**417106779**

**Noriega Herrera Carlos Alberto.**  
**314516479**

**Rodríguez Correa Isaac Neftalí.**  
**418087570**

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Diseño de Investigación</b>	<b>4</b>
2.1. Hipótesis . . . . .	4
2.2. Objetivo . . . . .	4
2.3. Justificación . . . . .	5
2.4. El Proyecto . . . . .	5
<b>3. Estudios Preliminares</b>	<b>6</b>
<b>4. Análisis de los Datos</b>	<b>10</b>
4.1. Sobre la Base de Datos . . . . .	10
4.1.1. Problemas Observados . . . . .	10
4.2. Análisis Exploratorio . . . . .	12
4.2.1. Considerando la Contingencia Sanitaria . . . . .	12
4.2.2. Sin considerar la Contingencia Sanitaria . . . . .	15
4.2.3. Comparación de ambos escenarios . . . . .	17
4.3. Datos Finales . . . . .	17
<b>5. Construcción y Evaluación del Modelo</b>	<b>19</b>
5.1. La Serie . . . . .	20
5.2. Transformación de los Datos . . . . .	21
5.3. Pruebas de Estacionariedad . . . . .	22
5.4. El Modelo . . . . .	23
5.4.1. Proposición y Selección del Modelo . . . . .	23
5.4.2. Validación del Modelo . . . . .	25
5.4.3. Aplicación del Modelo . . . . .	27
5.5. Comparación de Escenarios . . . . .	28
<b>6. Conclusiones</b>	<b>30</b>
<b>7. Referencias</b>	<b>32</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### El Sistema Metro

La historia urbana de la ciudad de México del siglo XX es en buena medida la historia del transporte. Desde el tranvía hasta el sistema subterráneo eléctrico, todos los medios de transporte han tenido como función permitir el traslado e interconexión de individuos y mercancías en el ámbito del área urbana en continua expansión.

El cada vez más importante papel del transporte se explica por que el desarrollo del capital conlleva una creciente concentración urbana y una mayor división del trabajo que ha expandido las ciudades y separado espacialmente las actividades. Lo que ha requerido enfrentar necesidades crecientes de transporte de personas y mercancías en las ciudades.

A casi 44 años del inicio de trabajos para su construcción, el Sistema de Transporte Colectivo Metro es hoy el medio de movilidad más utilizado por los habitantes de la Ciudad de México y la Zona Conurbada. En 2019 se estimaba una media diaria de viajes de alrededor de 4.6 millones.

Propuesto y finalmente aceptado por el presidente Gustavo Díaz Ordaz durante su mandato, el Sistema Metro pretendía brindar una solución al problema del transporte en una Ciudad de México que atravesaba entonces por un proceso de transformación demográfica caracterizado por una expansión importante de su población.

Así pues, tras dos años de obras de construcción, en Septiembre de 1969 se inauguraba la primera línea de este sistema formada por 12.6 kms de vías a lo largo de las cuales, existían 16 estaciones: las aún hoy comprendidas entre la estación Chapultepec y la estación Zaragoza de la Línea 1 del Sistema Metro.

Hoy en día, el Sistema Metro, está compuesto por 12 líneas que comunican a la gran mayoría del territorio de la ciudad a lo largo de alrededor de 226 kms de redes de servicio que conectan a 195 estaciones usando 3333 vagones.

Dado el antes mencionado volumen de viajes individuales efectuados a través del Sistema Metro se tiene como consecuencia directa que tal sistema resulta entonces una representación creíble de los flujos de personas en la ciudad. Es decir, atendiendo a la dinámica de los viajes en Metro, es posible entrever la dinámica de los movimientos en la ciudad.

### Problemática

A principios de Diciembre de 2019, se detectó una neumonía de origen desconocido en la ciudad de Wuhan (China). A raíz de ello, las autoridades sanitarias de China se vieron sorprendidas por una serie de neumonías de origen desconocido que poseía una gran facilidad para su expansión. Esta nueva epidemia a lo largo de los años 2020 y 2021 ha logrado una rápida y extensa afectación mundial aún marcada por un continuo crecimiento debido a una vía común de contagio, como es la vía respiratoria.

Sin duda esta epidemia ha cambiado la manera en que las personas y la sociedad realizan sus actividades diarias, la gente se mueve menos por una multitud de razones, como la implantación del teletrabajo y la educación a distancia, la pérdida de empleos o el cierre puntual de los principales lugares de ocio, por consecuencia, el transporte público se ve gravemente afectado por la caída en picada del número de pasajeros y la reducción de la demanda de viajes y transporte debido a las prohibiciones de viaje y las preocupaciones individuales por evitar las aglomeraciones públicas.

El metro de la ciudad de México es el transporte que más incide en la reducción del tráfico vehicular, de tiempos, costos de viaje, pérdidas hora-hombre y contaminación ambiental. Como consecuencia de sus beneficios, al ser el medio con mayor capacidad para transportar personas y el de menor costo, representa un foco de contagio importante y un peligro para la salud de la sociedad por el riesgo de contagio de COVID-19, por lo que sus actividades fueron modificadas para resguardar la salud de la población, finalmente su necesidad ante la sociedad no impidió que este sector sufriese daños económicos al atravesar la pandemia sanitaria.

## **Capítulo 2**

# **Diseño de Investigación**

### **2.1. Hipótesis**

Durante los últimos meses estamos viviendo tiempos inciertos, en los que casi cada actividad humana que imaginemos se ha visto trastocada. La pandemia nos ha obligado a repensar, incluso, lo más cotidiano de nuestras vidas. Después del confinamiento y las primeras fases de vuelta a la ‘normalidad’ estamos redefiniendo nuestra cotidianidad y, en ella, el transporte, al ser una actividad intermedia necesaria para que podamos llevar a cabo casi todas las demás actividades de nuestro día a día, es una de las que más han sufrido.

El metro de la ciudad de México se ha consolidado como la mejor alternativa de transporte pues moviliza a miles de personas en forma rápida, económica y segura utilizando el menor espacio urbano, energía y unidades. En la actualidad transporta a más de 4.5 millones de pasajeros, recorre más de 110 mil km. y realiza casi 10 mil vueltas, todo eso diariamente.

#### **La hipótesis**

La dinámica de viajes en metro en la ciudad se vio gravemente afectada por la contingencia sanitaria, ocasionando una disminución en el volumen de viajes hechos a través de este servicio.

### **2.2. Objetivo**

Aunque todavía no se ha evaluado definitivamente por parte de las instituciones correspondientes, es muy probable que las repercusiones económicas del brote del virus en el sector del transporte público sean graves. Como el transporte público está directamente relacionado con el desarrollo económico y depende de las tarifas y los subsidios, es muy probable que la pérdida de ingresos sea inevitable. Además de estas pérdidas, el aumento de los costos por la limpieza frecuente de los vehículos e instalaciones, o el aumento de la frecuencia de los trenes y buses durante un período de tiempo largo puede suponer una carga financiera adicional para las empresas de transporte público.

#### **El objetivo**

Con este proyecto, buscamos comprender, analizar y exponer la dimensión y profundidad de las afectaciones en los ingresos del servicio de transporte del metro en la ciudad, generadas por la contingencia sanitaria

## 2.3. Justificación

La pandemia trajo cambios históricos a muchos factores sociales y económicos, a la manera en que vendemos y compramos bienes y servicios, específicamente el sistema de transporte metro de la ciudad de México, generando en este un panorama de incertidumbre debido a los escenarios recurrentes de bajos niveles de viajes ocasionados por la actual emergencia sanitaria.

Dado la importancia de este transporte para la ciudad de México, el transporte público debe ser la columna vertebral de la movilidad urbana en todas las estrategias de recuperación de la crisis. Y, es que, no podemos poner en riesgo nuestra calidad de vida renunciando a los beneficios sociales, medioambientales y económicos del transporte público para la sociedad, sino que debemos reforzarlos, por lo que es importante conocer las perdidas esperadas o el decrecimiento de ingresos ocasionado por la pandemia, para poder tomar las medidas y decisiones necesarias para recuperar o generar un crecimiento que compense el atrasamiento ocasionado por la pandemia.

## 2.4. El Proyecto

Dicho lo anterior, es entonces posible esbozar la idea que reside en el corazón de este proyecto: en un esfuerzo por comprender las consecuencias de la contingencia sanitaria por la que atravesamos sobre los flujos de personas en la ciudad, estudiaremos el efecto de tal contingencia sobre los flujos de personas en el Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Esto último será llevado acabo ajustando un modelo de series de tiempo al agregado de viajes mensuales hechos en el metro para así obtener estimaciones de lo que hubiera ocurrido en condiciones usuales en estos flujos en el periodo comprendido entre el inicio de la pandemia y la actualidad para luego comparar tales estimaciones con los flujos observados para tal periodo.

Es decir, ajustaremos un modelo de series de tiempo a los ingresos agregados mensuales observados hasta principios de 2020 y utilizaremos ese modelo para obtener "predicciones" del comportamiento de estos ingresos a lo largo de 2020 y 2021. Una vez tenidas esas estimaciones, éstas serán contrastadas con los datos observados en este periodo obteniendo así una comparación de dos escenarios: uno ficticio en el que no ocurrió la contingencia sanitaria y el real.

Para efectuar tal análisis, dispondremos de la base de datos de boletos, recargas, y tarjetas vendidos cada día desde Enero del 2012 hasta Mayo del 2021. Agregaremos estos tres conceptos por unidades mensuales y haremos las antes mencionadas estimaciones.

## **Capítulo 3**

# **Estudios Preliminares**

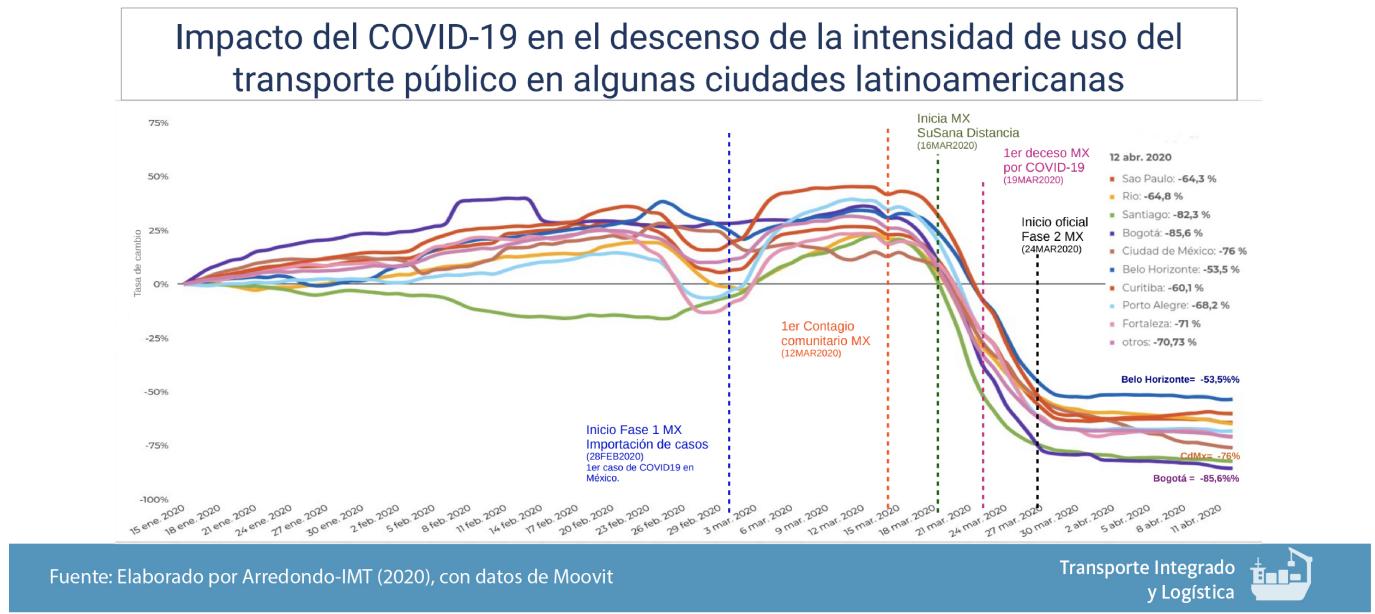
Debido a la reciente aparición de la situación causal de nuestra problemática y a la actual evolución de la misma, es muy temprano para poder realizar estudios concluyentes sobre el impacto de la pandemia, debido a que al no haber terminado, hablándose de dinero, invertir en realizar una investigación representaría un gasto innecesario, pues las conclusiones no serían útiles para futuros planes de acción, el material disponible en ese sentido está mayoritariamente compuesto por artículos de periódicos nacionales en los que el análisis del tema no es superior a la mera exposición de los datos.

Hablándose de información, la realización de estudios sobre el comportamiento y los efectos provocados por la pandemia podrían ayudar a comprender mejor su crecimiento, evolución, y de esta forma prevenir las máximas perdidas. Es en esto, adicionalmente, en que este estudio encuentra su importancia. Pretende abordar un tema no ampliamente explorado.

Una de las investigaciones realizadas a lo largo del desarrollo de la pandemia fue realizada por el Instituto Mexicano del Transporte en su publicación bimestral de divulgación externa correspondiente al mes de junio 2020, en la cual trata el Impacto del COVID-19 en los distintos modos de transporte, a continuación, mostramos algunos resultados que dan hincapié a nuestro análisis y estudio del problema.

El estudio reveló una tendencia común en la mayoría de los países de América latina, siendo esta un sensible descenso de uso del transporte público, variando del 53.5% en Belo Horizonte, la ciudad que registró menor descenso, hasta 85.6% en Bogotá, el mayor registrado. Para el caso de la Ciudad de México, el descenso llegó al 76%, incluyendo la movilidad en Metro, Metrobús, RTP, Tranvía, Trolebús, Tren Eléctrico, Ecobici y las formas de micromovilidad, una cifra significativa para el sector de transporte público.

Es facil notar que el descenso en México ocurre en el momento en que se implemento la campaña de salud SuSana Distancia, 18 dias despues de iniciarse la fase uno.



**COMUNICACIONES**  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



[f](#) [t](#) [g](#) [y](#) [gob.mx/imt](#)

Figura 3.1: Intensidad de uso de transporte público

En un resultado más particular, comparando dos de las ciudades más importantes y reconocidas del país, podemos notar que, a partir del 30 de marzo, la ciudad de Guadalajara registró un ligero repunte, para luego volver a descender, hasta llegar a 67.7 % el 12 de abril. Por su parte, la Ciudad de México continuo con su curva descendente de manera continua, hasta alcanzar el mínimo histórico del 76 %, el 12 de abril.

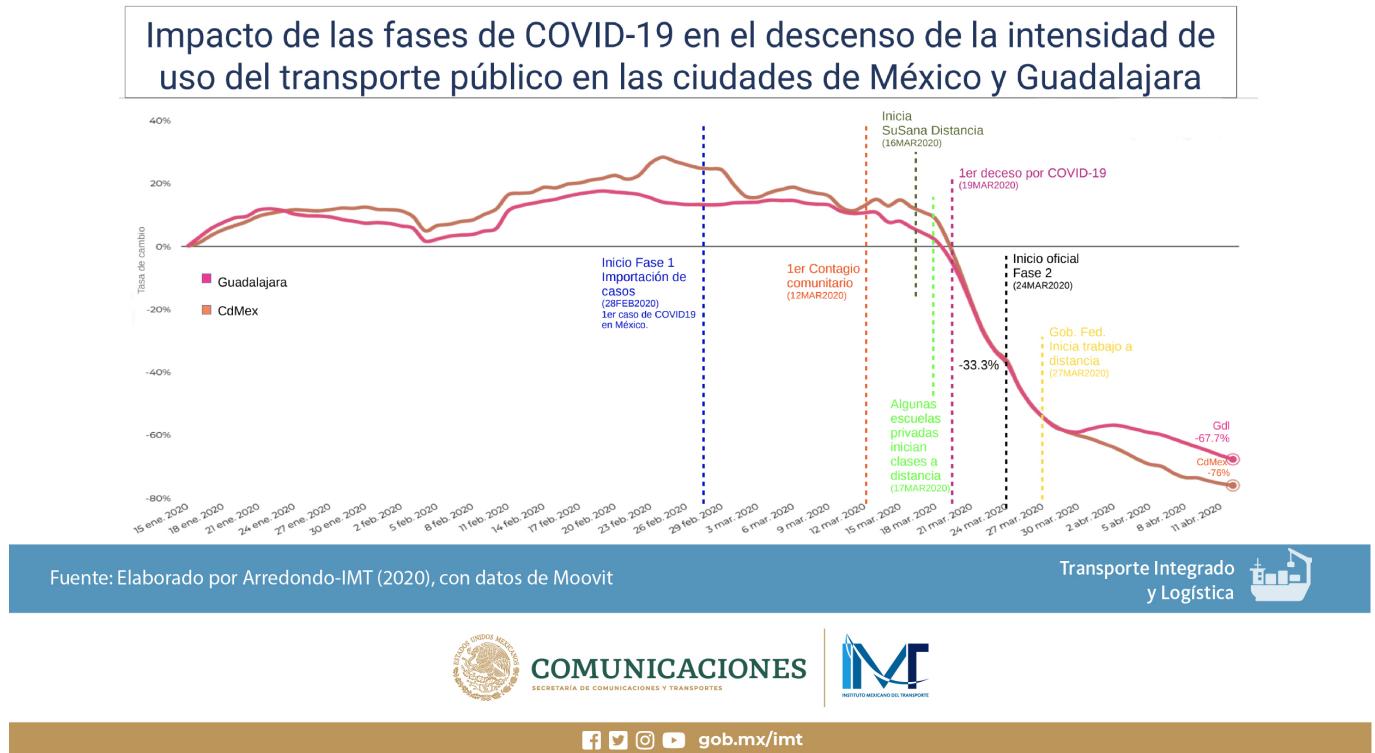
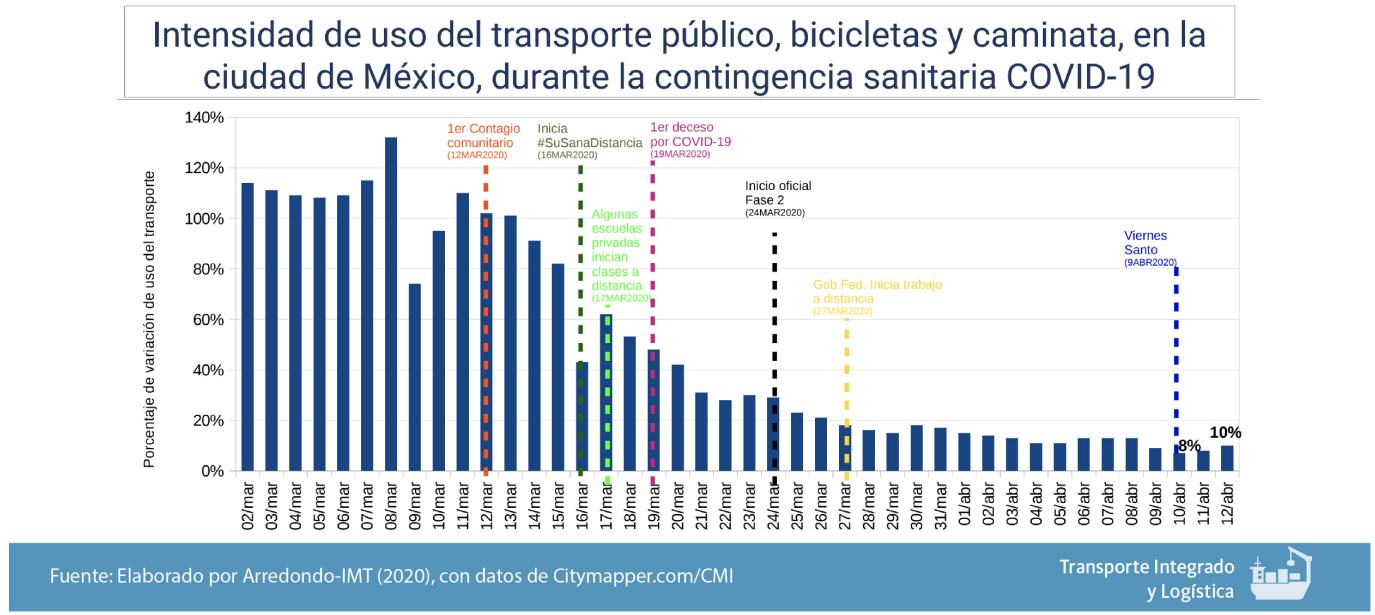


Figura 3.2: Intensidad de uso de transporte público

Es fácil ver que el descenso en la frecuencia de viajes ha llegado a porcentajes significativos, lo cual representa un problema para los procesos administrativos de este servicio, dicha caída es producto de la situación sanitaria actual, así como de factores que permitieron el decrecimiento de los viajes, como lo son el cierre de escuelas, el inicio del trabajo en línea, el cierre de lugares públicos, entre otros menos mencionados.

Los datos muestran un cambio en los patrones de movilidad, llegando a reducirla hasta alcanzar el 10% de los viajes normales que se tendrían sin contingencia, con valores mínimos de 8% durante el Viernes Santo del 10 de abril de 2020 y un ligero repunte al 12 de abril del presente año.



COMUNICACIONES  
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



f t i y gob.mx/imt

Figura 3.3: Intensidad de uso de transporte público

Habiéndose expuesto lo anterior podemos darnos cuenta que el efecto ocasionado por la pandemia ha sido muy significante, de escalas que no habían sido presenciadas ante otra catástrofe natural o social, de tal manera que no se necesita un estudio estadístico para notar que después del inicio de la pandemia la disminución del uso del servicio fue notoria.

Como ya se mencionó, aun no existen estudios concluyentes y el flujo de estos mismos es casi nulo por las razones expuestas al comienzo de este capítulo, pero, consideramos importante mencionar el estudio anterior, pues este aporta bases sólidas para apoyar nuestra hipótesis, sin embargo, el objetivo de nuestro trabajo no se limita a lo expuesto hasta ahora, por lo que en las siguientes páginas de este trabajo podrá encontrar las especificaciones técnicas del mismo, conocerá los datos, el análisis realizado a estos, el desarrollo del modelo, así como todas las dificultades y conclusiones obtenidas a lo largo de nuestro proyecto.

# Capítulo 4

## Análisis de los Datos

### 4.1. Sobre la Base de Datos

Para la consecución de los objetivos planteados en el capítulo anterior, utilizaremos la base de datos de Ingresos del Sistema de Transporte Colectivo Metro que puede ser consultada en el Portal de Datos Abiertos del Gobierno de la Ciudad de México.

En ella, se cuentan con registros diarios de los ingresos de cada una de las 12 líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro por concepto de Boletos vendidos, Tarjetas vendidas, y Recargas efectuadas. Se tiene información de los ingresos obtenidos diariamente desde el 1 de Enero de 2012 hasta el 31 de Mayo del 2021.

#### 4.1.1. Problemas Observados

##### Cambio de Tarifa

Durante el análisis exploratorio de los datos, hemos observado un desfase importante en los ingresos obtenidos por el Sistema Metro antes y después de principios del 2014. Tras indagar sobre esto, hemos detectado que tal desfase se debe al cambio de tarifa en el servicio introducido a partir del 13 de Diciembre 2013.

Que considerar este periodo para construir nuestro modelo afectará negativamente el desempeño del mismo es una conclusión a la que se llega con facilidad pues en este el cambio en los ingresos se debe a una modificación del precio individual del servicio y no así a un cambio en la dinámica interna de tales ingresos.

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior, hemos decidido eliminar los datos correspondientes al periodo comprendido entre el de Enero del 2012 al 31 de Diciembre de 2013. Es decir, para nuestro análisis, y construcción del modelo, utilizaremos sólo los datos observados a partir del 1 de Enero del 2014 y hasta el 31 de Mayo del 2021.

En seguida se muestran las series de tiempo de los ingresos semanales y mensuales por líneas antes de eliminar los datos que proceden de antes de Enero del 2014.

Obsérvese que para todas las líneas, lo descrito párrafos anteriores concerniente al abrupto cambio en la captación de ingresos antes y después de Enero de 2014 es de hecho bastante claro visualmente.

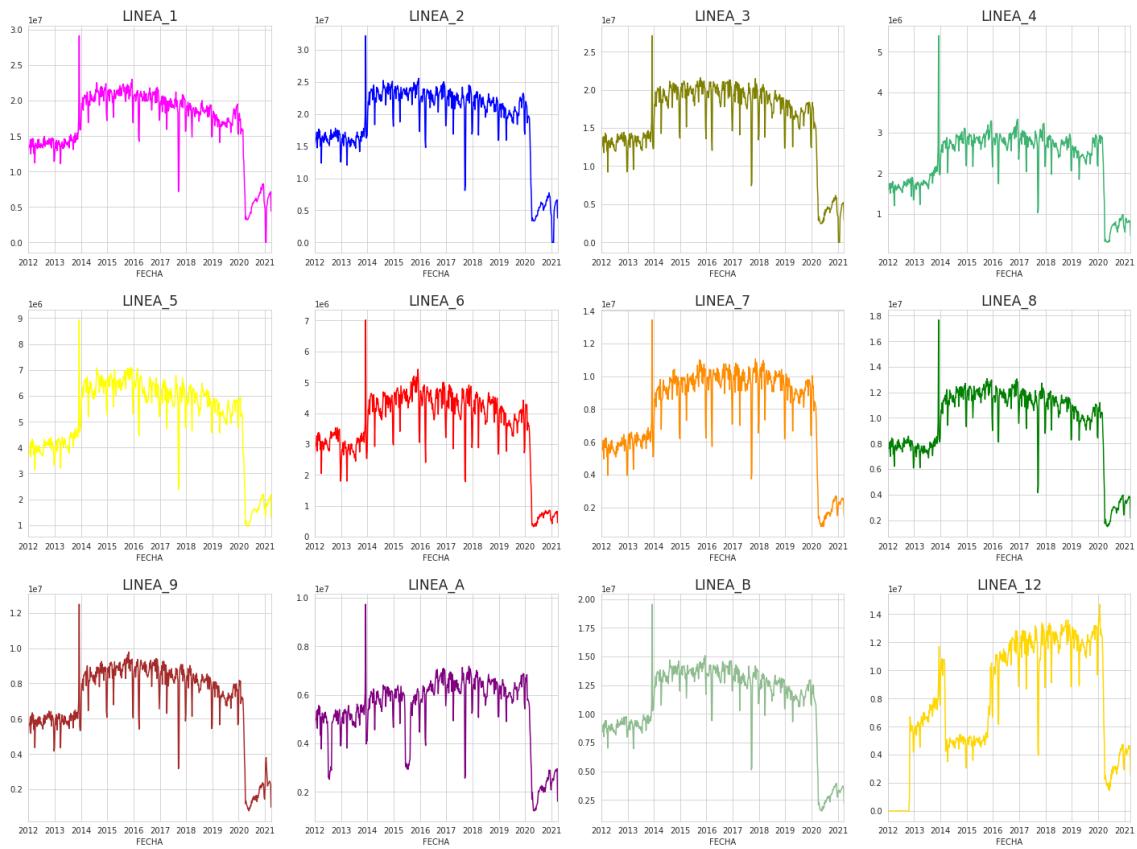


Figura 4.1: Serie de Ingresos Agregados Semanales

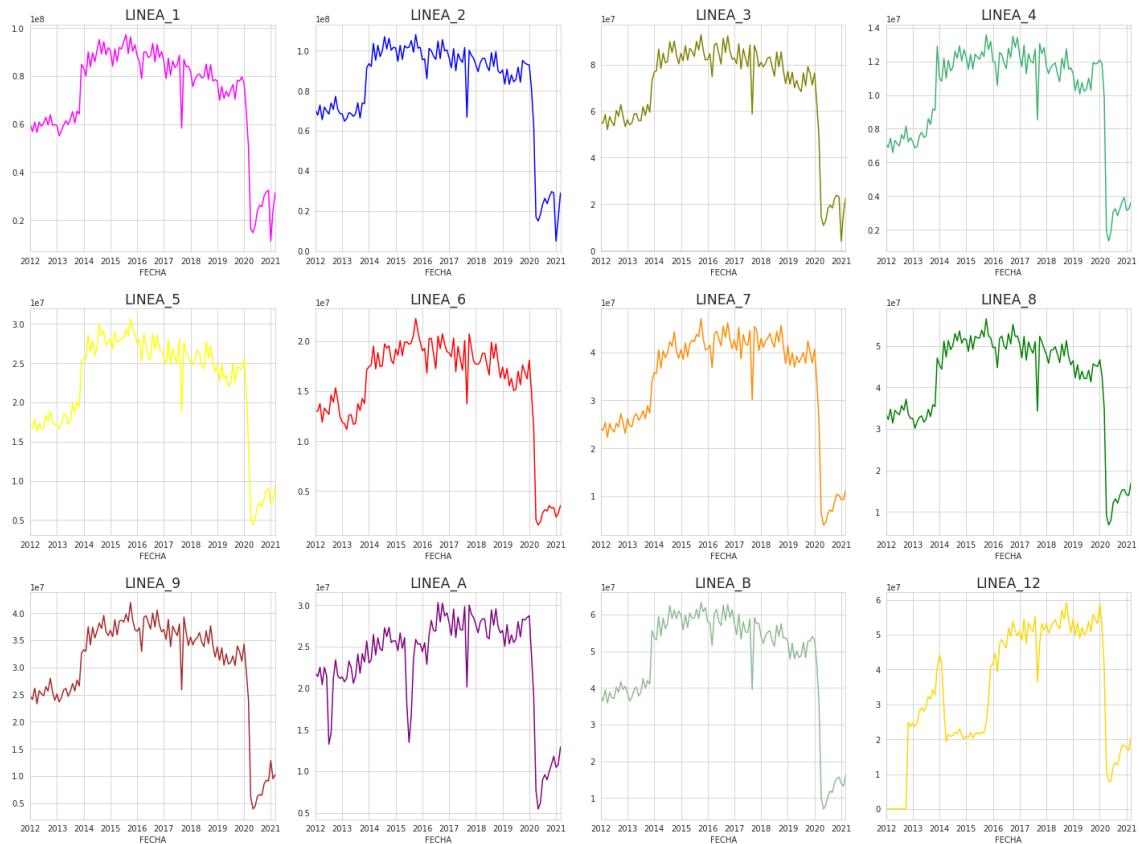


Figura 4.2: Serie de Ingresos Agregados Mensuales

Además, un suceso importante de observar que puede ser apreciado en las series semanales de ingresos agregados es que en precisamente en la semana anterior a que entrara en vigor el cambio de tarifa del Sistema Metro, se tiene un pico en los ingresos obtenidos. Esto se debe probablemente a un conjunto importante de individuos comprando viajes futuros a la tarifa menor aún vigente para aquel momento.

Una observación importante es la referente a lo que ocurrió en todos los casos, independientemente de si la unidad temporal son semanas o meses, una vez empezada la contingencia sanitaria: la movilidad de individuos en el Sistema Metro se redujo a un cuarto de los niveles observados antes del inicio de la pandemia en México.

### Sismos de Septiembre de 2017

Obsérvese en la Figura 4.2 (Serie de Ingresos Agregados Mensuales) que hacia el tercer cuarto del 2017 se observa una abrupta caída en los ingresos obtenidos por el Sistema Metro.

El evento antes mencionado se debe a que por aquellas fechas, se registraron en la Ciudad de México dos sismos de magnitudes importantes. En particular, el último de ellos tuvo consecuencias lamentables para los habitantes de la ciudad y para la ciudad misma.

La movilidad en la ciudad se vio reducida parcialmente motivado por los esfuerzos de los equipos de rescate y la sociedad lo que impactó de manera negativa la captación de ingresos por parte del transporte público. Además, se debe recordar que durante algunos días, los servicios del Sistema Metro fueron gratuitos.

Este evento pareciera poder representar un reto teórico en la medida en que impacta negativamente la autocovarianza de la serie en tanto es un valor extremo. De cualquier modo, y como se verá en el siguiente capítulo, las incidencia de este evento no dificulta significativamente el ajuste de un modelo de series de tiempo al fenómeno que estudiamos en el presente proyecto.

## 4.2. Análisis Exploratorio

En la sección anterior hemos definido entonces el periodo que se estudiará: Enero de 2014 a la Actualidad.

En seguida, se presentan los Análisis Exploratorios para el escenario que considera la realidad actual y para el escenario en que no se presentaba aún la pandemia, es decir, el escenario comprendido entre Enero de 2014 y Enero del 2020.

### 4.2.1. Considerando la Contingencia Sanitaria

Definido el periodo de estudio, se presentan entonces las series de los ingresos agregados mensuales para cada una de las líneas. Se cuenta con 87 observaciones.

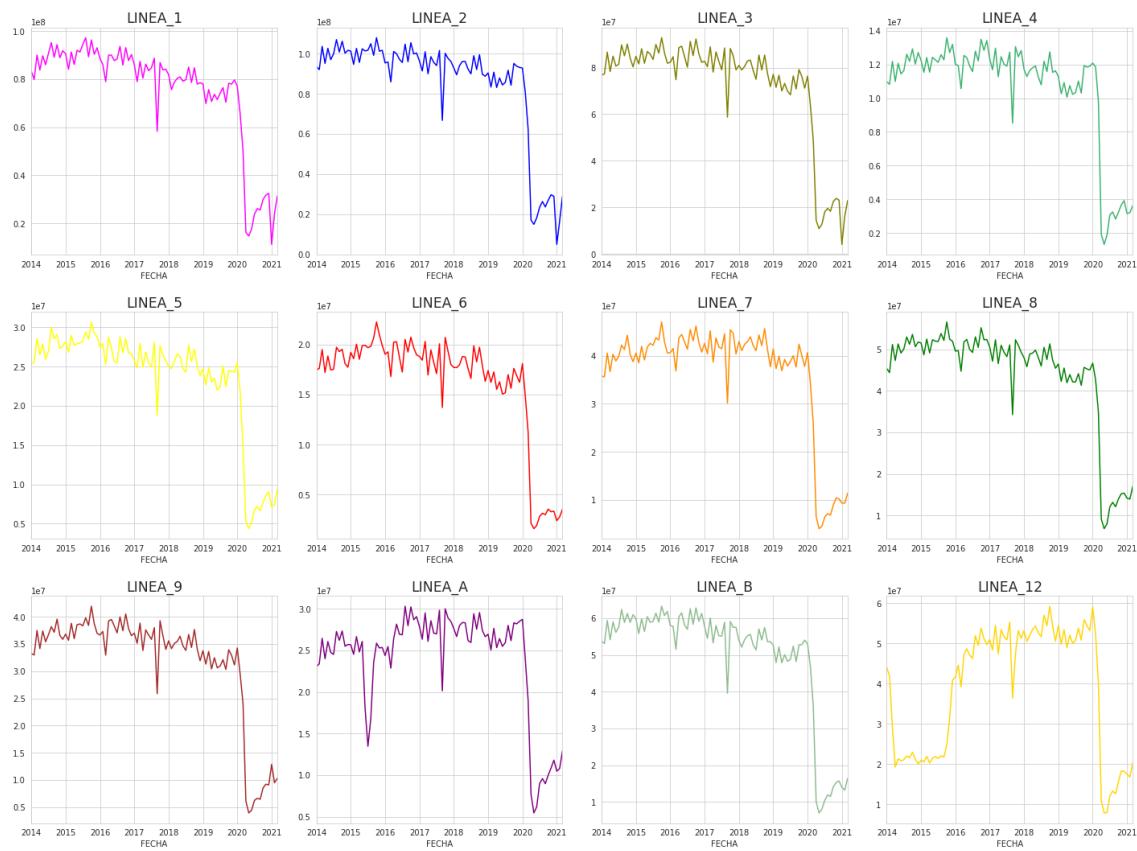


Figura 4.3: Serie de Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2021

También se presentan los Histogramas de los Ingresos agregados mensuales para cada una de las líneas del Sistema Metro.

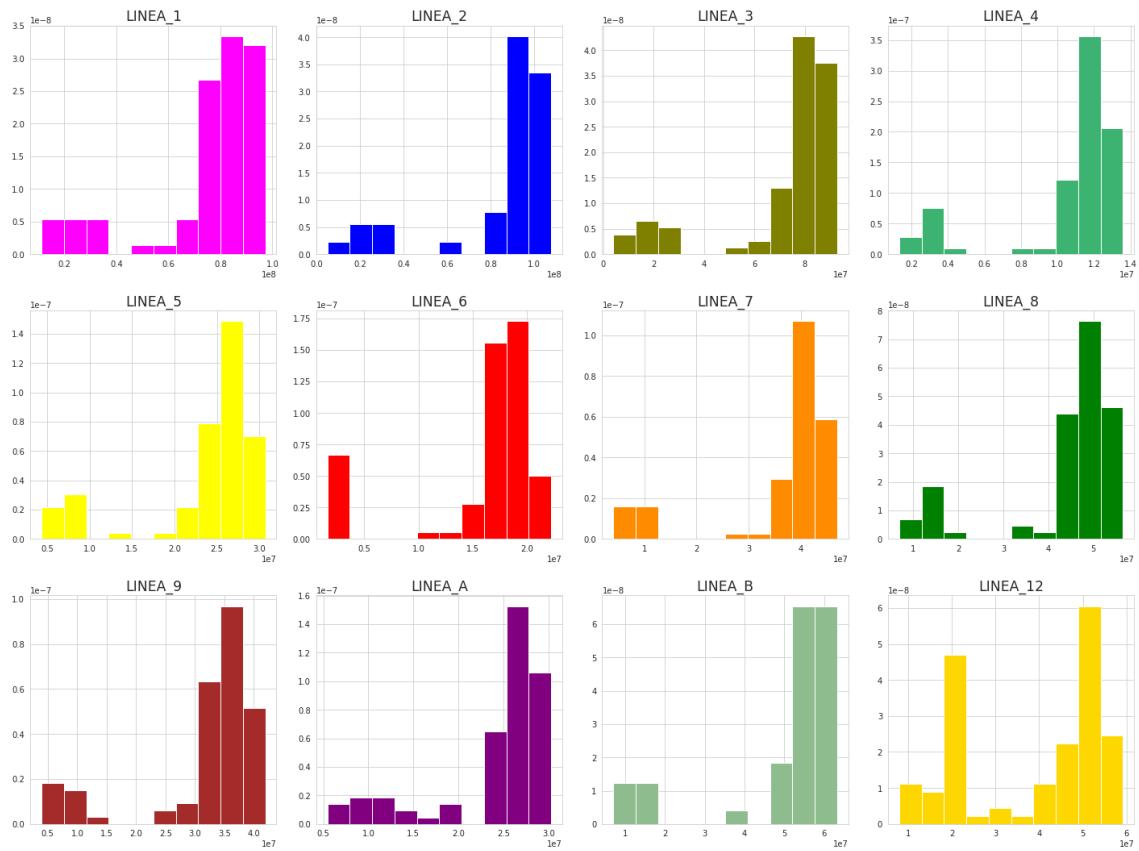


Figura 4.4: Histograma de Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2021

Además, se añade un sumario de algunos de los estadísticos principales para cada una de las líneas del Sistema Metro.

	min	mean	max
LINEA_1	11238554.00	75238565.61	97282430.00
LINEA_2	4986802.00	85076259.84	107977414.00
LINEA_3	4092135.00	71958006.94	92857397.00
LINEA_4	1324687.00	10608816.31	13586086.00
LINEA_5	4359239.00	23473284.05	30681419.00
LINEA_6	1611967.00	16107291.23	22232776.00
LINEA_7	4019015.00	36305370.59	47011474.00
LINEA_8	6856249.00	43638874.36	56578459.00
LINEA_9	3941455.00	31722523.61	41939377.00
LINEA_A	5459635.00	23870518.79	30311863.00
LINEA_B	7035130.00	49781565.74	63272754.00
LINEA_12	7898228.00	38619215.22	59213389.00

Figura 4.5: Sumario de Estadísticos para los Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2021

#### 4.2.2. Sin considerar la Contingencia Sanitaria

Ahora se presentan las series de los ingresos agregados mensuales para cada una de las líneas en el periodo de comprendido entre Enero del 2014 y Enero del 2020.

Para este caso, se tienen 72 observaciones.

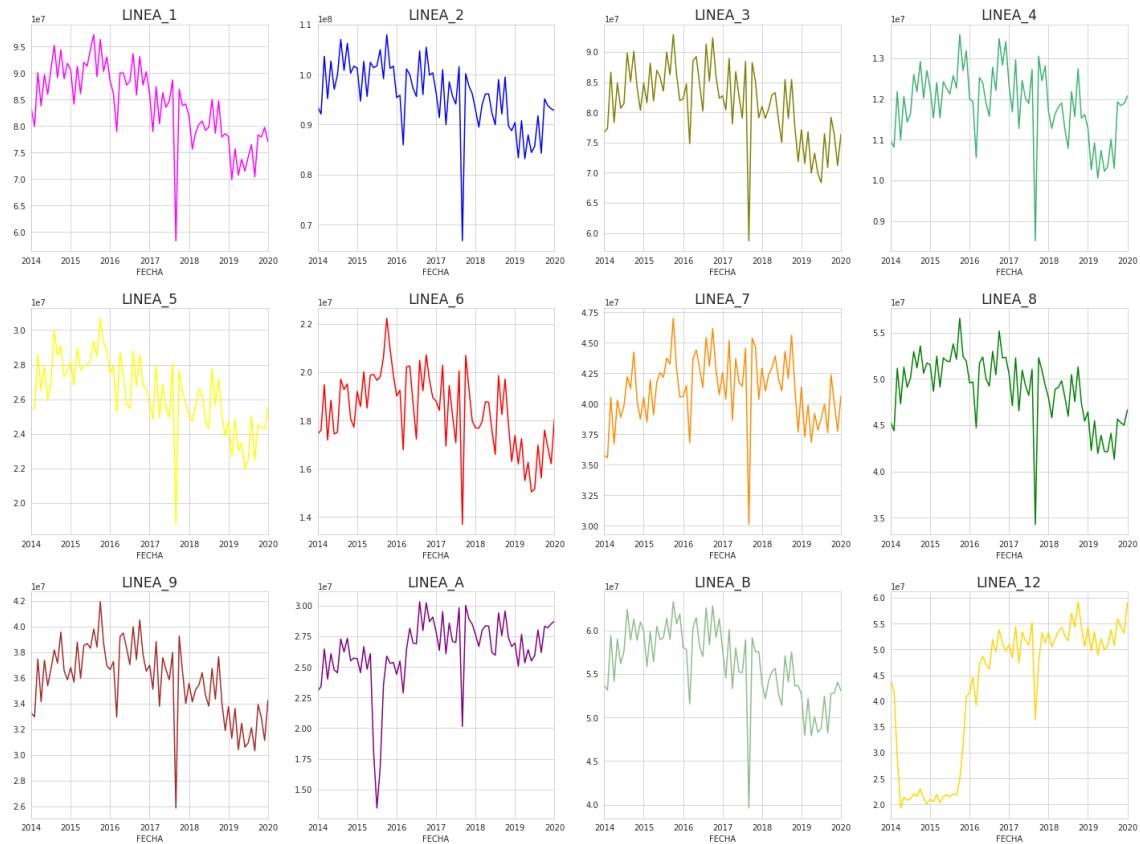


Figura 4.6: Serie de Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2020

También se presentan los Histogramas de los Ingresos agregados mensuales para cada una de las líneas del Sistema Metro.

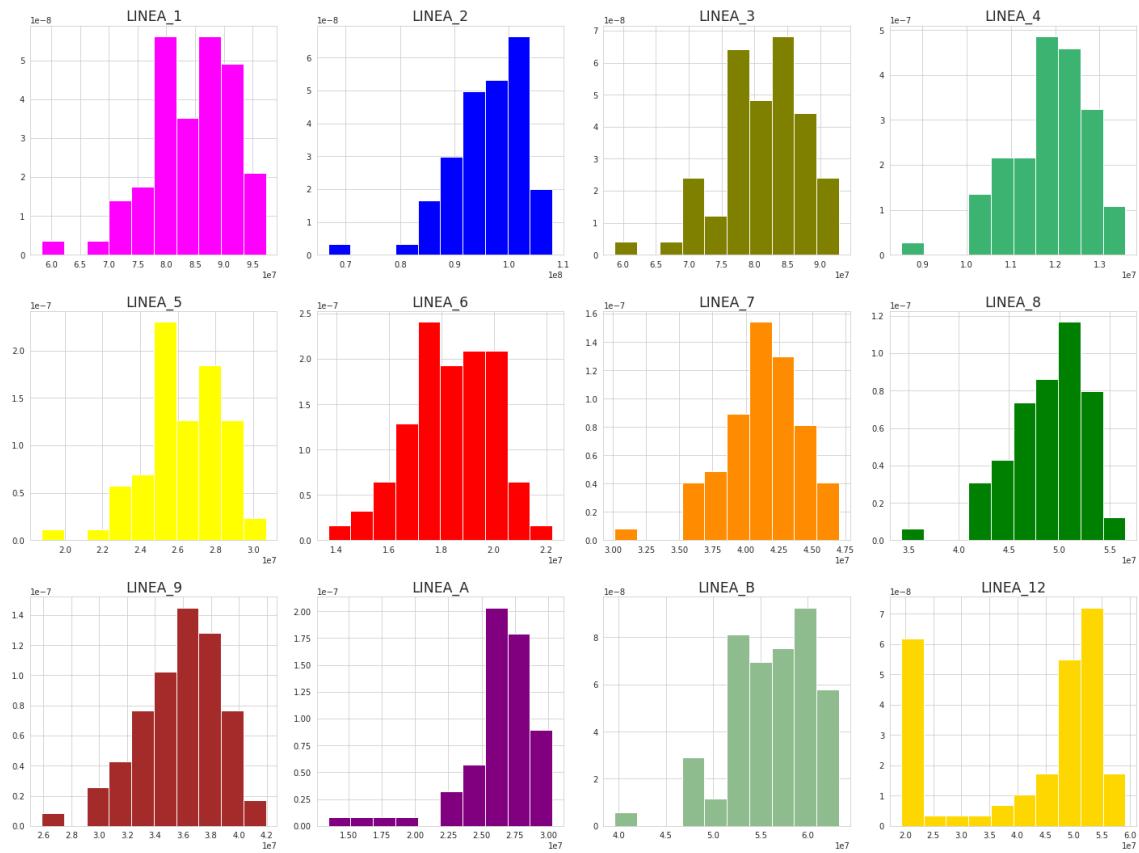


Figura 4.7: HIistograma de Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2020

Además, se añade un sumario de algunos de los estadísticos principales para cada una de las líneas del Sistema Metro.

	min	mean	max
LINEA_1	58314011.00	84175751.18	97282430.00
LINEA_2	66774685.00	95872833.03	107977414.00
LINEA_3	58727967.00	81388832.91	92857397.00
LINEA_4	8515161.00	11865502.74	13586086.00
LINEA_5	18767975.00	26312967.54	30681419.00
LINEA_6	13696595.00	18378810.08	22232776.00
LINEA_7	30123437.00	41144903.22	47011474.10
LINEA_8	34275321.00	48871448.42	56578459.00
LINEA_9	25867631.00	35794440.83	41939377.00
LINEA_A	13476970.10	26302056.35	30311863.00
LINEA_B	39603535.00	56166298.56	63272754.00
LINEA_12	19299665.69	42403439.58	59213389.00

Figura 4.8: Sumario de Estadísticos para los Ingresos Agregados Mensuales. 2014-2020

#### 4.2.3. Comparación de ambos escenarios

La siguiente figura resulta de restar los estadísticos considerados en las Figuras 4.5 y 4.8. Es decir, en la siguiente figura se concentran las diferencias en los ingresos mínimos, máximos, y medios mensuales.

Como era de esperarse, la diferencia en los ingresos máximos observados fue cero en el sentido de que ambas series coinciden en sus valores máximos.

Esto último se debe a que la pandemia afectó negativamente la movilidad. A esto se debe entonces que las diferencias entre los valores mínimos y valores medios de ambas sean positivas.

Es importante observar que esta diferencia se calculó como los estadísticos de la serie que no considera la pandemia menos los estadísticos de la serie que considera la contingencia sanitaria. De esto se sigue, que las medias para el escenario en que no se considera la pandemia son mayores que las medias del otro escenario.

	min	mean	max
LINEA_1	47075457.00	8937185.46	0.00
LINEA_2	61787883.00	10796573.15	0.00
LINEA_3	54635832.00	9430825.77	0.00
LINEA_4	7190474.00	1256686.32	0.00
LINEA_5	14408736.00	2839683.39	0.00
LINEA_6	12084628.00	2271518.81	0.00
LINEA_7	26104422.00	4839532.39	0.00
LINEA_8	27419072.00	5232574.01	0.00
LINEA_9	21926176.00	4071916.94	0.00
LINEA_A	8017335.00	2431537.32	0.00
LINEA_B	32568405.00	6384732.50	0.00
LINEA_12	11401436.00	3784223.96	0.00

Figura 4.9: Sumario de Diferencias en los Estadísticos para los Ingresos Agregados Mensuales en ambos escenarios.

### 4.3. Datos Finales

Hasta este punto hemos progresivamente definido cual será el conjunto de datos que utilizaremos para construir el modelo.

En resumen, utilizaremos los Ingresos Mensuales obtenidos por el Sistema de Transporte Colectivo Metro en el periodo comprendido entre el 1 de Enero de 2014 y el 31 de Enero de 2020.

Si bien, hasta este punto hemos mostrado un análisis exploratorio de las series para cada una de las

líneas del Sistema Metro, el modelo final se construirá sólo sobre la serie de los ingresos agregados de todas las líneas. Es decir, el ingreso mensual del Sistema de Transporte Colectivo Metro en su conjunto (esto resulta de la suma de los ingresos de todas las líneas en cada periodo de tiempo).

En seguida se muestra la serie de tiempo de los Ingresos Totales obtenidos por el Sistema de Transporte Colectivo Metro.

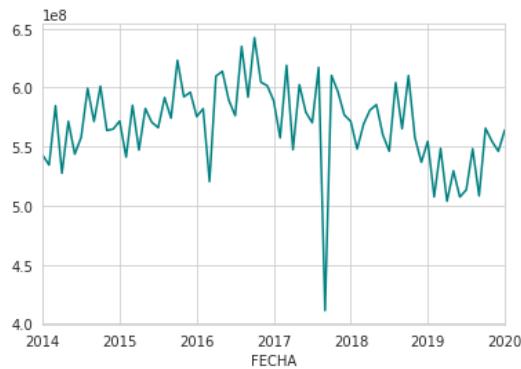


Figura 4.10: Serie Ingresos Totales obtenidos por el Sistema de Transporte Colectivo Metro. 2014-2020

Así como el el histograma de los Ingresos Totales.

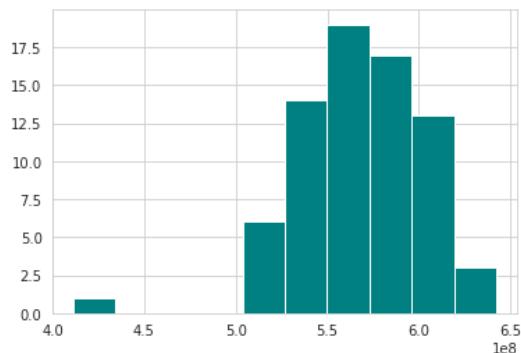


Figura 4.11: Histograma de los Ingresos Totales obtenidos por el Sistema de Transporte Colectivo Metro. 2014-2020

Finalmente, se tiene que los estadísticos principales para los Ingresos Totales del Sistema Metro son los siguientes:

**Mín:** \$411177702.00,  
**Media:** \$568677284.42,  
**Máx:** \$642396958.50.

## Capítulo 5

# Construcción y Evaluación del Modelo

El análisis de series de tiempo desempeña un papel importante en el pronóstico de eventos futuros. Siendo este un campo de estudio que ha crecido y ganado reconocimiento entre los estudiosos de la estadística, pues gracias al avance en la teoría detrás de las series de tiempo y la ayuda que ofrecen las herramientas computacionales para facilitar el análisis descriptivo de los datos además del cálculo numérico, nos dan la capacidad de encarar investigaciones de una mejor manera.

A lo largo de las siguientes páginas de este capítulo, describiremos el proceso que parte de la observación del comportamiento de la serie de tiempo que describe a nuestros datos, hasta el logro del objetivo primario de nuestro trabajo: contrastar los datos reales recolectados en la actual pandemia (2021) con los datos generados a partir de un modelo previamente construido y seleccionado.

## 5.1. La Serie

La serie comienza el primero de enero del 2014, día en el cual, como se mencionó en capítulos anteriores, se ajustó el precio del boleto y culmina el 31 de Enero del 2020, con una frecuencia de datos mensual por lo que se cuentan con 73 observaciones. La serie se mide en pesos, a partir del cálculo de los ingresos mensuales, es decir, la suma de las tarjetas, boletos, y recargas de cada una de las líneas.

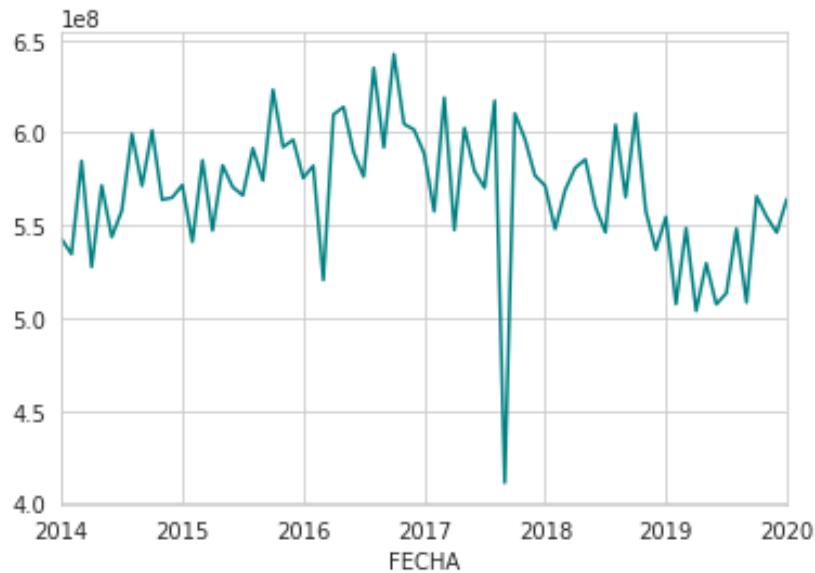


Figura 5.1: Serie Ingresos Totales obtenidos por el Sistema de Transporte Colectivo Metro. 2014-2020

Primero podemos observar la existencia de un outlier; este punto es el referente a septiembre del 2017. La causa de este punto ya fue expuesta en el capítulo 4 de este documento. La tendencia de la misma se mantiene notoriamente creciente hasta mediados del año 2016, después de esto su tendencia parece ser decreciente.

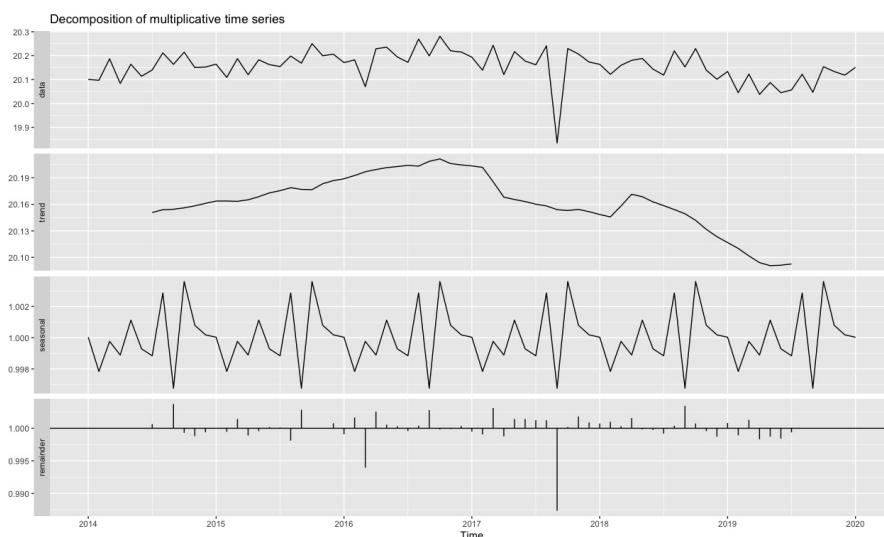


Figura 5.2: Descomposición de la serie de tiempo.

La serie también da indicios de que existe estacionariedad. Observación que tiene sentido en la medida en que el servicio de transporte disminuye su uso durante el periodo de vacaciones, en meses como Abril, Mayo, Junio, Julio, Septiembre y Diciembre.

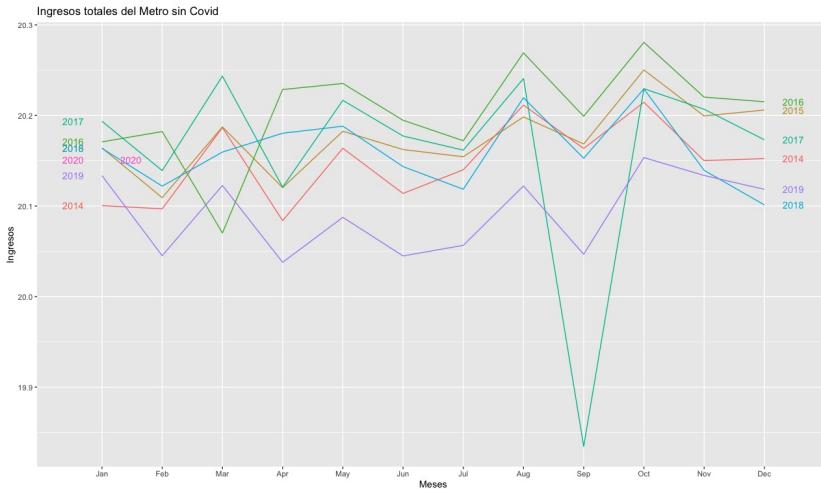


Figura 5.3: Serie de tiempo desglosada

## 5.2. Transformación de los Datos

Las transformaciones de series de tiempo se hacen con el objetivo de lograr mayor cumplimiento en las suposiciones de algunas técnicas estadísticas, normalidad, linealidad, homocedasticidad, etc.

Las series en las que la varianza cambia a lo largo del tiempo con frecuencia se pueden estabilizar con una transformación logarítmica natural o de raíz cuadrada. También reciben el nombre de transformaciones funcionales, de las cuales, aplicamos la función logaritmo.

La transformación que eliminará nuestra tendencia o que es lo mismo, induce estacionariedad en media es la diferenciación. Tomar una diferencia regular consiste en calcular la diferencia entre cada dato y el anterior.

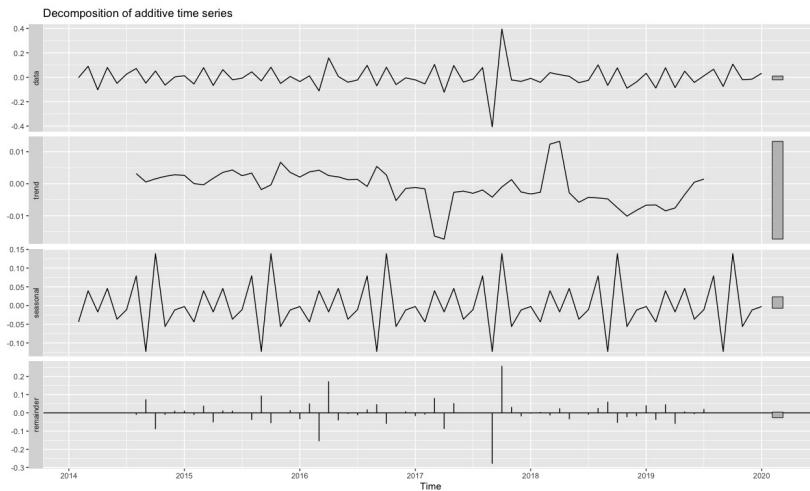


Figura 5.4: Descomposición de la serie de tiempo con transformaciones.

Podemos corroborar con la primer gráfica que efectivamente hemos logrado estabilizar la varianza y con la segunda de ellas que satisfactoriamente se disminuyó la tendencia.

En las siguientes gráficas se podrá notar el cambio en la media y la varianza de nuestros datos, donde la segunda gráfica representa el comportamiento obtenido al aplicar las transformaciones discutidas a lo largo de esta sección, resaltando así la importancia de estas transformaciones para lograr cumplir con los supuestos necesarios y de esta manera conseguir un modelo eficiente.

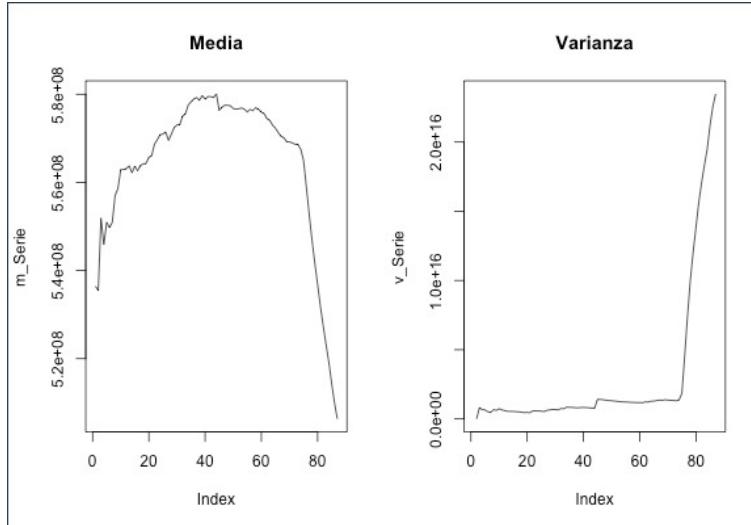


Figura 5.5: Media y varianza sin transformar los datos.

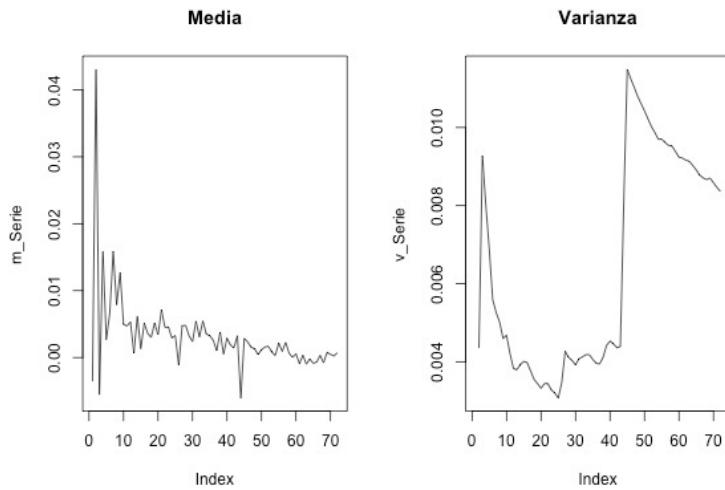


Figura 5.6: Media y varianza transformando los datos.

### 5.3. Pruebas de Estacionariedad

Como se dio a conocer en el primer párrafo de la sección anterior, es necesario cumplir con ciertos supuestos de los cuales parten la construcción del modelo. Cuando no es el caso, el primer requisito suele ser estacionariedad, lo cual se suele conseguir aplicando logaritmos para corregir heterocedasticidad, diferencias regulares para eliminar tendencia, diferencias estacionales para eliminar el componente estacional, etc.

Al haber realizado algunas de las transformaciones antes mencionadas, es necesario poder asegurar que nuestra serie cumple con el supuesto de estacionariedad. Por eso, se ha recurrido a la estadística no paramétrica. Especialmente a la prueba de Dickey-Fuller Aumentada, misma que elimina la

autocorrelación e indica si una serie es estacionaria o no; y la prueba de Phillips-Perron (PP), esta es una modificación de test de Dickey-Fuller que test corrige la autocorrelación y heterocedasticidad en los errores. A continuación se muestran los resultados de las pruebas realizadas:

```
Augmented Dickey-Fuller Test

data: diff(t)
Dickey-Fuller = -5.1512, Lag order = 4, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

Warning message:
In adf.test(diff(t)) : p-value smaller than printed p-value
```

Figura 5.7: Prueba Dickey Fuller

Como se puede observar, después de aplicar logaritmos y diferenciar la serie es ahora estacionaria: un p-valor de 0.01, indica que rechazamos la hipótesis nula de no estacionariedad.

```
Phillips-Perron Unit Root Test

data: diff(t)
Dickey-Fuller Z(alpha) = -105.2, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

Warning message:
In pp.test(diff(t), alternative = "stationary") :
  p-value smaller than printed p-value
```

Figura 5.8: Prueba Phillips Perron

Con este test, también se obtuvo un p-valor de 0.01. Por lo tanto, ambas pruebas concluyen el mismo resultado: tenemos evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa. Es decir, podemos afirmar que la serie es estacionaria.

## 5.4. El Modelo

Hasta este punto se han verificado los supuestos que la serie de tiempo debe cumplir para poder ajustarle un modelo. Es decir, se ha verificado su estacionariedad y homocedasticidad. Se procede entonces al ajuste y selección de modelos.

### 5.4.1. Proposición y Selección del Modelo

Para dar paso a esta sección, es necesario recordar un par de conceptos:

**Función Autocorrelación (ACF):** es una herramienta de análisis estadístico que nos permite estudiar el nivel de autocorrelación de los datos observados y k retardos (k observaciones pasadas). En otras palabras, es una función matemática que nos ayuda a estudiar la dependencia que tienen los datos de un período determinado con los mismos de k períodos anteriores.

**Función de Autocorrelación Parcial (PACF):** mide la correlación entre dos variables separadas por k periodos cuando no se considera la dependencia creada por los retardos intermedios existentes entre ambas, es decir, descontando los posibles efectos debidos a variables intermedias.

Una vez explicado lo anterior, partimos de analizar las gráficas de la función autocorrelación (ACF) y de autocorrelación parcial (PACF). Esto para evaluar y cuantificar la naturaleza y profundidad de la relación entre una observación y las observaciones que le anteceden en el tiempo.

De dicho proceso se obtienen los siguientes resultados.

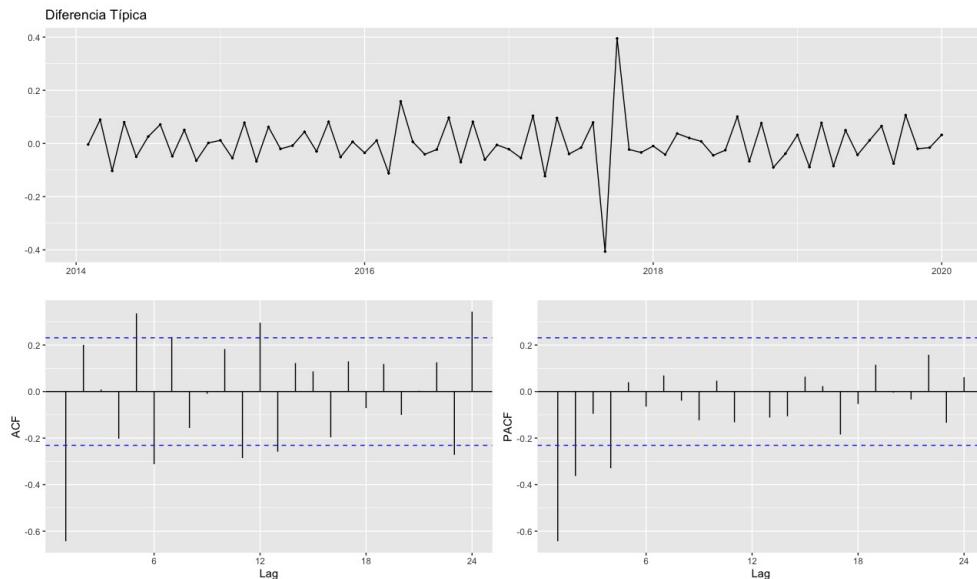


Figura 5.9: ACF y PACF

Observando los rezagos de la Función de Autorrelación (ACF) se obtiene que los primeros 21 podrían ser significativos. Por otro lado, de la observación de los rezagos en la Función de Autorrelación Parcial (PACF) se obtiene que los primeros 4 podrían ser significativos. Sin embargo, al realizar la prueba de significancia sobre estos se observa que el mejor caso a contemplar está dado por AR(2) y MA(3). Así el modelo final queda definido como un ARIMA\_2\_1\_3.

Posteriormente, observamos que, las gráficas de la Función de Autorrelación (ACF) y de la Función de Autorrelación Parcial (PACF). Se tiene que son decrecientemente infinitas, por lo que como prueba generamos el modelo SARIMA\_1\_1\_1\_12\_0\_12 básico para analizar su comportamiento y posiblemente poder realizar una mejora sobre nuestro primer modelo ARIMA. Para este modelo, efectivamente obtuvimos coeficientes con alta significancia. Además al quitarle los coeficientes de medias móviles el resto de estos mejora y se obtiene una periodicidad de 12 rezagos. Esto último nos lleva a seleccionar como modelo final un SARIMA\_2\_1\_3\_12\_0\_12.

	Estimador	Error Estándar	Valor de z	$Pr( z  <  z )$
ar1	-1.72325329	0.00996915	-172.8586	2.2e-16
ar2	-0.99986768	0.00043898	-2277.7135	2.2e-16
ma1	0.93522289	0.03998946	23.3867	2.2e-16
ma2	0.93522289	0.03998946	23.3867	2.2e-16
ma3	-0.35565483	0.1609527	-2.3301	0.01980
sar1	0.99491009	0.09165716	10.8547	2.2e-16
sma1	-0.97425426	0.23934807	-4.0704	4.692e-05

Como podemos notar, los p-values de la prueba, mostraron que todos los coeficientes son significativos con una confianza del 95 %; Al únicamente contar con el modelo ARIMA y SARIMA, como

se discutidos en los párrafos anteriores, la diferencia entre la significancia de los coeficientes de cada uno es muy notoria, por lo que, al ser una decisión clara, no es necesario realizar los criterios de Akaike ni Bayesiano.

### 5.4.2. Validación del Modelo

Finalmente, para la validación de nuestro modelo procederemos a realizar el análisis de residuales. En este se verifica que estos tengan un comportamiento similar al de un ruido blanco, es decir, que tengan media cero, varianza constante y que no exista correlación en ningún retraso (heterocedasticidad). Una forma de hacerlo es revisar se revisa que su distribución sea aproximadamente Normal ya que en ese caso se tendría la independencia con lo que se garantizaría que toda la información de los datos está reflejada en ellos, de lo contrario se realizaran test de ruido blanco.

Dicho lo anterior procedemos a revisar en un primer acercamiento nuestros residuales, analizando el histograma, no es difícil notar que de ninguna manera muestran normalidad en las observaciones.

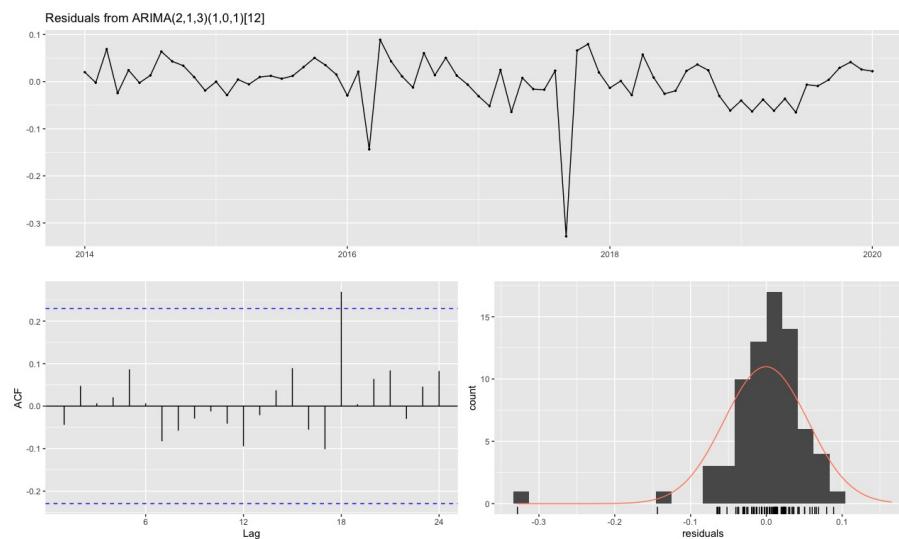


Figura 5.10: Histograma de los residuales

Por lo anterior, tendremos que realizar pruebas de estacionariedad, pues probar esto será de ayuda para la validación de nuestros supuestos mencionados anteriormente, las pruebas realizadas fueron la Prueba Dickey Fuller y la Prueba Phillips Perron, sus resultados y conclusiones se abordan a continuación.

```
Augmented Dickey-Fuller Test

data: resid
Dickey-Fuller = -3.2721, Lag order = 4, p-value = 0.08308
alternative hypothesis: stationary
```

Figura 5.11: Prueba Dickey-Fuller

```
Phillips-Perron Unit Root Test

data: resid
Dickey-Fuller Z(alpha) = -77.085, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

Figura 5.12: Prueba Phillips-Perron

Finalmente podemos ver que ambas pruebas concluyen el mismo resultado, tenemos evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa. Es decir, podemos afirmar que los residuos son estacionarios.

Ahora nos interesa analizar si estos residuos se comportan como ruido blanco. Para ello se recomienda llevar a cabo la prueba de autocorrelación de forma conjunta de Ljung-Box, la cual mostró los siguientes resultados.

```
Box-Ljung test

data: resid
X-squared = 0.099972, df = 1, p-value = 0.7519
```

Figura 5.13: Prueba de Ljung-Box

Con estos resultados podemos concluir que nuestros residuos son ruido blanco, finalizando con esta prueba el análisis referente a la validación de nuestro modelo, dando paso a la aplicación de este.

### 5.4.3. Aplicacion del Modelo

Una vez obtenido el modelo y comprobados sus supuestos de estacionariedad y homocedasticidad sobre los residuales, podemos entonces aplicar tal modelo a nuestra serie que comienza el 01-2014 y termina el 12-2019 para así poder comparar los datos reales con nuestra predicción. Ésta predicción se hará para 14 periodos.

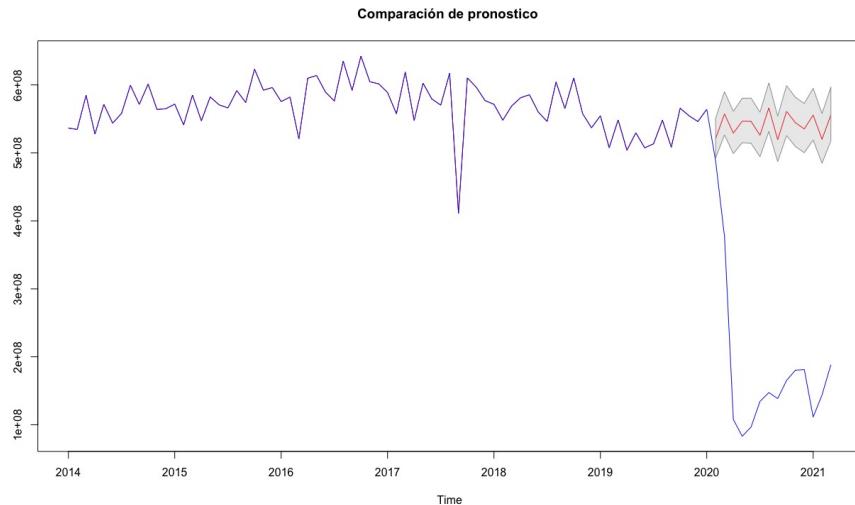


Figura 5.14: Pronóstico a 14 períodos

Hasta ahora ya poseemos información y resultados suficientes para poder continuar con el objetivo planteado al inicio del presente trabajo, pues ya con el modelo desarrollado y justificado en las páginas de este trabajo podemos proceder entonces a comparar los escenarios de lo ocurrido dada la contingencia sanitaria y el de la no ocurrencia de tal contingencia.

## 5.5. Comparación de Escenarios

En seguida, se presenta la comparación de ambos escenarios, se observará que la captación de ingresos del Sistema de Transporte Colectivo Metro como resultado de la pandemia ha sido verdaderamente mermada.

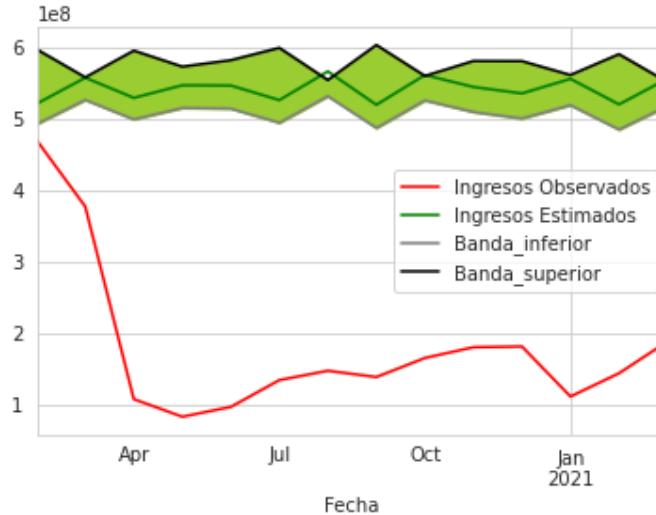


Figura 5.15: Comparación de Escenarios

Ahora se presenta el gráfico de las diferencias entre ambos escenarios.

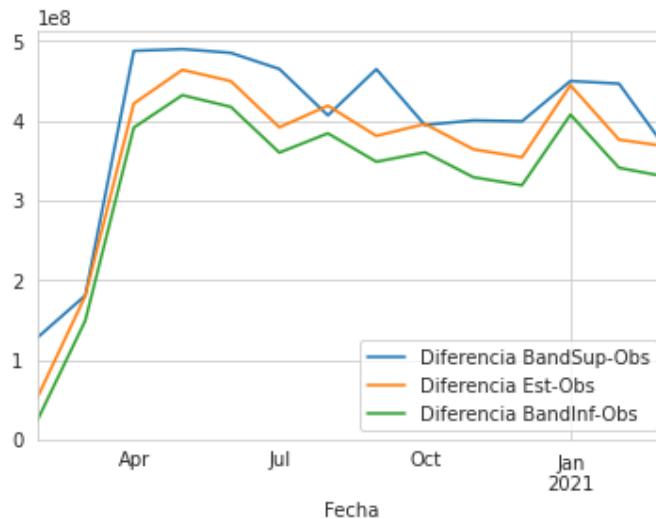


Figura 5.16: Diferencia entre Escenarios

Además, se presentan las diferencias acumuladas en el tiempo. En este último gráfico se apreciará la profundidad de las graves pérdidas sufridas por el Sistema Metro como resultado de la contingencia sanitaria.

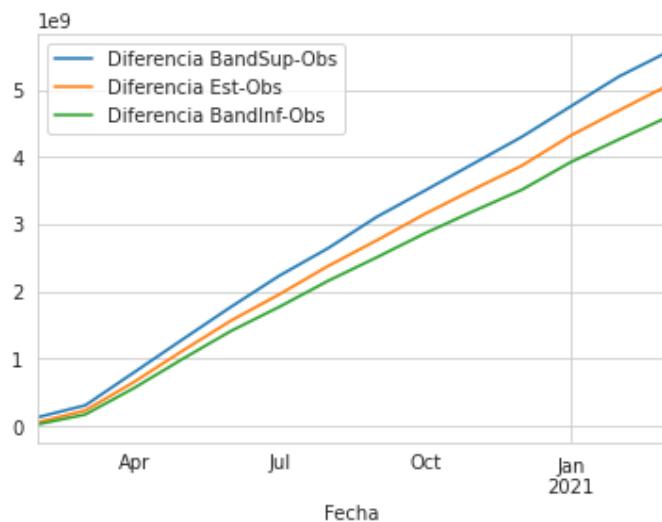


Figura 5.17: Diferencia Acumulada entre Escenarios

Finalmente, las pérdidas acumuladas estimadas al 1 de Junio del 2021 dadas por la diferencia entre las estimaciones y los valores observados son las siguientes:

**Diferencia Banda Superior - Ingresos Observados:** \$5,558,028,977.94  
**Diferencia Ingresos Estimados - Ingresos Observados:** \$5,058,697,248.86  
**Diferencia Banda Inferior - Ingresos Observados:** \$4,590,361,567.75

# Capítulo 6

## Conclusiones

Ahora que se conocen las pérdidas estimadas en los ingresos del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México como resultado de la contingencia sanitaria por la que el mundo aún atraviesa, es necesario poner tales pérdidas en contexto. Para tal fin, enlistamos en seguida los ingresos anuales recaudados por el Sistema Metro entre los años 2012-2020.

Año	Ingresos Totales
2012	\$4,463,971,819.97
2013	\$4,968,039,307.77
2014	\$6,763,679,176.35
2015	\$6,941,626,497.21
2016	\$7,143,216,975.34
2017	\$6,877,181,523.90
2018	\$6,835,859,192.00
2019	\$6,387,723,572.00
2020	\$2,663,881,014.00

Con base en la tabla anterior, la pérdida estimada en Ingresos del Sistema Metro es superior a los ingresos obtenidos por él en el año 2012 o en el año 2013, y de entre el 61% y el 73% de los ingresos del 2019. Es decir, las pérdidas sufridas por el Sistema Metro como resultado de la pandemia son análogas a las que se hubieran observado si durante entre 7.26 y 8.79 meses del 2019 ninguna línea hubiera prestado servicios. Esto sin considerar los costos de operación del Sistema Metro.

Las pérdidas acumuladas estimadas del Sistema Metro ascienden a un monto igual a la mitad del presupuesto del INE para el ejercicio del 2020, casi de un tercio del presupuesto anual total del Politécnico Nacional, y de casi un tercio del presupuesto anual 2019 del CONACyT.

Hemos entonces verificado la hipótesis del proyecto: que las afectaciones monterarias al Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México son amplias y graves y hemos también cumplido con el objetivo del mismo: estudiar la profundidad de estas pérdidas. Concluimos que la contingencia sanitaria ha tenido efectos negativos duraderos y probablemente irreperables, al menos en el corto y mediano plazo, sobre el medio de transporte por excelencia para los habitantes de la capital del país.

Es importante resaltar que estos resultados no sólo permiten dimensionar la pérdida monetaria sufrida por el Sistema Metro de la Ciudad de México sino que además arrojan luz sobre las afectaciones a la movilidad de los habitantes de esta ciudad en su conjunto en la medida en que el metro es representativo entre los demás medios de transporte.

Por último, agradecemos al profesor a cargo de la materia quien se ha esforzado en demasía para que la actuación de los alumnos sea de excelencia durante el presente trabajo escolar.

Esperamos que la revisión de este proyecto sirva al lector para ayudarle a entender las consecuencias de la contingencia sanitaria sobre la movilidad de los ciudadanos en la ciudad.

# Capítulo 7

## Referencias

- [1] Cheung, Y.-W., & Lai, K. S. (1995). Lag order and critical values of the augmented Dickey–Fuller test. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 277–280.
- [2] Phillips, P. C. B.; Perron, P. (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression" (PDF). *Biometrika*. 75 (2): 335–346. doi:10.1093/biomet/75.2.335.
- [3] Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). *Introduction to time series and forecasting*. Springer.
- [4] Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton: Princeton university press.
- [5] Instituto Mexicano del Transporte. (2020, mayo 27). Impacto del COVID-19 en el transporte público. gob.mx. <https://www.gob.mx/imt/articulos/impacto-del-covid-19-en-el-transporte-publico>.
- [6] Zhang, Z. (2020). Time series: a data analysis approach using R. In *Journal of Quality Technology*.
- [7] Pública, A. D. D. I. (2021, 12 mayo). Portal de Datos Abiertos de la CDMX. Datos CDMX. <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/ingresos-del-sistema-de-transporte-colectivo-metro>.
- [8] INE. (2020, 8 diciembre). Ajusta INE presupuesto para 2021 tras reducción ordenada por la Cámara de Diputados. Central Electoral. <https://centralectoral.ine.mx/2020/12/07/ajusta-ine-presupuesto-para-2021-tras-reduccion-ordenada-por-la-camara-de-diputados/> [Consulta 3 June 2021].
- [9] (2020, 29 mayo). Guía para el control y ejercicio del presupuesto 2020. 1st ed. [ebook] CDMX: Instituto Politécnico Nacional. //www.citethisforme.com/es/cite/ebook [Consulta 3 June 2021].
- [10] ts: Time-Series Objects. Recuperado 26 de mayo de 2021, de rdocumentation.org website: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/ts>.
- [11] arima: ARIMA Modelling of Time Series. Recuperado 31 de mayo de 2021, de rdocumentation.org website: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/arima>.