



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

“Impacto de las Medidas de Restricción en la Movilidad Urbana de la Región Metropolitana durante la Pandemia de COVID-19”

POR: VICTOR NICOLAS ORTIZ REMENTERIA

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo para optar al grado académico de Magíster en Data Science

PROFESOR GUÍA:

MAURICIO RENE HERRERA MARIN

Noviembre 2023

SANTIAGO DE CHILE

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al profesor guía, don Mauricio Herrera, cuya orientación fue fundamental para la realización exitosa de mi proyecto de investigación sobre el Covid-19. Bajo su tutela, encontré la dirección adecuada para dar coherencia y significado a la gran cantidad de datos que pude encontrar en mi investigación. Gracias a su guía, pude identificar los modelos más apropiados que debía implementar en mi estudio, lo cual fue esencial para el desarrollo y precisión de mi investigación. Con su apoyo, logré identificar las hipótesis iniciales del tratamiento de la pandemia, trazando su evolución y desarrollo en nuestro país, extrayendo conclusiones significativas, sobre el éxito o no de las medidas de restricción del gobierno de turno. Gracias a su colaboración, no solo identificamos errores, sino que también vislumbramos posibles mejoras para enfrentar futuras pandemias. Su mentoría ha sido de gran ayuda, no solo para comprender el tema que estaba tratando, sino que para reflexionar cómo podemos mejorar de cara al futuro. Agradezco profundamente su orientación constante en este importante viaje de aprendizaje e investigación.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 5 |
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| TRABAJO RELACIONADO | 7 |
| 1. Contexto Global del COVID-19 | 7 |
| 2. Impacto en Chile | 7 |
| 3. Región Metropolitana de Santiago de Chile como Caso de Estudio | 8 |
| 4. Impacto en la Movilidad y el Transporte Público | 8 |
| 4.2 Reducción de la Movilidad Urbana | 8 |
| 4.3 Riesgos Asociados al Transporte Público | 9 |
| 5. Efecto de las Restricciones en Otras Regiones | 10 |
| 5.2 Efectividad de las Cuarentenas | 10 |
| HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 11 |
| 6. Objetivo General | 12 |
| 6.2 Análisis del Impacto de las Restricciones de Movilidad en la Propagación del COVID-19 en la Región Metropolitana de Chile | 12 |
| 7. Objetivos Específicos | 13 |
| 7.2 Evaluación del Transporte Público | 13 |
| 7.3 Investigar Otras Variables | 13 |
| DATOS Y METODOLOGÍA | 14 |
| 8. Datos | 14 |
| 8.2 Datos epidemiológicos | 14 |
| 8.3 Datos referentes a Índices de movilidad | 14 |
| 8.4 Datos referentes a movilidad en el transporte público Metropolitano | 15 |
| 8.5 Datos de medidas de restricción | 15 |
| 9. Metodología | 16 |
| 9.2 Análisis estadístico | 16 |
| 9.3 Modelos utilizados | 17 |
| RESULTADOS | 18 |
| 10. Hallazgos Principales | 18 |
| 10.2 Evolución del virus SARS-CoV-2 a lo largo del tiempo en Santiago | 18 |
| 10.3 Mapa Coroplético de tres periodos distintos de la pandemia en Chile | 19 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 10.4 | <i>Movilidad y propagación del virus</i> | 23 |
| 10.5 | <i>Análisis de Segregación en la RM mediante Clústeres</i> | 27 |
| 10.6 | <i>Relación entre la Movilidad y el Incremento de la tasa de contagio</i> | 32 |
| 10.7 | <i>Análisis comparativo de movilidad externa para cada clúster durante la pandemia</i> 36 | |
| 10.8 | <i>Análisis comparativo de movilidad interna para cada clúster durante la pandemia</i> 37 | |
| 10.9 | <i>Análisis comparativo de Casos en cada clúster durante la pandemia</i> | 39 |
| 10.10 | <i>Analizando la correspondencia entre los datos reales de casos de COVID-19 y las predicciones generadas por el modelo “Prophet”</i> | 40 |
| | CONCLUSIONES | 43 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 44 |

RESUMEN

El estudio examina la dinámica de la pandemia del COVID-19 en la Región Metropolitana, usando análisis de series temporales, pruebas de hipótesis y modelos estadísticos. Se divide la ciudad en tres clústeres de comunas para comprender cómo la pandemia afecta a áreas con distintos perfiles socioeconómicos. Los hallazgos revelan la conexión inicial del virus con viajes internacionales, cambios en la concentración de casos hacia comunas de menor ingreso, y la disminución en la efectividad de las medidas generales de restricción. Se identifican áreas para futuras investigaciones y se destaca la importancia de considerar las particularidades de cada comunidad para abordar futuras crisis sanitarias.

INTRODUCCIÓN

La pandemia del COVID-19, desencadenada por el virus SARS-CoV-2, ha generado un impacto sin precedentes a nivel mundial, trastocando no solo la salud pública, sino también la economía, la estructura social y la cotidianidad de las personas.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en analizar detalladamente la dinámica de esta pandemia en la Región Metropolitana de Santiago.

Desde su origen en Wuhan, China, la propagación del virus se ha expandido de manera global, afectando a millones de personas en todo el mundo.

En Chile, el primer caso de COVID-19 fue registrado el 3 de marzo de 2020, marcando el inicio de una serie de medidas gubernamentales para contener la propagación del virus. Estas medidas, como cierres de fronteras, restricciones de viaje y cuarentenas obligatorias, fueron implementadas con el objetivo de reducir la transmisión del virus y proteger la salud de la población.

La Región Metropolitana, epicentro económico y social de Chile, se convirtió en un foco importante de atención debido a su densidad poblacional y diversidad socioeconómica. Para entender la compleja dinámica de la pandemia en esta región, se aplicaron diversas herramientas estadísticas, incluyendo análisis de series temporales, pruebas de hipótesis y modelos de regularización. Además, se optó por segmentar la ciudad en tres grandes bloques de comunas, reconociendo las diferencias y particularidades de cada área en la propagación y efectos del virus.

El estudio aborda aspectos clave, como el origen del virus vinculado a viajes internacionales, los cambios en la dinámica de propagación del virus, y la efectividad de las medidas de restricción implementadas.

Estos hallazgos son cruciales para comprender la dinámica de la pandemia en ciudades con diferencias socioeconómicas tan grandes como la nuestras, y sirven como base para futuras estrategias de control sanitario.

TRABAJO RELACIONADO

1. Contexto Global del COVID-19

La enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19), causada por el virus SARS-CoV-2, emergió en China como informa la (Organización Mundial de la Salud, 2022) "El 30 de diciembre de 2019, la OMS recibió las primeras alertas de casos de una neumonía de etiología desconocida en Wuhan (China)", y rápidamente se transformó en una pandemia global, afectando a millones de personas en todo el mundo. Esta crisis sanitaria sin precedentes ha tenido efectos devastadores, no solo en la salud pública, sino también en la economía, la estructura social y la vida cotidiana de las personas. La transmisión del virus, principalmente a través de gotas respiratorias y el contacto con superficies contaminadas, llevó a la implementación de diversas medidas para contener su propagación, como el distanciamiento social, el uso de mascarillas y las cuarentenas.

2. Impacto en Chile

En Chile, el primer caso de COVID-19 se registró el 3 de marzo de 2020, como se evidencia en un informe publicado por la (Universidad de Chile, 2021):

El martes tres de marzo del 2020 el Ministerio de Salud, con Jaime Mañalich a la cabeza, confirmó el primer caso de COVID-19 en Chile. Un joven de 33 años proveniente de un vuelo de Singapur fue el primer PCR positivo de un virus que se estaba expandiendo a gran velocidad en todo el mundo e hizo lo mismo en las 16 regiones chilenas. Luego, el 18 del mismo mes, el presidente Sebastián Piñera anunció el Estado de Catástrofe y un estricto toque de queda por 90 días.

El mandatario comentó, como informa (BBC News Mundo, 2020) "El estado de excepción tiene como objetivo anticiparnos, prepararnos, para las etapas que vienen en esta pandemia que es el coronavirus", explicó el presidente Piñera.

Esto desencadenó una serie de medidas adoptadas por el gobierno para controlar la propagación del virus.

Se implementaron medidas como el cierre de fronteras desde enero de 2020 y cuarentenas, alineadas con restricciones globales de viaje (Ministerio de Salud, 2021) (Organización Internacional para las migraciones, 2021).

El "Plan Paso a Paso", introducido en abril de 2020 y modificado con el "Pase de Movilidad" en julio de 2021, estableció etapas basadas en indicadores epidemiológicos (Bobadilla, 2021).

El uso obligatorio de mascarillas se implementó en Chile desde abril de 2020, extendiéndose a espacios públicos y cerrados con sanciones por incumplimiento (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

3. Región Metropolitana de Santiago de Chile como Caso de Estudio

La Región Metropolitana de Santiago, es una de las metrópolis más grandes de América Latina. Tiene una población de 7.112.808 habitantes (Censo, 2017), lo que representa aproximadamente el 40% de la población del país, con una alta densidad de 461,77 habitantes por kilómetro cuadrado (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile). Está compuesta por 34 comunas interdependientes, donde la movilidad, especialmente el uso del transporte público, desempeña un papel vital en la vida diaria de los habitantes de la región. Sin embargo, con la llegada de la pandemia, esta movilidad se vio profundamente afectada.

La necesidad de comprender la relación entre la movilidad, las medidas de restricción y la propagación del virus en un entorno urbano tan dinámico es crucial. Este estudio se enfoca en analizar cómo la pandemia y las políticas gubernamentales afectaron la movilidad y el uso del transporte público en la Región Metropolitana, y cómo estos cambios se correlacionan con la propagación del COVID-19.

4. Impacto en la Movilidad y el Transporte Público

La pandemia de COVID-19 ha provocado una transformación sin precedentes en los patrones de movilidad y el uso del transporte público a nivel global.

Este enfoque se centra en analizar la reducción de la movilidad urbana y los riesgos asociados al transporte público.

4.2 Reducción de la Movilidad Urbana

La movilidad urbana en el país ha seguido una tendencia a la baja debido a la pandemia del COVID-19, incluso un año después de su inicio, como lo expone el informe del (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2020). La implementación de estados de cuarentena, vigentes en 50 comunas del país, ha generado una reducción significativa en la demanda de pasajeros en el transporte público metropolitano, así como en el flujo vehicular en la capital.

Según el balance presentado por la Ministra de Transportes y Telecomunicaciones, Gloria Hutt, durante el reporte diario de la pandemia en La Moneda, la demanda de pasajeros en el transporte público metropolitano ha disminuido en un 84%, mientras que el flujo vehicular en la capital se ha reducido en un 59% debido a la aplicación de estados de cuarentena.

La Ministra señaló que, en el sistema de transporte público capitalino, que incluye buses, Metro y Tren Central, las validaciones entre marzo y junio de este año han registrado una disminución del 84% en comparación con el promedio del año anterior.

El Metro es el medio que ha experimentado la mayor disminución, alcanzando un 86%, seguido por los buses con un 82%, y el Tren Central con un 77%.

Además, un estudio sobre China publicado en Science, llamado, (The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China, 2020), examinó el impacto de las restricciones de viaje en la propagación del COVID-19 desde Wuhan y su relación con la movilidad humana. Se evidenció que las restricciones de viaje, implementadas alrededor del Año Nuevo Lunar, redujeron drásticamente la movilidad de individuos desde Wuhan, limitando así la propagación del virus hacia otras regiones de China. Se observó una disminución en los casos importados de Wuhan antes del establecimiento de las restricciones, lo que sugiere que estos casos contribuyeron al inicio de cadenas locales de transmisión en provincias vecinas y distantes. Además, se demostró que, tras la implementación de medidas de control a nivel nacional, la tasa de crecimiento de la epidemia se redujo, indicando una mitigación exitosa de la transmisión del virus. Aunque se reconoce la importancia de las pruebas de laboratorio durante esta etapa inicial, el estudio destaca que la movilidad humana desde Wuhan fue el principal factor impulsor de la propagación del virus antes de las restricciones, subrayando la necesidad de datos moleculares y serológicos a gran escala para comprender mejor el impacto preciso de la movilidad humana en comparación con otros factores.

4.3 Riesgos Asociados al Transporte Público

Un estudio de Corea del Sur, publicado en Science, llamado, (Safe traveling in public transport amid COVID-19, 2021), se centra en los riesgos del transporte público durante la pandemia de COVID-19 en este país. Descubrieron que el uso de mascarillas y mantener la distancia reducen significativamente la propagación del virus en este entorno.

Utilizaron datos de tarjetas inteligentes para rastrear los movimientos de pasajeros infectados y modelaron cómo se propaga el virus en el transporte público.

Encontraron que el uso combinado de mascarillas y distanciamiento social puede reducir drásticamente la exposición al virus, especialmente en horas de mayor demanda.

Concluyeron que estas medidas son cruciales para controlar la propagación del COVID-19 en entornos de alta movilidad como el transporte público.

5. Efecto de las Restricciones en Otras Regiones

Las medidas restrictivas implementadas para controlar la propagación del COVID-19 han variado ampliamente en su naturaleza y efectividad en diferentes regiones del mundo.

5.2 Efectividad de las Cuarentenas

La efectividad de las cuarentenas, especialmente en el caso de Nueva Zelanda, se evidencia en un estudio expuesto por la New Zealand Medical Journal, llamado, (Keeping up with COVID: identification of New Zealand's earliest known cluster of COVID-19 cases, 2021), revela la detección de un grupo infectado en febrero de 2020. Este grupo, a pesar de no haber sido inicialmente identificado, no generó casos adicionales durante septiembre de 2020. Esta situación resalta cómo las estrategias de salud pública, incluyendo el aislamiento y seguimiento de contactos, fueron efectivas para contener la propagación del virus.

El artículo subraya la rápida implementación de un cierre a nivel nacional por parte del gobierno neozelandés en marzo de 2020, una acción contundente que limitó el movimiento de personas y evitó la transmisión comunitaria del virus durante 102 días. Este caso ilustra la eficacia de medidas proactivas y drásticas en la prevención de la propagación del COVID-19.

En resumen, el estudio proporciona evidencia sólida sobre cómo las cuarentenas y los cierres tempranos, junto con el aislamiento de contactos y el seguimiento riguroso, fueron fundamentales para prevenir la propagación y eliminar la transmisión comunitaria del virus en Nueva Zelanda. Este caso destaca la importancia de tomar medidas rápidas y decisivas para contener la propagación del COVID-19.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La pandemia de COVID-19 ha creado un escenario singular que permite investigar la compleja interacción entre diversos factores en la propagación del virus SARS-CoV-2, incluyendo el papel del transporte público. Este estudio se centra en comprender cómo la dinámica de movilidad en la Región Metropolitana, en conjunto con variables socioeconómicas y demográficas específicas de cada comuna, ha impactado la propagación del virus durante y después de la implementación de medidas restrictivas.

Se postula que la interrelación entre variables como el ingreso per cápita, el índice de movilidad interno y externo, la composición promedio de personas por hogar, la cantidad de inmigrantes, el número de hogares en condiciones de hacinamiento y el índice de precariedad de vivienda, en conjunción con los cambios en la movilidad urbana debido a las restricciones impuestas, han desempeñado un papel significativo en la propagación del virus en diferentes áreas metropolitanas.

Se espera demostrar que la variación en estas variables socioeconómicas y demográficas, junto con la dinámica de movilidad urbana, ha sido un factor determinante en la tasa de infección por COVID-19. Además, se anticipa que ciertas comunas han experimentado un impacto diferencial en la propagación del virus debido a la interacción compleja entre estas variables.

Esta investigación busca no solo comprender cómo la movilidad en el transporte público ha influido en la propagación del virus, sino también identificar cómo estas variables socioeconómicas y demográficas específicas han interactuado para modular la dinámica de infección en la Región Metropolitana, aportando así a estrategias más eficaces para abordar situaciones similares en el futuro.

6. Objetivo General

6.2 Análisis del Impacto de las Restricciones de Movilidad en la Propagación del COVID-19 en la Región Metropolitana de Chile

El objetivo principal de este estudio es comprender y cuantificar el impacto que han tenido las medidas de restricción de movilidad en la propagación del COVID-19 en la Región Metropolitana de Chile. Este análisis se centrará en evaluar cómo las diferentes fases de restricción, implementadas como respuesta a la pandemia, han afectado tanto los patrones de movilidad, especialmente en lo que respecta al uso del transporte público, como las tasas de infección del virus en la región.

Este objetivo se desglosa en varios aspectos clave:

Evaluación Cuantitativa

1. Realizar un análisis cuantitativo del cambio en los patrones de movilidad en la región, utilizando datos de transporte público.

Correlación con Tasas de Infección

2. Establecer correlaciones entre los cambios en la movilidad y las tasas de infección de COVID-19, para entender cómo las restricciones han influido en la dinámica de la pandemia.

Comparación Temporal

3. Comparar las tendencias de movilidad y tasas de infección antes, durante y después de las restricciones, proporcionando una visión integral del impacto de estas medidas.

Análisis Contextual

4. Situar los hallazgos dentro del contexto más amplio de la respuesta a la pandemia en Chile, considerando factores como las políticas gubernamentales y la respuesta social a las restricciones.

Este objetivo general guiará el enfoque del estudio, asegurando que se aborde de manera exhaustiva cómo las intervenciones dirigidas a limitar la movilidad han impactado la evolución de la pandemia en las distintas comunas de la capital.

7. Objetivos Específicos

7.2 Evaluación del Transporte Público

Analizar los Cambios en el Uso del Transporte Público

Este objetivo se centra en examinar de manera detallada y cuantitativa los cambios en los patrones de uso del transporte público en la Región Metropolitana de Chile antes, durante y después de las medidas de restricción. Esto incluye:

- ✓ Análisis Comparativo

Comparar los niveles de uso del transporte público en diferentes fases de la pandemia para comprender cómo las restricciones impactaron directamente en la movilidad urbana.

- ✓ Identificación de Tendencias

Identificar patrones emergentes, como la variación en la demanda de transporte público en dos escenarios distintos, en marzo del 2020 y en noviembre del 2020.

7.3 Investigar Otras Variables

Este objetivo se enfoca en explorar factores adicionales que podrían jugar un papel crucial en la propagación del virus una vez que las restricciones han sido levantadas, o han dejado de ser variables importantes de análisis, estas pueden ser:

- ✓ Análisis Multifactorial

Examinar factores más allá de la movilidad, como el ingreso per cápita, personas por hogar, índice de hacinamiento, migrantes, etc.

DATOS Y METODOLOGÍA

8. Datos

8.2 Datos epidemiológicos

Empleamos datos epidemiológicos provenientes de distintas fuentes durante la pandemia. Utilizamos conjuntos de datos del Ministerio de Ciencias, que abarcaban información como Casos Únicos, Casos Totales por Región y Comuna, obtenidos de diversas fuentes (1; 2; 3). Además, complementamos nuestro análisis con datos socioeconómicos, incluyendo índices de movilidad, ingreso per cápita por comuna, tasas de casos totales, datos poblacionales, información sobre inmigrantes, índices de precariedad de la vivienda y el total de hacinamiento por hogar (1; 2; 3). También incorporamos información del Censo 2017 para la Región Metropolitana de Santiago (4).

(1). Ministerio de Ciencias. (2021a). Datos Covid-19 [Conjunto de datos]. Repositorio de Datos COVID-19 en Chile. Recuperado de <https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19/tree/master/output/producto33>

(2). Ministerio de Ciencias. (2021b). COVID-19 data, Ministry of Sciences of Chile. Recuperado de <https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19/blob/master/output/producto1/Covid-19.csv>

(3). Ministerio de Ciencias. (2021c). Mobility and COVID-19 Data. Recuperado de <https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19/tree/master/output/producto33> (accedido el 26 de abril de 2021)

(4). Censo 2017. (2017). Resultados del censo 2017 - Región Metropolitana de Santiago. Recuperado de <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>

8.3 Datos referentes a Índices de movilidad

Utilizamos datos de movilidad disponibles públicamente, obtenidos de los índices de geolocalización registrados por la red de antenas de telefonía celular de la empresa Telefónica (1). Se utilizaron dos índices: el Índice de Movilidad Interna y el Índice de Movilidad Externa. El Índice de Movilidad Interna mide los desplazamientos (se considera un desplazamiento el paso de una antena a otra) solo dentro de una comuna. Corresponde a la cantidad de desplazamientos (transiciones de antenas) realizados dentro de una comuna específica, normalizados por el número de dispositivos (teléfonos celulares) residentes en la comuna. El Índice de Movilidad Externa, por su parte, estima los desplazamientos de usuarios que cruzan la frontera de la comuna. Por lo tanto, el Índice de Movilidad Externa para la comuna A es el número de desplazamientos que entran o salen de A, normalizado

por el número de dispositivos en A. La suma de estos dos índices se denomina Índice de Movilidad.

(1). Ministerio de Ciencias. (2021). Datos Covid-19 [Conjunto de datos]. Repositorio de Datos COVID-19 en Chile. Recuperado de <https://github.com/vitoortiz/Datos-COVID19/tree/master/output/producto33>

8.4 Datos referentes a movilidad en el transporte público Metropolitano

Se obtuvieron datos referentes a las matrices de viajes del Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) para Marzo (1) y Noviembre (2).

Estos conjuntos de datos proporcionaron información detallada sobre la movilidad en el transporte público metropolitano durante esos periodos.

(1). Directorio de Transporte Público Metropolitano. (marzo 2020). Viajes laborales [Conjunto de datos]. Recuperado de https://www.dtpm.cl/descargas/modelos_y_matrices/viajes202003_laboral_transparencia.zip

(2). Directorio de Transporte Público Metropolitano. (noviembre 2020). Viajes laborales [Conjunto de datos]. Recuperado de https://www.dtpm.cl/descargas/modelos_y_matrices/nov21/viajes202011_transparencia_9a15.zip

8.5 Datos de medidas de restricción

Los datos referentes a las medidas de restricción, fueron obtenidos del Plan de Acción del Gobierno de Chile para el COVID-19 (1).

Los detalles acerca de las medidas gubernamentales implementadas en Chile (confinamientos, cierres de fronteras, distanciamiento social, etc.). Este conjunto de datos brinda una visión detallada de las restricciones aplicadas a lo largo del tiempo durante la pandemia en la Región Metropolitana de Santiago.

(1). Ministerio de Ciencias. (2021). Datos Covid-19 [Conjunto de datos]. Repositorio de Datos COVID-19 en Chile. Recuperado de <https://github.com/vitoortiz/Datos-COVID19/tree/master/output/producto29>

9. Metodología

9.2 Análisis estadístico

Se aplicaron diversas herramientas estadísticas para comprender la dinámica de la pandemia:

✓ **Análisis de Series Temporales:**

Se realizó un estudio exhaustivo de los patrones a lo largo del tiempo, identificando tendencias y cambios significativos en la evolución de los casos de COVID-19 y en variables socioeconómicas relevantes.

✓ **Pruebas de Hipótesis:**

Se llevaron a cabo pruebas estadísticas para evaluar diferencias significativas, como la incidencia de casos en distintas comunas.

✓ **Análisis de segregación en la Región Metropolitana mediante Clústeres (“K-Means”):**

Se empleó el algoritmo de clústeres “K-means” para examinar patrones de segregación entre las comunas en la Región Metropolitana de Santiago. Este enfoque agrupó las áreas urbanas similares entre sí, permitiendo una comprensión más amplia de la diversidad socioeconómica y espacial en la región.

Se seleccionaron cuidadosamente variables socioeconómicas, como ingreso per cápita, movilidad y condiciones de vivienda, para identificar diferencias y similitudes entre las comunas. Estos factores fueron clave para comprender la dinámica de segregación.

El análisis de clústeres ayudó a identificar tres grupos distintos de comunas, revelando áreas con perfiles socioeconómicos diversos, zonas de alto nivel socioeconómico y comunas con mayor densidad poblacional. Este enfoque brindó una visión general de la segregación espacial en la Región Metropolitana.

9.3 Modelos utilizados

✓ **Modelos de Regularización “Ridge” y “Lasso”:**

Se emplearon estas técnicas de regularización para explorar la relación entre las variables y la propagación del virus. Estos modelos fueron cruciales para controlar la complejidad del análisis y evitar el sobreajuste, permitiendo una identificación precisa de las variables más relevantes.

✓ **VARIABLES CONSIDERADAS:**

Incluimos variables como ingreso per cápita por comuna, índices de movilidad interna y externa, condiciones de vivienda, entre otros indicadores socioeconómicos.

✓ **Modelo de Regresión “Prophet”:**

Además, utilizamos el modelo de Regresión “Prophet” para mejorar nuestra comprensión de la dinámica temporal de la propagación del virus, utilizando la movilidad externa como un regresor adicional, para mejorar la precisión de las predicciones sobre la propagación del virus.

RESULTADOS

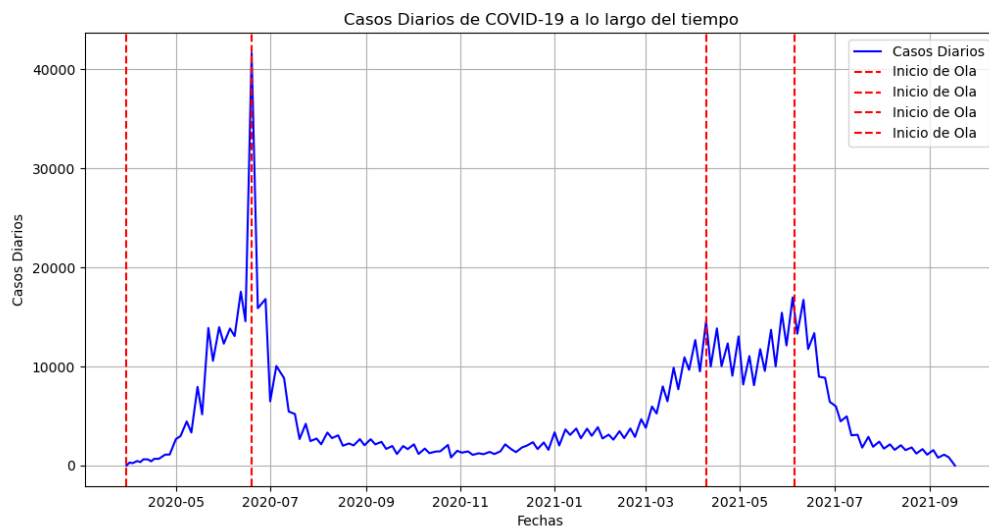
10. Hallazgos Principales

Los datos y gráficos a analizar abarcan desde el periodo del ingreso del virus SARS-CoV-2, en marzo del 2020, hasta finalizar el mismo año.

Este análisis se centra en la Región Metropolitana de Santiago, considerando todas sus comunas.

10.2 Evolución del virus SARS-CoV-2 a lo largo del tiempo en Santiago

Figura 1: Gráfico de la evolución temporal del virus



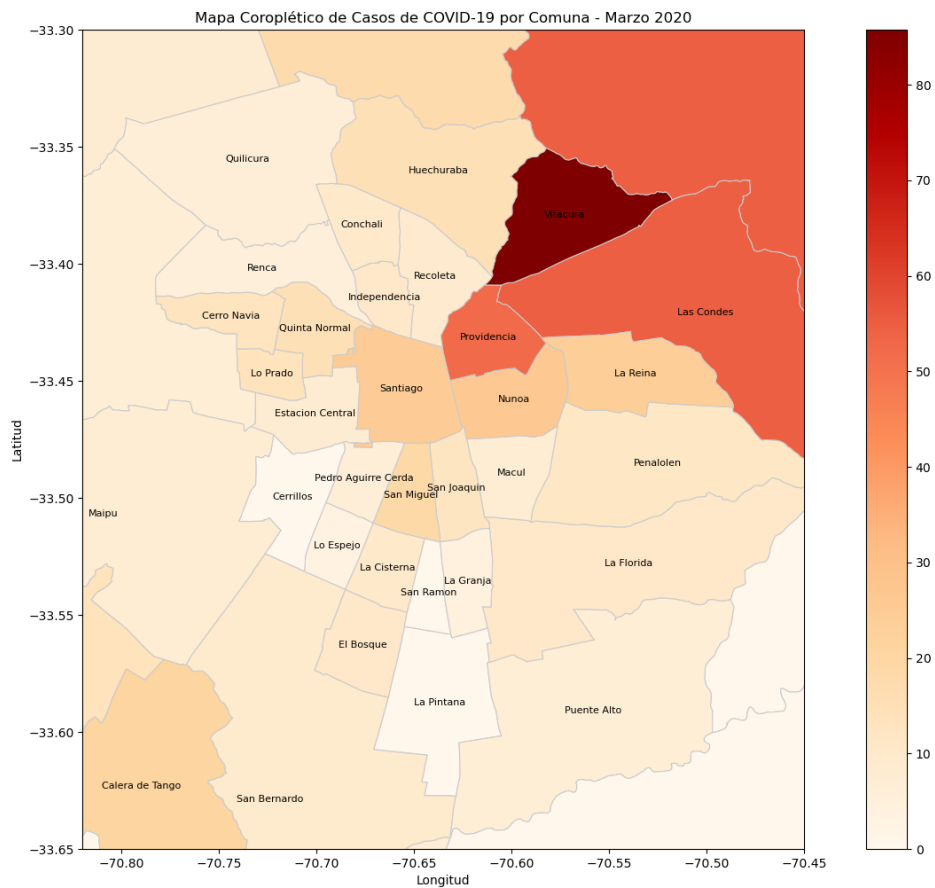
La Figura 1 revela la dinámica de contagio del COVID-19 en la Región Metropolitana desde marzo de 2020 hasta finales de 2021.

Se destacan dos oleadas significativas: la primera, y más importante, al llegar el virus al país entre marzo y junio de 2020, y la segunda, menos fuerte, desde abril hasta junio de 2021.

El análisis se enfocó en tres momentos clave: el inicio de la pandemia para entender la distribución inicial de casos, y dos períodos en 2020 para examinar la evolución del virus en la Región Metropolitana, comprendiendo la dinámica poblacional que ofrece Santiago de Chile, donde se encuentra un centro urbano claro, donde se encuentran las oportunidades de trabajo, y distintas comunas dormitorio donde el grueso de la población reside.

10.3 Mapa Coroplético de tres periodos distintos de la pandemia en Chile

Figura 2: Mapa Coroplético ilustrativo de la Evolución de Casos de COVID-19 – marzo 2020



La Figura 2, nos sirve para analizar el panorama de los casos al inicio de la pandemia de COVID-19 en la Región Metropolitana, específicamente a fines de marzo de 2020, se observó un patrón específico.

En aquel momento, se registró una marcada concentración de casos en las comunas del sector oriente de la capital chilena.

Este fenómeno tuvo raíces en un factor determinante: la mayor accesibilidad que tenían los habitantes de comunas como Vitacura, Lo Barnechea, Las Condes y Providencia a los viajes internacionales.

Muchos de estos residentes, tras retornar de sus viajes al extranjero por razones de negocios o placer, desempeñaron un papel crucial como vectores de transmisión del virus. Algunos de ellos portaban el virus de manera sintomática, mientras que otros, de manera

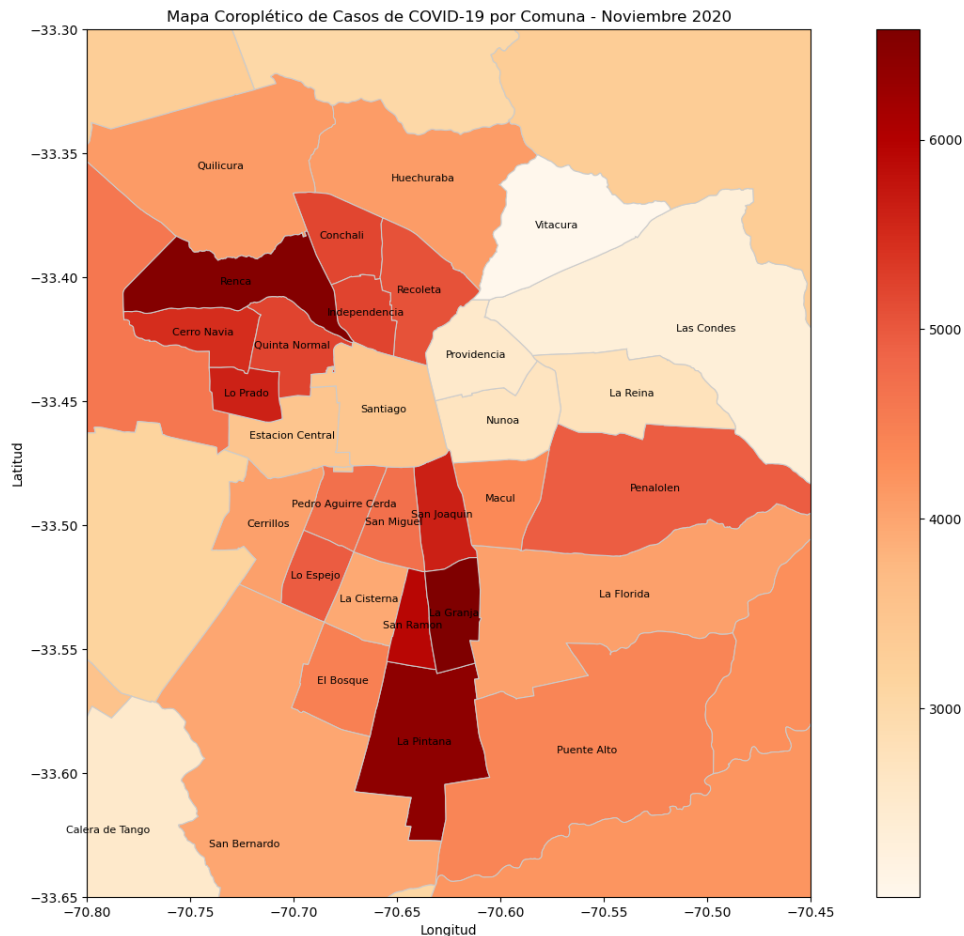
La Figura 3 ofrece una representación actualizada de la evolución del SARS-CoV-2. En contraste con su presencia previa en las comunas del sector oriente, se observa un desplazamiento hacia la periferia de la Región Metropolitana, concentrándose en áreas como Renca, Cerro Navia, Lo Prado, La Pintana y La Granja.

Comprender la evolución en la propagación del virus implica sumergirse en las complejas dinámicas de la capital. La realidad es que una gran parte de la población se desplaza diariamente hacia comunas más centrales, como Santiago y Providencia, debido a la concentración de actividades laborales, comerciales y de servicios en estos centros urbanos.

Estas zonas son epicentros de empleo, atrayendo a una cantidad significativa de personas de diferentes comunas y áreas circundantes. Sin embargo, al finalizar la jornada laboral, la mayoría de estos trabajadores regresan a sus respectivas comunas de origen. Este flujo constante de desplazamiento entre las zonas de trabajo y los lugares de residencia representa un factor determinante en la expansión del virus, ya que puede contribuir al transporte del mismo hacia áreas con menor incidencia inicial.

En resumen, la movilidad laboral juega un papel crucial en la propagación del virus, ya que conecta y desplaza a una gran cantidad de personas a diario, generando un potencial aumento en la diseminación del virus.

Figura 4: Mapa Coroplético ilustrativo de la Evolución de Casos de COVID-19 – Noviembre 2020



La Figura 4 evidencia que las medidas de restricción demostraron su eficacia en un porcentaje reducido de la población, particularmente en las comunas del sector oriente.

Curiosamente, estas medidas resultaron ineficaces para la mayoría de la población. Persiste la concentración del virus en comunas como Renca, La Pintana, La Granja, Lo Prado y Cerro Navia, mientras que en áreas como Vitacura, Las Condes y La Reina, la presencia del virus es prácticamente nula.

Esta disparidad se atribuye a las características singulares de cada comuna que requieren un análisis detallado para comprender su impacto en la propagación del virus.

10.4 Movilidad y propagación del virus

Representación gráfica de los patrones de movilidad y su correlación con la propagación del virus.

"Análisis del Patrón de Movilidad entre Comunas de Santiago en marzo de 2020"

Al examinar los datos proporcionados por el Ministerio de Transporte en marzo de 2020, ilustrados en la Figura 5, se evidencia que la cantidad de personas que se desplazaban hacia Providencia a las 7 de la mañana provenían principalmente de comunas como Santiago, Puente Alto, Estación Central, Lo Prado y La Florida.

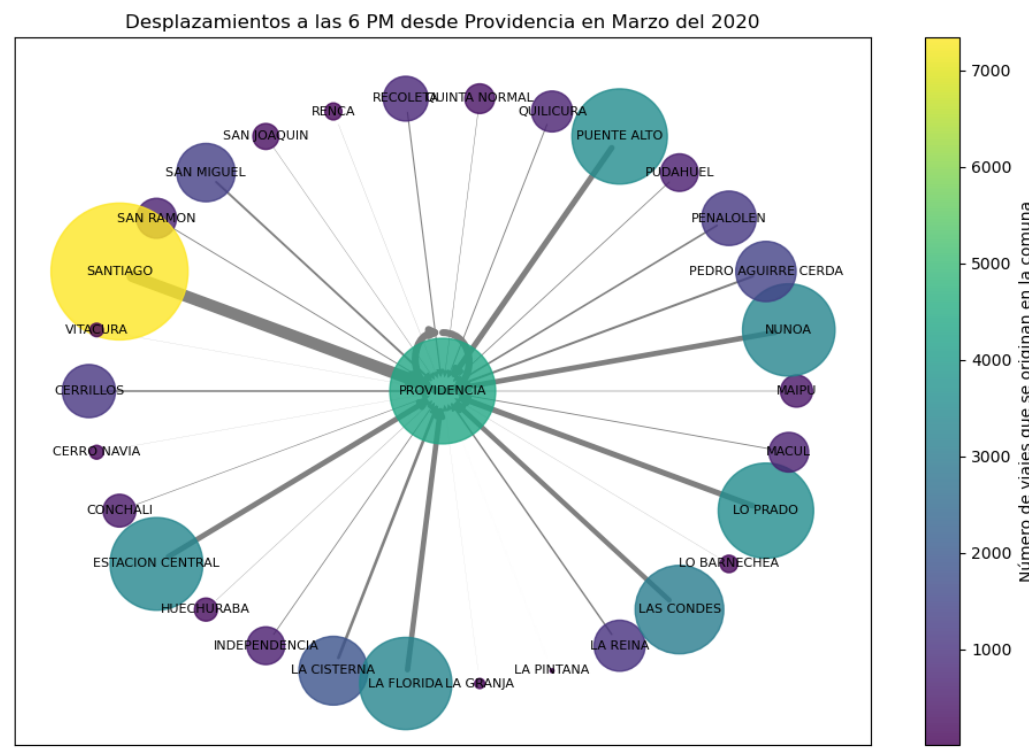
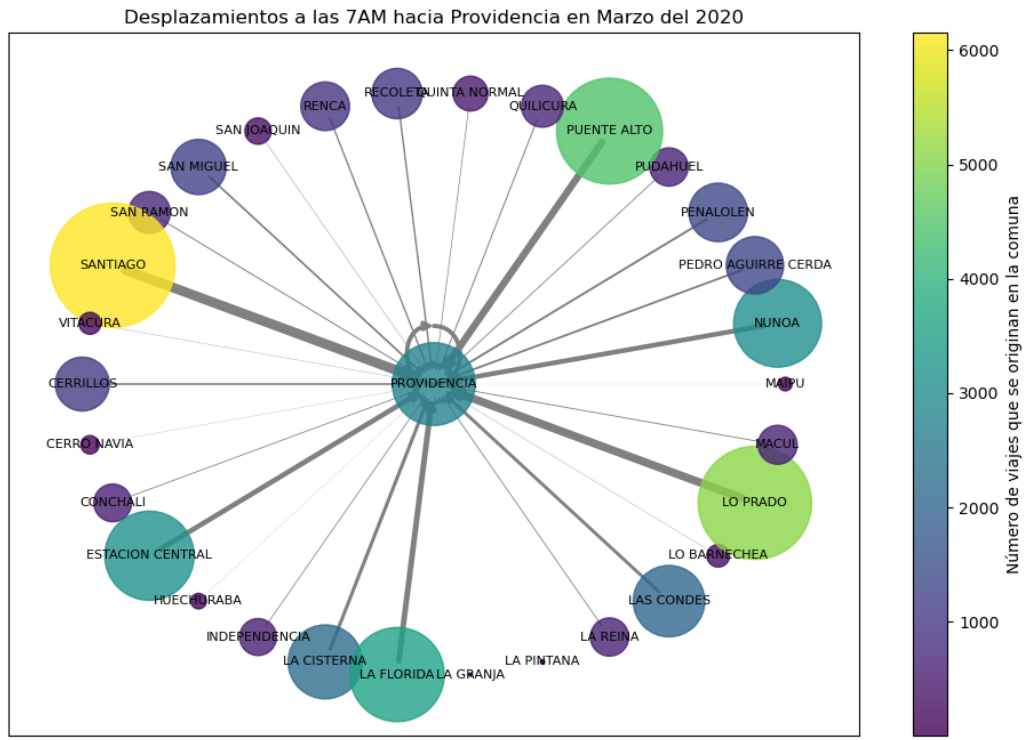
Providencia fue seleccionada como destino debido a su condición como centro urbano dentro de la ciudad de Santiago, lo que provoca un aumento significativo en su población flotante, especialmente por ser un área de alta actividad laboral.

Además, según gráficos previos, Providencia figuraba entre las comunas con mayor concentración del virus en marzo de 2020.

Estos datos revelan como la movilidad tuvo un papel crucial en la propagación del virus durante esa etapa. El transporte público, caracterizado por un distanciamiento social limitado, se convirtió en un medio a través del cual las personas llevaban el virus de regreso a sus comunas de origen.

Un análisis de los mapas de Julio y noviembre de 2020 confirma esta tendencia, mostrando una mayor concentración del virus en las comunas mencionadas anteriormente, vinculadas a estas áreas de alta movilidad poblacional.

Figura 5: Patrón de Movilidad entre Comunas de Santiago en marzo de 2020



"Análisis del Patrón de Movilidad entre Comunas de Santiago en noviembre de 2020"

Como se puede apreciar en la Figura 6, en noviembre de 2020, se aprecia un cambio significativo en el panorama epidemiológico debido a la implementación de medidas restrictivas.

Durante este periodo, el papel del transporte público como factor determinante en la propagación del virus disminuye notablemente. Ahora, la atención se desplaza hacia las características específicas de cada comuna dentro de la Región Metropolitana.

Las restricciones adoptadas han modificado la dinámica de contagio, alejando el enfoque exclusivo del impacto del transporte público. Ahora, es esencial considerar las particularidades individuales de cada área dentro de la región para comprender mejor la propagación del virus.

Este cambio en el escenario epidemiológico resalta la necesidad de analizar detalladamente las condiciones locales y los comportamientos específicos de cada comunidad para desarrollar estrategias más efectivas en la gestión y contención de la enfermedad.

10.5 Análisis de Segregación en la RM mediante Clústeres

Aplicación del algoritmo “K-means” para clústeres

El análisis se realizó con el propósito de evaluar la segregación comunal en Santiago utilizando el algoritmo “K-means”. Este método de agrupación se empleó para segmentar las comunas de la Región Metropolitana, permitiendo la identificación de patrones de segregación espacial.

Selección de Variables Relevantes

Se seleccionaron cuidadosamente diversas variables consideradas fundamentales para comprender la dinámica de segregación:

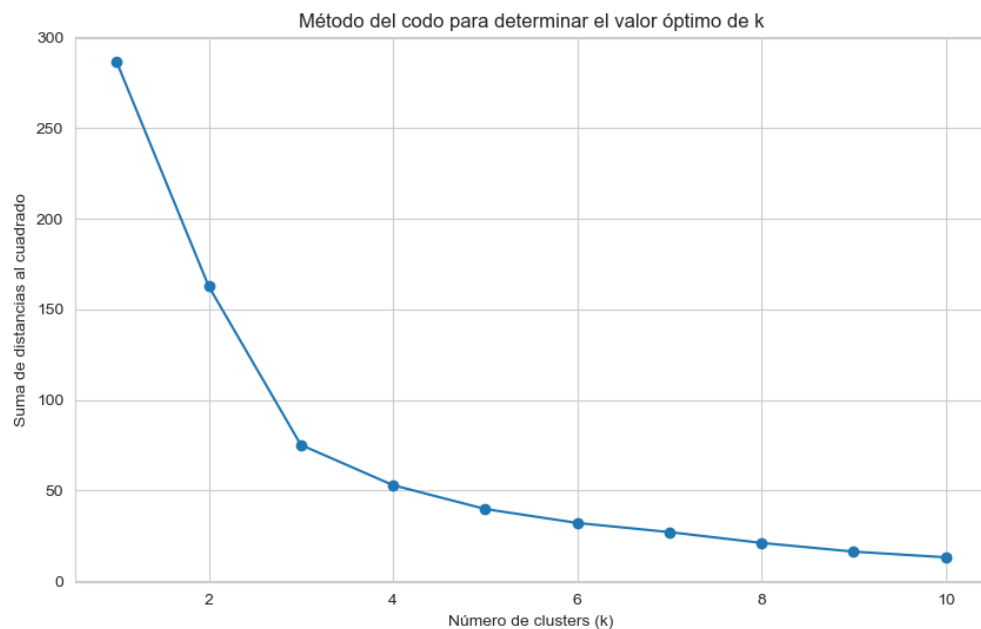
- ✓ *inc_pc_comuna (Ingreso per cápita de cada comuna):*
Representa el ingreso promedio por habitante en cada comuna.
- ✓ *IM_interno (Índice de Movilidad Interno):*
Mide la movilidad dentro de la comuna.
- ✓ *IM_externo (Índice de Movilidad Externo):*
Describe la movilidad de las personas fuera de la comuna.
- ✓ *Personas_hogar_promedio (Personas promedio por hogar):*
Muestra el promedio de personas en un hogar dentro de cada comuna.
- ✓ *inmigrantes (Número de inmigrantes):*
Representa la cantidad de inmigrantes en la comuna.
- ✓ *total_hog_hacinados (Total de hogares hacinados):*
Indica la cantidad de hogares en condiciones de hacinamiento.
- ✓ *indic_precariedad_vivienda (Índice de Precariedad de Vivienda):*
Refleja el nivel de precariedad de las viviendas en una comuna.

Normalización de Datos y Reducción de Dimensionalidad

Los datos fueron normalizados utilizando `StandardScaler()` y se aplicó el **Análisis de Componentes Principales (PCA)** para reducir la dimensionalidad a dos componentes principales. Esta reducción permitió la visualización de los datos en un espacio bidimensional, simplificando su interpretación.

Determinación del valor óptimo de k

Figura 7: Método del codo para determinar el valor óptimo de k



Se llevó a cabo un análisis exhaustivo para determinar el número óptimo de clústeres (k) que mejor representara la estructura de segregación en las comunas. Este proceso se basó en el método del codo, donde se graficó la suma de las distancias al cuadrado en función del número de clústeres probados. A partir de este análisis, y en base a lo visto en la Figura 7, se identificó que el valor óptimo de k para este estudio específico fue 3, lo que permitió segregar las comunas en tres grandes grupos.

Asignación de Clústeres y Análisis de Resultados

Se ejecutó “K-means” con k=3 para asignar cada comuna a uno de los tres clústeres identificados. Se verificó y analizó qué comunas pertenecían a cada clúster, identificando patrones de segregación comunal en la Región Metropolitana de Santiago.

Componentes Principales Relevantes

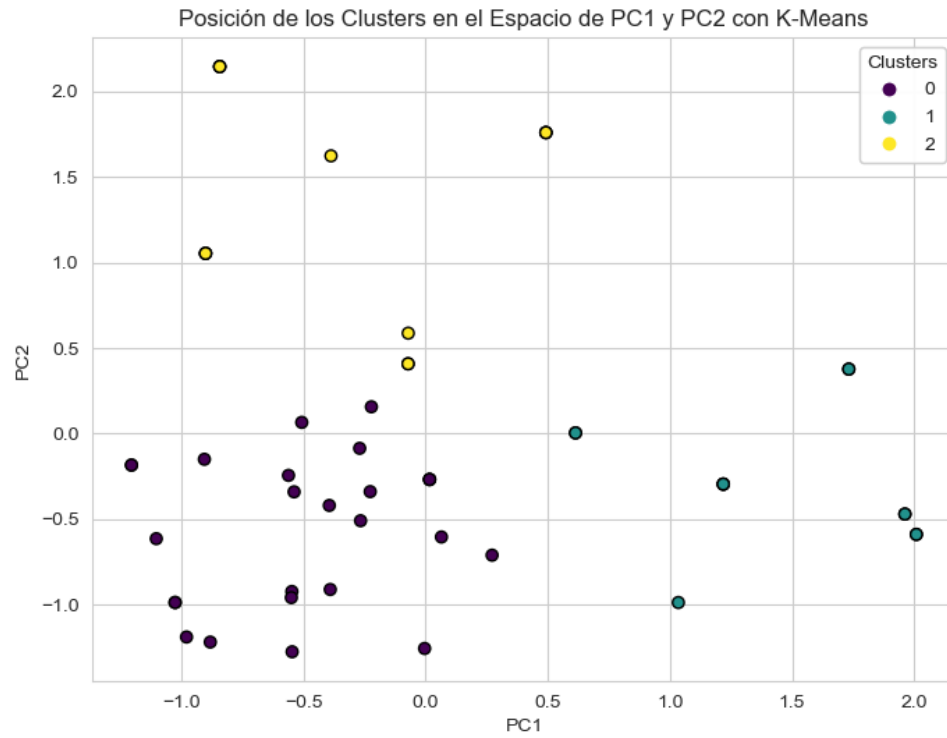
Es importante mencionar que el análisis se basó en la reducción de dimensionalidad a través del Análisis de Componentes Principales (PCA). Los dos primeros componentes principales explicaron una cantidad significativa de la varianza en los datos. Estos componentes se representaron por las siguientes cargas para las variables:

| | PC1 | PC2 |
|----------------------------|-----------|-----------|
| inc_pc_comuna | 0.483376 | -0.232832 |
| Poblacion | 0.168379 | 0.572550 |
| IM_interno | 0.498361 | 0.013767 |
| IM_externo | -0.282907 | -0.455612 |
| Personas_hogar_promedio | -0.377327 | 0.140900 |
| inmigrantes | 0.255157 | 0.225911 |
| total_hog_hacinados | -0.165296 | 0.578515 |
| indic_precariedad_vivienda | -0.418082 | 0.068091 |

- ✓ **Componente Principal 1 (PC1)**
“inc_pc_comuna”, “IM_interno” y “Población” presentaron cargas considerables y positivas en este componente. Esto sugiere una asociación directa entre ingreso per cápita, movilidad interna, y tamaño de población en la formación de este componente.
- ✓ **Componente Principal 2 (PC2)**
Por otro lado, “Poblacion” y “total_hog_hacinados” mostraron una carga positiva en el Componente Principal 2, mientras que “IM_externo” tuvo una carga negativa. Esto indica una relación entre densidad poblacional, hogares en condiciones de hacinamiento, y la movilidad externa de las personas en la configuración del segundo componente principal.

Gráfico de posición de los clústeres en el espacio de PC1 y PC2 con "K-means"

Figura 8: Posición de los Clusters en el Espacio de PC1 y PC2 con K-Means



Descripción de Clústeres:

✓ **Clúster 1: Comunas de características socioeconómicas variadas**

Este grupo abarca una amplia gama de comunas con perfiles socioeconómicos diversos. Comprende Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Granja, La Pintana, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Pedro Aguirre Cerda, Peñaflores, Pudahuel, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel y San Ramón.

✓ **Clúster 2: Comunas de alto nivel socioeconómicos de la capital**

Este clúster está conformado por comunas como La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y Vitacura.

Se caracterizan por ser comunas con el ingreso per cápita más alto de la capital, tienen mejores accesos a servicios, y presentan el estándar de vida más alto de Santiago.

✓ **Clúster 3: Comunas más pobladas de la capital**

Este grupo incluye comunas como La Florida, Maipú, Puente Alto, Quilicura, San Bernardo y Santiago.

Son reconocidas por ser las comunas más pobladas de la capital, mostrando además una diversidad socioeconómica significativa.

En general son la representación de la clase media chilena.

El objetivo primordial de este análisis fue evaluar la segregación comunal en Santiago a través del algoritmo “K-means”. Se empleó este algoritmo de agrupación para segmentar las comunas de la Región Metropolitana en grupos diferenciados, lo que facilitó la identificación de patrones de segregación. Además, se aplicó un análisis de reducción de dimensionalidad utilizando “PCA” (Análisis de Componentes Principales) para reducir la información a dos variables principales. Esta reducción permitió representar la complejidad de los datos en un espacio bidimensional, simplificando así la interpretación y visualización de la segregación comunal en Santiago.

10.6 *Relación entre la Movilidad y el Incremento de la tasa de contagio*

Análisis estadístico general octubre 2020:

En el análisis estadístico de octubre del 2020 en la Región Metropolitana, se aplicaron modelos de regularización “Ridge” y “Lasso” para examinar los factores más influyentes en la propagación después de aplicadas las medidas de restricción para contener el virus COVID-19.

Estos modelos, al emplear técnicas de regularización, priorizan la relevancia de variables, minimizando el impacto de aquellas menos significativas y focalizándose en identificar los principales impulsores de la propagación del virus desde una perspectiva estadística.

Los modelos de “Ridge” y “Lasso”, utilizados en regresión, no solo predicen variables dependientes basadas en variables independientes, sino que también aplican penalizaciones para evitar el sobreajuste del modelo. Mientras “Ridge” introduce una penalización basada en la suma de los cuadrados de los coeficientes, “Lasso” usa la suma de los valores absolutos de los coeficientes.

En este análisis, la variable independiente fue la tasa de contagio. El objetivo principal fue identificar qué variables dependientes estaban más estrechamente vinculadas con la propagación del virus SARS-CoV-2.

Para hacer más completo este análisis, veremos cuales son las variables más importantes para cada uno de los Clústeres expuestos anteriormente, vamos a compararlas, y además veremos si se cumplen nuestras hipótesis.

Centraremos nuestro análisis en evaluar si las medidas de restricción, que impactan directamente en los niveles de movilidad tanto interna como externa, continúan siendo efectivas para controlar la tasa de contagio de la pandemia del COVID-19.

Coefficientes de “Ridge” y “Lasso” para Clúster 1

| | Variable | Coefficiente Ridge | Coefficiente Lasso |
|---|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | IM_interno | -566.581446 | -732.814976 |
| 1 | IM_externo | -190.389790 | -192.972990 |
| 2 | inc_pc_comuna | 151.060558 | 297.925082 |
| 3 | Personas_hogar_promedio | 472.563290 | 690.649332 |
| 4 | inmigrantes | 298.948994 | 474.111806 |
| 5 | total_hog_hacinados | 94.081847 | 47.535205 |
| 6 | indic_precariedad_vivienda | -323.315755 | -394.033892 |

Los coeficientes analizados en el Clúster 1, que abarca un conjunto diverso de comunas como Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Granja, La Pintana, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Pedro Aguirre Cerda, Peñaflores, Pudahuel, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel y San Ramón, revelan un cambio notable en los factores que influyen en la propagación del virus:

- Las restricciones de movilidad, representadas por la disminución tanto en la movilidad interna como externa ('IM_interno' y 'IM_externo'), parecen haber perdido su prominencia como factores determinantes en la replicación del virus en estas áreas. Los coeficientes negativos sugieren una disminución en la importancia de estas medidas en comparación con otros elementos.
- En contraposición, se evidencia un incremento en la relevancia de factores vinculados a la calidad de vida y al entorno socioeconómico. El incremento en el número promedio de personas por hogar ('Personas_hogar_promedio') emerge como un factor esencial en la propagación del virus en estas localidades. Paralelamente, la presencia de hogares con hacinamiento ('total_hog_hacinados') también se posiciona como un aspecto crucial en la replicación del virus.

Estos aspectos parecen estar directamente relacionados con la presencia significativa de inmigrantes en las comunas del Clúster 1, ya que en general la población migrante tiende a residir con un mayor número de personas en sus hogares.

Estas tendencias señalan que, si bien la movilidad tuvo una influencia inicial, ahora las características intrínsecas de las comunas del Clúster 1, como su vulnerabilidad social, están desempeñando un papel crucial en la propagación del virus.

Coefficientes de “Ridge” y “Lasso” para Clúster 2

| | Variable | Coefficiente Ridge | Coefficiente Lasso |
|---|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | IM_interno | 49.823832 | 86.724900 |
| 1 | IM_externo | -102.701213 | -0.000000 |
| 2 | inc_pc_comuna | -143.189712 | -391.420677 |
| 3 | Personas_hogar_promedio | 15.686321 | -0.000000 |
| 4 | inmigrantes | 74.514074 | 34.657187 |
| 5 | total_hog_hacinados | 77.447453 | 0.000000 |
| 6 | indic_precariedad_vivienda | 144.855651 | 114.160485 |

Los coeficientes en el Clúster 2 sugieren que:

- ✓ El ingreso per cápita continúa siendo un factor fundamental en la incidencia del virus en comunas como La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y Vitacura. Se observa una menor incidencia del virus en estas áreas cuando el ingreso per cápita es más elevado. Asociado a esto, el índice de precariedad de la vivienda también se vuelve relevante, mostrando una mayor incidencia del virus en las comunas del sector oriente de la capital a medida que este índice aumenta.
- ✓ En estas comunas del Clúster 2, la movilidad interna parece tener un impacto más significativo que la movilidad externa. Este hecho sugiere que se respetaron en mayor medida las restricciones de movilidad, disminuyendo la importancia del índice de movilidad externa y reduciendo el efecto de las restricciones en el movimiento hacia otras zonas.

Estos hallazgos indican que la movilidad interna se considera un vector de propagación más directo del virus en estas comunas. Los residentes de estas áreas, generalmente ubicadas en las zonas más pudientes, cuentan con todos los servicios dentro de sus comunas, lo que reduce su necesidad de salir fuera de ellas, contribuyendo así a la concentración del virus en estas zonas.

Coefficientes de “Ridge” y “Lasso” para Clúster 3

| | Variable | Coefficiente Ridge | Coefficiente Lasso |
|---|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | IM_interno | 911.802778 | 971.416871 |
| 1 | IM_externo | 197.240634 | 132.607337 |
| 2 | inc_pc_comuna | -1781.977305 | -2727.188930 |
| 3 | Personas_hogar_promedio | -597.784569 | -1477.582135 |
| 4 | inmigrantes | 997.929135 | 1235.437929 |
| 5 | total_hog_hacinados | 119.147308 | 73.952217 |
| 6 | indic_precariedad_vivienda | -736.514313 | -1063.125709 |

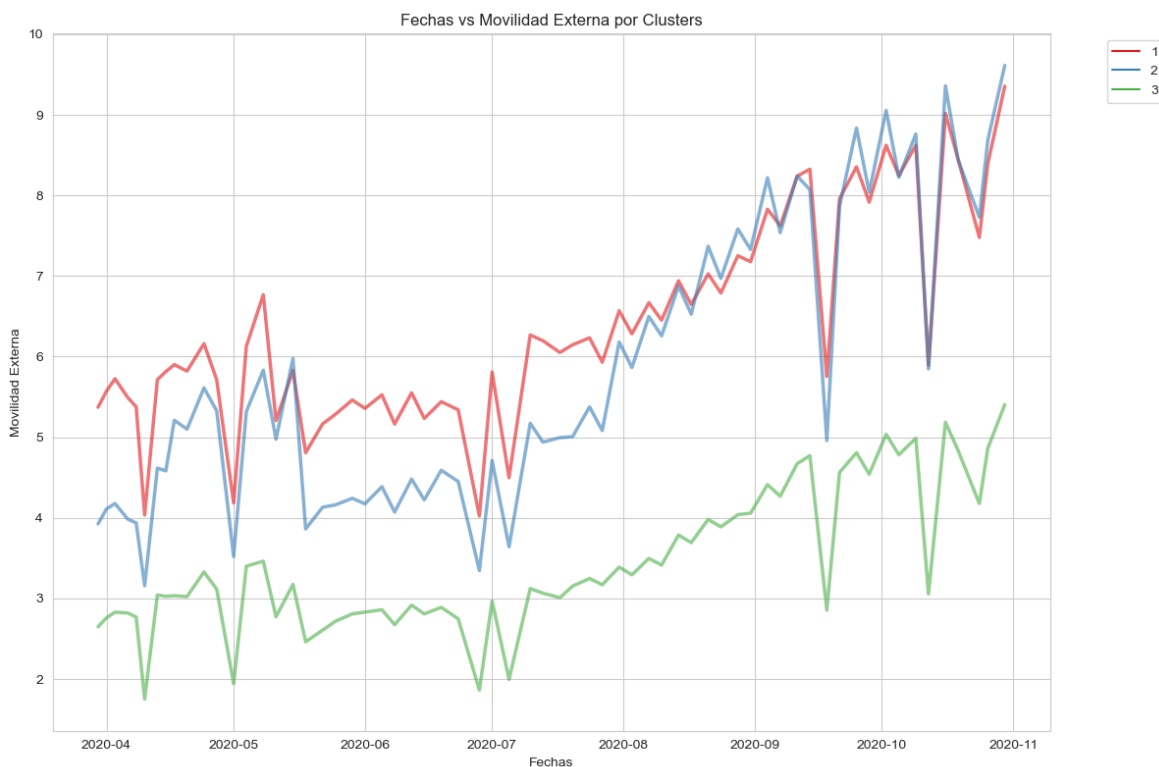
Los coeficientes analizados para el Clúster 3, integrado por comunas como La Florida, Maipú, Puente Alto, Quilicura, San Bernardo y Santiago, revelan tendencias significativas:

- ✓ Se observa que al ser este clúster el grueso de comunas de la clase media tradicional chilena, el ingreso per cápita ('inc_pc_comuna') no parece ser un factor determinante en la propagación del virus, ya que los coeficientes indican una influencia mínima o nula en ambas técnicas analizadas.
- ✓ Por otro lado, factores como el número promedio de personas por hogar ('Personas_hogar_promedio') y la presencia de hogares con hacinamiento ('total_hog_hacinados') muestran asociaciones positivas con un potencial incremento en la tasa de contagio en estas áreas.
- ✓ Además, llama la atención que la movilidad, tanto interna ('IM_interno') como externa ('IM_externo'), presenta coeficientes cercanos a cero o negativos en ambas técnicas, sugiriendo que estas variables de desplazamiento han perdido relevancia como factores principales en la propagación del virus.

Esto destaca las características propias de estas comunas de clase media, donde aspectos como la calidad de las viviendas y la densidad de población parecen tener una influencia más relevante en la propagación del virus. Esto sugiere un cambio en la importancia relativa de los factores, donde la movilidad, antes considerada preponderante, ha sido desplazada por estas características locales como elementos más significativos en la dinámica de contagio.

10.7 Análisis comparativo de movilidad externa para cada clúster durante la pandemia

Figura 9: Fechas vs Movilidad Externa por Clúster

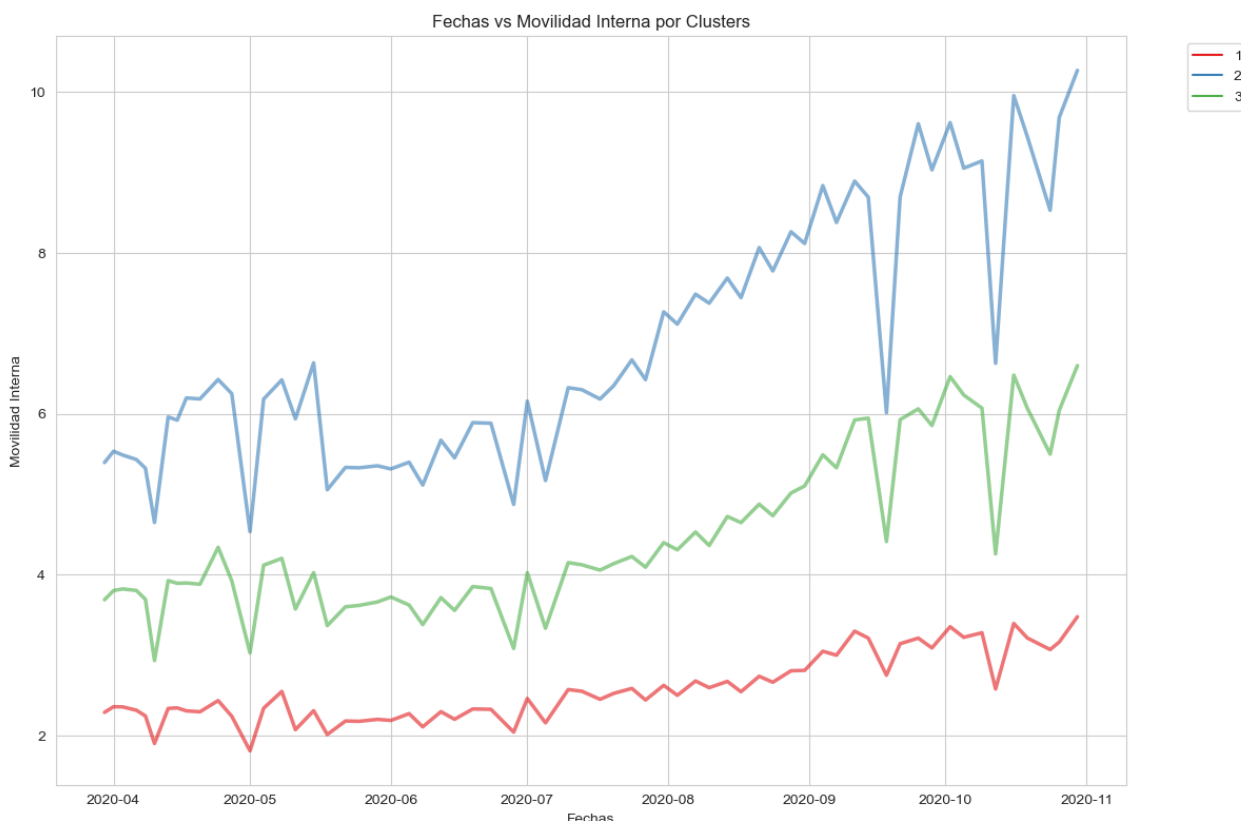


Según la Figura 9, se puede apreciar que los Clústeres 1 y 2 muestran una alta movilidad externa, cuyas diferencias pueden atribuirse a la distribución desigual de lugares de trabajo y servicios. En el Clúster 1, integrado por comunas como Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Granja, La Pintana, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Pedro Aguirre Cerda, Peñaflor, Pudahuel, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel y San Ramón, se percibe una carencia de estos espacios. En contraposición, el Clúster 2, que incluye a La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y Vitacura, exhibe una concentración mayor de áreas laborales y servicios, lo que motiva un flujo más intenso de movilidad externa.

Por otro lado, el Clúster 3, compuesto por La Florida, Maipú, Puente Alto, Quilicura, San Bernardo y Santiago, parece funcionar como ciudades autónomas, ya que estas comunas cuentan con una amplia oferta de servicios y actividades laborales dentro de sus límites. Esta autogestión de servicios podría explicar una menor necesidad de desplazamiento hacia otras áreas, lo que resulta en una movilidad externa más reducida en comparación con los otros clústeres.

10.8 Análisis comparativo de movilidad interna para cada clúster durante la pandemia

Figura 10: Fechas vs Movilidad Interna por Clúster



En base a lo visto en la Figura 10, la movilidad interna en los distintos clústeres presenta matices interesantes.

En el Clúster 2, compuesto por La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y Vitacura, se evidencia una marcada movilidad interna. Esta tendencia se atribuye a las características de sus habitantes, quienes, al pertenecer a un sector acomodado, suelen restringir sus desplazamientos fuera de los límites comunales. Además, se observa una considerable presencia de una población flotante que se desplaza activamente dentro de estas comunas.

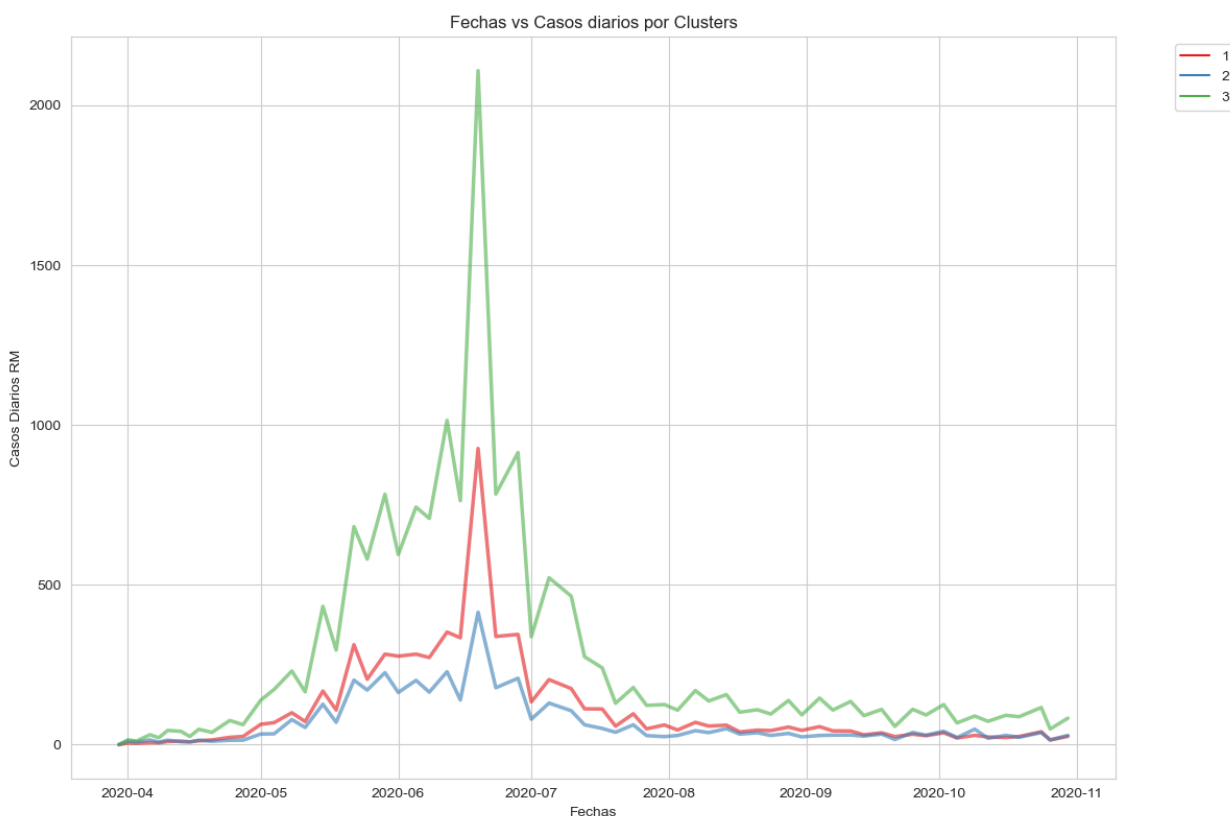
Por otro lado, en el Clúster 3, integrado por La Florida, Maipú, Puente Alto, Quilicura, San Bernardo y Santiago, la existencia de una variedad completa de servicios dentro de sus límites impulsa una movilidad interna más dinámica.

En contraste, las comunas del Clúster 1, al carecer de una infraestructura de servicios similar, muestran una menor movilidad interna dentro de sus límites comunales. La falta de estos

servicios dentro de estas comunas limita los desplazamientos internos de sus habitantes, generando movimientos menos frecuentes en comparación con los otros clústeres.

10.9 Análisis comparativo de Casos en cada clúster durante la pandemia

Figura 11: Fechas vs Casos diarios por Clúster



La Figura 11 ilustra tres realidades distintas en la región metropolitana durante la pandemia.

Las comunas pertenecientes al Clúster 3, que presentan la mayor concentración de población de la capital, experimentaron por características naturales una mayor cantidad de casos de COVID-19 durante la pandemia.

Las comunas pertenecientes al Clúster 1, al ser comunas de un nivel socioeconómico más bajo, y por características propias como mayor hacinamiento, y mejor calidad de vida, presentaron una gran cantidad de casos de COVID-19.

Las comunas del Clúster 3, al pertenecer al sector oriente, destacan por tener una densidad poblacional más baja en comparación con los otros clústeres.

Este aspecto se ve respaldado por una amplia oferta de servicios locales, lo que limita la necesidad de desplazamientos prolongados. Además, los habitantes de estas comunas disfrutaban de una mejor calidad de vida.

Estas características colectivas han sido fundamentales para que estas comunas hayan logrado un mejor control durante la pandemia.

10.10 Analizando la correspondencia entre los datos reales de casos de COVID-19 y las predicciones generadas por el modelo “Prophet”

El modelo “Prophet” es una herramienta de pronóstico de series temporales desarrollada por Facebook que ha ganado popularidad por su capacidad para manejar diversos patrones en los datos temporales y su facilidad de uso.

Se utilizó este modelo para analizar la relación entre los datos reales de casos de COVID-19 y generar predicciones basadas en las medidas de restricción implementadas en nuestros tres clústeres de comunas identificados anteriormente.

El modelo utiliza un enfoque aditivo para modelar las series temporales, además permite la inclusión de regresores adicionales.

Se emplearon las siguientes variables:

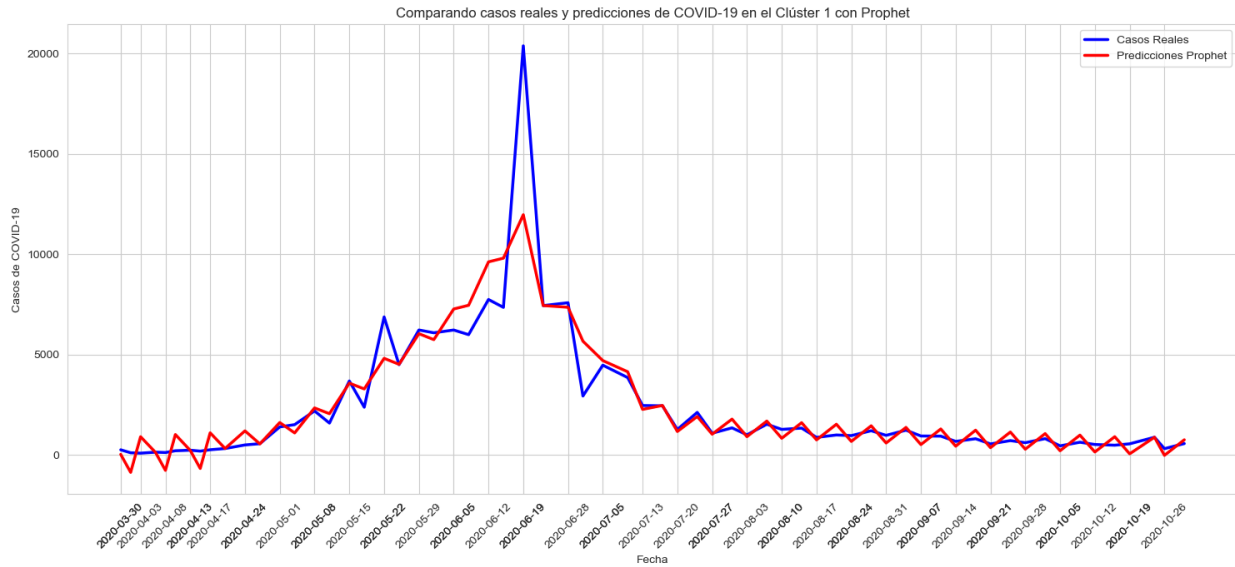
- ✓ **'Fechas'**: La variable de fecha que representa el tiempo en la serie temporal.
- ✓ **'Casos_Diarios_Cluster'**: Los datos reales de casos diarios de COVID-19 cada respectivo clúster de comunas.
- ✓ **'IM_externo'**: Una variable adicional que se considera como regresor, representando una métrica externa que puede influir en la propagación del virus, como lo fueron las políticas de restricción de movilidad.

El propósito de entrenar el modelo con estas variables específicas es capturar las tendencias y patrones en la evolución de los casos de COVID-19 en los clústeres de comunas, considerando además la posible influencia de la variable 'IM_externo' en dicha evolución. De esta manera, se busca interpretar cómo las medidas de restricción y otros factores externos pueden haber influido en la tendencia de la propagación del virus en la Región Metropolitana.

Al emplear el modelo con estas variables, se espera que el modelo pueda generar predicciones que reflejen la relación entre los datos reales de casos de COVID-19 y los posibles efectos de las medidas de restricción en los clústeres analizados.

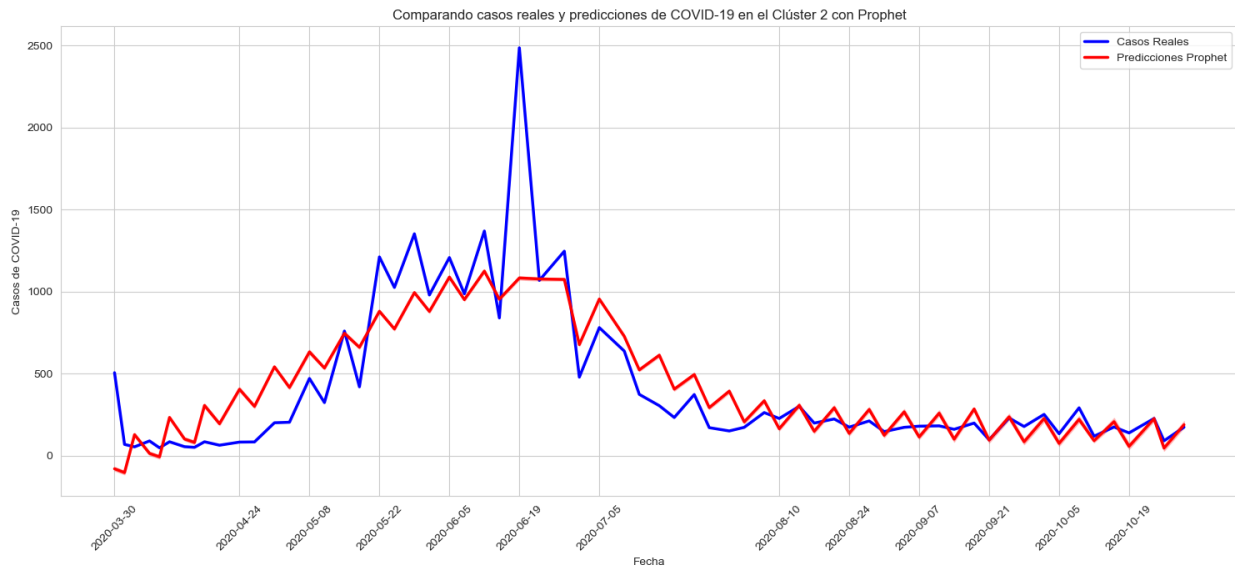
Aplicación del modelo en el Clúster 1

Figura 12: Comparación de casos reales y predicciones del COVID-19 para Clúster 1 con “Prophet”



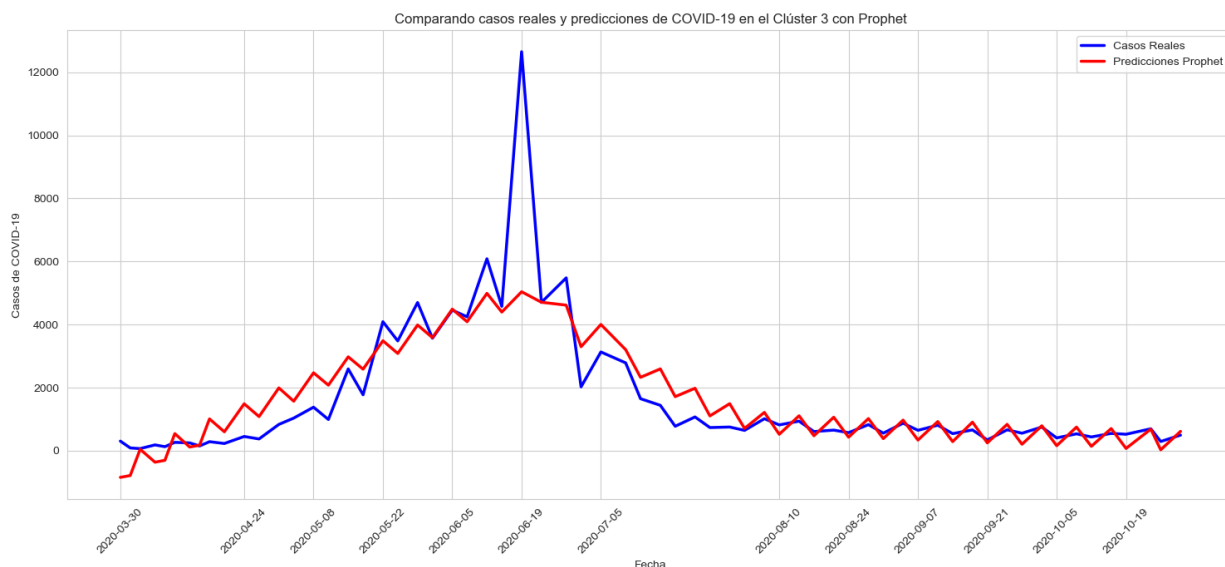
Aplicación del modelo en el Clúster 2

Figura 13: Comparación de casos reales y predicciones del COVID-19 para Clúster 2 con “Prophet”



Aplicación del modelo en el Clúster 3

Figura 14: Comparación de casos reales y predicciones del COVID-19 para Clúster 3 con “Prophet”



Interpretación de resultados

A pesar de que las medidas de cuarentena demostraron ser efectivas para reducir la propagación del virus en general, es importante señalar que el “peak” de casos se produjo en un periodo donde la capital se encontraba en cuarentena.

Este hallazgo podría sugerir que, aunque las restricciones ayudaron a disminuir la propagación del virus, su impacto no fue suficiente para evitar un aumento significativo en los casos, esta situación plantea interrogantes sobre la eficacia completa de las restricciones en el control de la propagación del virus.

Esto puede indicar la presencia de otros factores que contribuyeron a la concentración de casos, por ejemplo, número de personas por hogar, índice de hacinamiento, no cumplimiento de las restricciones, etc.

En resumen, aunque las medidas de cuarentena fueron efectivas para reducir la propagación general del virus, el hecho de que el “peak” de casos se haya producido durante periodo de cuarentena enfatiza la complejidad de manejar la dinámica de la pandemia y la necesidad de considerar cuidadosamente otros factores que puedan influir en momentos críticos de la implementación de estas medidas restrictivas.

CONCLUSIONES

Los hallazgos revelan aspectos clave sobre la dinámica de la pandemia del COVID-19 en la Región Metropolitana:

1. **Ingreso del Virus y Movilidad Inicial:**

Se confirma una conexión entre los primeros casos y los viajes internacionales, sugiriendo que el virus ingresó al país a través de individuos con mayor capacidad de movilidad, posiblemente relacionados con niveles socioeconómicos más altos.

2. **Desplazamiento de Casos:**

Se observa un cambio en la concentración de casos hacia comunas de menor ingreso a lo largo del tiempo, mientras que las zonas acomodadas experimentaron una disminución notable en la incidencia del virus. Este desplazamiento evidencia una dinámica de propagación del virus hacia áreas con diferentes perfiles socioeconómicos.

3. **Efectividad de las Medidas de Restricción:**

Los resultados apuntan a que las medidas generales de restricción dejaron de ser efectivas con el tiempo. Esto podría estar relacionado con la falta de adaptación de estas medidas a las condiciones y dinámicas específicas de cada comuna en la Región Metropolitana. La efectividad de las restricciones se vio comprometida al no considerar las particularidades individuales de cada comuna.

Estos descubrimientos sugieren que la efectividad de las medidas de control no solo depende de la aplicación generalizada, sino también de la adaptabilidad a las condiciones socioeconómicas y de movilidad de cada comunidad. Además, resaltan la importancia de considerar las dinámicas poblacionales de la capital, para idear estrategias de mitigación y control de futuras crisis sanitarias.

Trabajo Futuro:

Para una evaluación más exhaustiva, es esencial explorar otros factores significativos, como el acceso a vacunas, la disponibilidad de hospitales y clínicas, así como el uso de pruebas de antígenos para identificar portadores del virus. Estos elementos pueden ofrecer una comprensión más completa de la capacidad de respuesta y la efectividad de las medidas de control sanitario ante futuras situaciones pandémicas.

Limitaciones:

Las conclusiones se basan en datos disponibles y podrían verse limitadas por la calidad o integridad de la información. Además, este estudio no aborda exhaustivamente todas las variables relevantes, lo que sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para comprender completamente la dinámica de la pandemia en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- BBC News Mundo*. (18 de Marzo de 2020). Obtenido de BBC:
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51945348>
- Organización Mundial de la Salud*. (15 de Julio de 2022). Obtenido de Sitio web de la Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news/item/15-09-2022-who-responds-to-the-lancet-covid-19-commission>
- Universidad de Chile*. (03 de Marzo de 2021). Obtenido de Universidad de Chile:
<https://uchile.cl/noticias/173263/covid-19-en-chile-la-realidad-del-pais-a-365-dias-del-primer-caso#:~:text=Hoy%20%20de%20marzo%20se,mil%20vidas%20a%20nivel%20nacional>.
- Bobadilla. (21 de Julio de 2021). *Radio Pauta*. Obtenido de Radio Pauta:
<https://www.pauta.cl/actualidad/2021/07/21/cambios-en-el-plan-paso-a-paso-julio-2021.html>
- Ministerio de Salud*. (2 de Marzo de 2021). Obtenido de <https://www.minsal.cl/autoridades-de-salud-y-prevencion-del-delito-sobrevolaron-la-region-metropolitana-y-anunciaron-fortalecimiento-de-las-fiscalizaciones-a-las-normas-sanitarias/>
- Organización Internacional para las migraciones*. (7 de Abril de 2021). Obtenido de <https://publications.iom.int/books/covid-19-and-state-global-mobility-2020#:~:text=The%20year%202020%20was%20a,international%20students%20to%20family%20reunification>.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. (1 de Abril de 2021). Obtenido de [://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/aumento-de-penas-por-infringir-las-medidas-sanitarias-en-pandemia](https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/aumento-de-penas-por-infringir-las-medidas-sanitarias-en-pandemia)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. (s.f.). Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region13/>
- Censo*. (2017). Obtenido de <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones*. (18 de Junio de 2020). Obtenido de <https://www.mtt.gob.cl/archivos/25502>
- Moritz U G Kraemer, C.-H. Y.-H. (25 de Marzo de 2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*. Obtenido de https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb4218?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed
- Becker, E., Vipond, R., & Manson, C. (26 de Marzo de 2021). *Keeping up with COVID: identification of New Zealand's earliest known cluster of COVID-19 cases*. Obtenido de Keeping up with COVID: identification of New Zealand's earliest known cluster of COVID-19 cases

Donggyun, K., Chihyung, Y., Seungjae, L., Kyuhong, L., Kiyeon, H., Yuen, C. L., & Sze, C. W. (23 de Octubre de 2021). *Safe traveling in public transport amid COVID-19*. Obtenido de Science: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abg3691>

