
ANÁLISIS DE MOVILIDAD DURANTE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LAS REGIONES DEL BIOBÍO Y ÑUBLE UTILIZANDO DATOS DE TELÉFONOS MÓVILES

SEBASTIÁN CANCINO * †

HELEN DE LA FUENTE * ‡

RODRIGO VICTORIANO * †

SEBASTIÁN ASTROZA * †

JULIO COVARRUBIAS §

MATÍAS DURÁN §

JUAN ANTONIO CARRASCO * †

Resumen

Mientras diferentes especialistas de la salud se encuentran en la búsqueda de un tratamiento farmacéutico efectivo contra el COVID-19, las autoridades de cada país se han enfocado en el diseño y la aplicación de una serie de medidas de confinamiento con el fin de reducir la movilidad. Estas medidas han presentado distintos niveles de efectividad en reducir la movilidad y los niveles de contagio, manifestando la necesidad de estudiar caso a caso dependiendo de las características de cada territorio. Este artículo tiene como objetivo describir los cambios en los patrones de movilidad durante la pandemia de COVID-19 para las regiones del Biobío y Ñuble a través del uso de información proveniente de teléfonos móviles. Específicamente, se consideran los patrones de movilidad de las áreas urbanas del Gran Concepción y Chillán – Chillán Viejo, además de los patrones interurbanos e interregionales en ambas regiones. El análisis considera las variaciones que han existido en los patrones de viajes ante la aplicación de diversas medidas de confinamiento y reducción de la movilidad aplicadas entre marzo y octubre de 2020, lo que permite evaluar su efectividad y variabilidad a nivel temporal y territorial.

Palabras Clave: Movilidad, Confinamiento, Pandemia, COVID-19, Datos telefónicos.

*Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), Santiago, Chile.

†Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile.

‡Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile.

§Empresa Nacional de Telecomunicaciones, Entel, Chile.

1. Introducción

Ante la ausencia de un tratamiento farmacéutico efectivo contra el COVID-19, las autoridades en todo el mundo se han enfocado en el diseño y la aplicación de una serie de medidas no-farmacéuticas para enfrentar la pandemia. Uno de los elementos centrales considerado en las políticas de respuesta ha sido el control de las aglomeraciones y la movilidad para buscar reducir la expansión del COVID-19 [6, 13]. También, se ha mostrado que las variaciones en la movilidad de las personas son de alta relevancia en el proceso de propagación del virus no sólo a escalas interurbanas [7, 12], sino que también a escalas más locales y urbanas [5, 15].

Con el fin de reducir los niveles de contagio del COVID-19, en diversos países se han implementado una serie de medidas de confinamiento y reducción de la movilidad, entre las cuales destaca el cierre de actividades educacionales y laborales [2, 11], los cordones sanitarios [9] y las cuarentenas [11]. Estas medidas han presentado distintos niveles de efectividad en reducir la movilidad y los niveles de contagio dependiendo del contexto nacional o local [11, 16]. Esta diversidad de resultados genera la necesidad de estudiar la relación entre movilidad y propagación del virus para cada territorio específico. Más aún, se ha observado que las medidas de reducción de movilidad tienen efectos distintos dependiendo de los grupos de población en los que se implementan [3, 11]. En el caso chileno, este efecto se ha manifestado principalmente a través de las diferencias en niveles de ingreso económico [5, 10], consistente con los altos niveles de segregación socio-espacial en Chile, lo que también realza el relevancia de los análisis focalizados territorialmente.

Considerando la importancia que han tomado los análisis de niveles de movilidad para el entendimiento del control efectivo del COVID-19, diversos estudios se han apoyado en una variedad de fuentes de datos de movilidad, entre los cuales destacan el uso de conteos vehiculares [6], el uso de información proveniente de motores de búsqueda y aplicaciones de redes sociales [3, 7, 9, 13] y el uso de datos de movilidad basados en información de teléfonos móviles [1, 12, 14]. Esta última fuente de información de movilidad ha sido altamente recomendada para estos propósitos. Dado su amplio alcance territorial y temporal, posee altos niveles de desagregación, pero sin infringir en la privacidad personal [4].

La aplicación de medidas de confinamiento y reducción de la movilidad en Chile se ha realizado de manera focalizada en el tiempo y el espacio, siendo

guiadas por las oleadas de contagios que han existido en las distintas comunas del país de acuerdo al plan nacional de acción ante el COVID-19 [8]. De manera similar a otras regiones del país, las ciudades de las regiones del Ñuble y del Biobío han pasado por la aplicación de diversas de estas medidas sanitarias de manera heterogénea en el tiempo, donde principalmente han destacado la aplicación de cuarentenas y cordones sanitarios. Sin embargo, si bien se han hecho análisis que relacionan los niveles de movilidad con la aplicación de políticas públicas en Chile [7], incluso utilizando datos detallados de movilidad provenientes de teléfonos móviles [5, 10], hasta ahora no se han hecho análisis detallados de la situación específica de las regiones del Ñuble y del Biobío.

Este artículo tiene como objetivo describir los cambios en los patrones de movilidad durante la pandemia de COVID-19 en las regiones del Biobío y Ñuble a través del uso de información proveniente de teléfonos móviles. Específicamente, se consideran los patrones de movilidad de las áreas urbanas del Gran Concepción y Chillán - Chillán Viejo, además de los patrones interurbanos e interregionales en ambas regiones. Dentro del análisis se consideran, también, las variaciones que han existido en los patrones de viajes ante la aplicación de una diversidad de medidas de confinamiento y reducción de la movilidad que han sido aplicadas entre marzo y octubre de 2020, de manera de evaluar la efectividad y variabilidad de dichas medidas a escala temporal y a nivel territorial.

El resto del trabajo se estructura en las secciones descritas a continuación. La sección “Metodología” describe las fuentes de información, que en gran parte corresponden al uso de datos de teléfonos móviles, y el tratamiento necesario para su corrección y análisis. La sección “Resultados” presenta los análisis de patrones de movilidad realizados a nivel intercomunal e interregional y su relación con las políticas de confinamiento y reducción de la movilidad, aplicadas en los distintos períodos y territorios. Finalmente, la sección “Conclusiones y Discusión” presenta un resumen y discusión de los procedimientos y resultados obtenidos.

2. Metodología

Este estudio analiza el impacto de las diferentes medidas sanitarias tomadas por el Gobierno de Chile para responder a la crisis sanitaria producto de la pandemia de COVID 19 en el país. Estas medidas, tales como cuarentenas y cordones sanitarios, están enfocadas a reducir la movilidad de las personas, y por tanto, se analizan en este ámbito haciendo uso de datos provenientes de infraestructura de telecomunicaciones. El día 20 de julio del año 2020 las

autoridades sanitarias anunciaron el Plan Paso a Paso en el marco del plan de acción frente al COVID 19 del Gobierno de Chile¹, el cual pretende guiar un desconfinamiento gradual de las comunas del país. Este plan se divide en cinco fases y sus principales pasos son:

- Paso 1 (Cuarentena): restricción en los desplazamientos, sólo 2 permisos para salir a la semana.
- Paso 2 (Transición): restricción en los desplazamientos durante fines de semana y festivos.
- Paso 3 (Preparación): se permiten viajes interregionales a comunas en Pasos 3, 4 y 5.
- Paso 4 (Apertura inicial): se permite retomar ciertas actividades que significan menor riesgo de contagio. Se evitan al máximo las aglomeraciones y contacto físico entre los asistentes. Traslados interregionales sólo entre localidades que estén en los Pasos 3, 4 y 5.
- Paso 5 (Apertura avanzada): Participar en eventos, reuniones sociales y recreativas de máximo 200 personas en lugares abiertos y 100 personas en lugares cerrados. Traslados interregionales sólo entre localidades que estén en los Pasos 3, 4 y 5.

Para estimar la movilidad se analizan los viajes de los habitantes de las regiones de Biobío y Ñuble durante el período de pandemia de COVID-19 desde marzo hasta octubre del 2020; se utilizaron datos estadísticos e información del uso de infraestructura de telecomunicaciones agrupadas a nivel de zona censal. Los datos de movilidad son recolectados por Entel Ocean y están disponibles públicamente a través del Ministerio de Ciencias de Chile². La metodología para analizar los datos se detalla en [5]. Por otra parte, se estudia la movilidad interregional en el período desde marzo hasta julio de 2020. Una zona censal tiene alrededor de 2000-3000 habitantes y permite garantizar la anonimidad de la información de los individuos. Estos datos permiten entender la zona de hogar, en donde las personas se encuentran frecuentemente en horarios de no trabajo. Para cada día laboral (lunes a viernes), se determina el flujo desde cada zona hogar a otras zonas, durante horarios de trabajo en dos bloques: 10 hrs a 13 hrs (AM) y 14 hrs a 17 hrs (PM). Esta determinación del flujo considera el tiempo de permanencia de cada teléfono en cada zona censal, y

¹<https://www.gob.cl/pasoapaso/>

²Correspondiente al producto 51 del repositorio del Ministerio de Ciencia. Disponible en <https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19>

para asignarlos se utiliza la moda geográfica durante cada bloque horario. Para determinar la zona hogar se considera la moda geográfica mensual, durante un tiempo de pernoción que va desde las 20 a las 23 hrs. Los flujos detectados pueden ser dentro de la misma comuna o hacia otras comunas (pero fuera de la zona hogar) y se interpretan como asociados a actividades laborales. Luego se toman promedios semanales para estimar la movilidad de cada comuna. Para el cálculo de la movilidad intraregión por comunas se utilizó una matriz origen-destino para cada región, que contiene los flujos promedio semanales entre cada par de zonas censales de cada región, sin considerar flujos interregionales. Por el contrario, para el cálculo de la movilidad interregión, la matriz de origen-destino utilizada contiene tanto los flujos interregionales como intraregionales.

2.1. Cálculo de la movilidad intraregión por comunas

A continuación, se detalla la metodología y las fórmulas utilizadas para el cálculo de la movilidad intraregional por comunas.

Notación

- i : zona censal de hogar
- j : zona censal de destino
- k : semana
- c : comuna
- r : región

El flujo promedio semanal f_{ijk} de teléfonos que van desde la i a la zona j en la semana k se estima tomando el máximo de teléfonos detectados entre ambas zonas para ambos bloques horarios $T1_{ijk}$ y $T2_{ijk}$ (Ecuación 1).

$$f_{ijk} = \max(T1_{ijk}, T2_{ijk}) \quad (1)$$

Luego, se calcula el flujo semanal de salida f_{sck} (i.e. la cantidad de celulares que son detectados fuera de su zona censal) para cada comuna como se muestra en la Ecuación 2.

$$f_{sck} = \sum_j \sum_{i \in c, i \neq j} f_{ijk} \quad (2)$$

Por otra parte, el flujo hogar f_{hck} (i.e. cantidad de celulares que no son detectados fuera de su zona hogar) se calcula de la siguiente forma:

$$fh_{ck} = \sum_{i \in c} f_{iik} \quad (3)$$

Notar que la suma de fs_{ck} y fh_{ck} , T_{ck} (Ecuación 4) representa la estimación del total de teléfonos detectados con zona hogar en la comuna c para la semana k . De esta manera, es posible calcular el flujo porcentual de salida s_{ck} como se muestra en la Ecuación 5.

$$T_{ck} = fs_{ck} + fh_{ck} \quad (4)$$

$$s_{ck} = \frac{fs_{ck}}{T_{ck}} \quad (5)$$

Para calcular la variación \bar{v}_{ck} de movilidad de cada comuna se considera su movilidad de salida porcentual durante un período base representada por b_c y se expresa la movilidad de cada semana k en términos relativos. Luego se resta 1 para expresar la movilidad en términos de disminución (Ecuación 6).

$$\bar{v}_{ck} = \frac{s_{ck}}{b_c} - 1 \quad (6)$$

Se consideran las 2 primeras semanas de marzo del 2020, antes de la declaración de la Fase 4 de pandemia por COVID-19 en Chile, como semanas “base”. Así se tiene una aproximación para la movilidad usual de cada zona. Dicha elección se basó en que los casos detectados en aquella fecha correspondían a casos aislados y trazables.

2.2. Corrección por pérdida de teléfonos celulares

Producto de la pandemia de COVID-19, en Chile, como en muchas partes del mundo, el teletrabajo y la educación a distancia han tomado importancia como medidas para evitar la propagación del virus. Como consecuencia, aquellas personas con la posibilidad de trabajar o estudiar desde casa, comenzaron a utilizar redes Wi-Fi, en desmedro de las redes móviles, haciendo imposible rastrearlas a través de la infraestructura de telecomunicaciones. De esta forma, es importante notar que \bar{v}_{ck} representa una cota superior de la movilidad, ya que la variable fh_{ck} se encuentra subestimada, sobre todo en situaciones de confinamiento total. Para corregir esto, se calcula una cota inferior de movilidad, tomando como referencia la cantidad de teléfonos detectados T_{ck} en promedio para las semanas base, denotada como r_c . La variable ΔO (Ecuación 7) representa la diferencia de observaciones entre el período base y una semana k en particular. Notar que la corrección sólo aplica cuando las observaciones del período base son mayores a las de la semana en cuestión.

$$\Delta O = \text{máx}(r_c - T_{ck}, 0) \quad (7)$$

Luego, se calcula la cota inferior $v.lb_{ck}$ como se muestra en la Ecuación 8

$$v_{ck} = \left(\frac{T_{ck}}{T_{ck} + \Delta O} \right) \times \bar{v}_{ck} \quad (8)$$

Finalmente, la variación de movilidad estimada para una comuna c en la semana k , con respecto al período de referencia, está dada por v_{ck} (Ecuación 9).

$$v_{ck} = \frac{\bar{v}_{ck} + v_{ck}}{2} \quad (9)$$

2.3. Movilidad interregión

Con el objetivo de evaluar la efectividad de los cordones sanitarios impuestos por la autoridad en la interregión Biobío - Ñuble, se construye el siguiente indicador de los viajes desde una región a otra a nivel comunal durante cuatro feriados importantes en los que existieron cordones sanitarios entre ambas regiones: Semana Santa (10 al 12 de abril), Glorias Navales (12 de mayo), San Pedro y San Pablo (26 de junio) y Virgen del Carmen (16 de julio). Dado que estas medidas han sido instauradas principalmente durante fines de semana largos, se consideran para cada semana k , solamente los días viernes, sábado y domingo de dicha semana.

El flujo interregional desde una comuna c hacia una región r se calcula como la suma de los flujos entre las zonas i pertenecientes a la comuna c y las zonas j pertenecientes a la región r , tal como se muestra en la Ecuación 10.

$$f r_{crk} = \sum_{i \in c} \sum_{j \in r} f_{ijk} \quad (10)$$

Luego, se calcula el flujo porcentual en relación al total de teléfonos detectados en la comuna c durante la semana k . Con el objetivo de hacer comparables los flujos porcentuales de salida entre las distintas comunas, se aplica un factor de ajuste por población, tal como se muestra en la Ecuación 11.

$$s r_{crk} = \frac{f r_{crk}}{T_{ck}} \times p_c, \quad (11)$$

Finalmente, este indicador se agrega para los pares de regiones de interés, sumando sobre las comunas correspondientes, y se normaliza por el total de viajes estimados para el período base, para así expresar la movilidad en términos porcentuales con respecto a dicho período.

2.4. Supuestos

El cálculo de la movilidad como aquí se describe requiere asumir algunos supuestos importantes. En primer lugar, la escala en la que los datos son capturados no permite la detección de viajes dentro de una misma zona censal. Sin embargo, debido a que la metodología está diseñada para detectar viajes de trabajo, se asume que la mayoría de personas trabajan en una zona censal distinta a la de su zona censal de hogar. Por otro lado, el tomar el máximo entre los flujos $T1$ y $T2$ (mañana y tarde), entrega una mejor caracterización de los flujos siempre y cuando la mayoría de personas trabajen en una jornada laboral completa. Finalmente, al realizar un ajuste de observaciones con respecto a las dos primeras semanas de marzo implica asumir que no ha habido grandes movimientos (cambios de domicilio) desde esta fecha. Esto puede no ser cierto, puesto que durante estas semanas aún podían existir personas de vacaciones, haciendo aumentar las observaciones de referencia en sitios turísticos.

3. Resultados

En esta sección se muestra la evolución temporal de la movilidad a nivel comunal en el Área del Gran Concepción y Región del Ñuble y a nivel interregional entre Ñuble y Biobío.

3.1. Movilidad a nivel comunal en el Gran Concepción

Las Figuras 1 y 2 presentan la movilidad de las comunas del Gran Concepción entre los meses de marzo y octubre, y separadas entre comunas centrales y comunas periféricas respectivamente. En el gráfico es posible apreciar que la mayor baja de movilidad ocurre luego de la declaración de Fase 4 de la pandemia de COVID-19 en el país, cuyo principal hito corresponde al cierre de establecimientos educacionales, con lo que la movilidad se ve reducida en valores que van desde un 29% en Talcahuano, hasta un 37% en Chiguayante. Luego de esto, la autoridad sanitaria decretó la medida de cuarentena total en las comunas de Hualpén y San Pedro de la Paz la que entró en vigencia el día lunes 6 de abril y se extendió por dos semanas marcadas por círculos rojos en la Figura 1. La medida también incluyó un cordón sanitario alrededor de ambas comunas. Como consecuencia, los niveles de movilidad fueron los más bajos registrados durante el período de estudio, con una reducción de un 40% para San Pedro de la Paz y un 34% en Hualpén. El valor de San Pedro de la Paz durante su primera semana de cuarentena corresponde, también, a la movilidad más baja registrada de alguna comuna del Gran Concepción entre

los meses de marzo y octubre. Durante estas dos semanas, las demás comunas del Gran Concepción presentan pequeñas tendencias al alza y valores de movilidad mayores a los alcanzados en la semana inmediatamente después a la declaración de Fase 4.



Figura 1: Evolución temporal de movilidad (flujo de salidas de la zona hogar) en comunas centrales del Gran Concepción.

Durante el mes de mayo se observa una tendencia al alza en todas las comunas del Gran Concepción, en mayor medida en las comunas periféricas. En el mes de junio es posible apreciar una leve baja de movilidad en las primeras semanas; la tendencia general es al alza si se considera la totalidad del mes. Durante este período no existieron medidas sanitarias dictadas por la autoridad, al menos durante los días de semana.

Los meses de julio y agosto presentan una notoria tendencia al alza en todas las comunas del Gran Concepción. Como respuesta, la autoridad implementó una serie de cordones sanitarios en distintos puntos de la ciudad con el objetivo de reducir la movilidad. Los primeros cordones sanitarios fueron implementados en las comunas de Coronel y Lota durante el mes de julio, mientras que durante el mes de agosto entran en vigencia el cordón sanitario que rodeó la comuna de Talcahuano y los cordones sanitarios entre las comunas de Concepción y Penco, y entre las comunas de San Pedro de la Paz y Coronel. Si bien estos cordones sanitarios producen una leve reducción de movilidad en las comunas, sus efectos son momentáneos y no logran revertir la tendencia al alza.

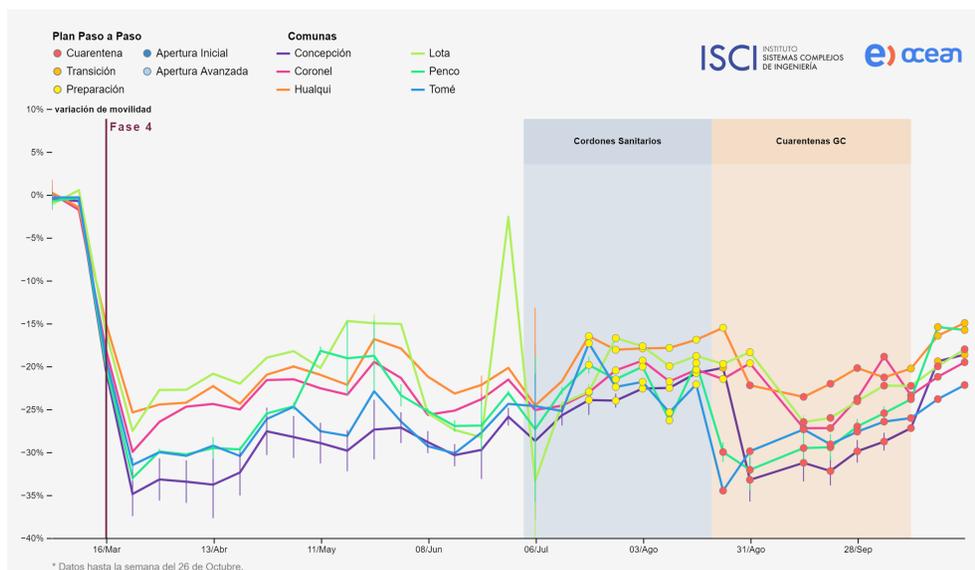


Figura 2: Evolución temporal de movilidad (flujo de salidas de la zona hogar) en comunas periféricas del Gran Concepción.

Como consecuencia del aumento de contagios, durante la cuarta semana de agosto las comunas de Penco y Tomé retrocedieron a la Fase 1 (Cuarentena) del Plan Paso a Paso, mientras que las comunas de Concepción y Hualpén retrocedieron a la Fase 3 (Transición). El efecto de la cuarentena en Penco y Tomé es inmediato, llegando a niveles de reducción de movilidad de 30 % y 34 % durante la primera semana de cuarentena. Por otra parte, las comunas de Concepción y Hualpén no muestran una disminución de movilidad en esta semana, principalmente debido a que la fase de transición se enfoca a disminuir la movilidad durante los fines de semana. Durante esta semana la mayoría de las comunas del Gran Concepción alcanzan los valores más altos de movilidad desde el inicio de la pandemia, destacando Hualpén y Hualquí, ambos con sólo un 15 % de reducción con respecto a las dos primeras semanas de marzo.

En la semana siguiente retroceden a cuarentena total todas las comunas del Gran Concepción, con excepción de Lota y Coronel donde la cuarentena comenzó a regir una semana después. Esta medida tiene un efecto inmediato en la movilidad. Durante la primera semana de aplicación de la cuarentena las comunas de Concepción, Talcahuano, Chiguayante, Coronel y Lota registran sus niveles de movilidad más bajos desde el inicio de la pandemia, mientras que en Hualpén y San Pedro de la Paz la reducción de movilidad no logra superar los niveles alcanzados durante la primera cuarentena de marzo en ambas comunas. En general los impactos de la cuarentena son desiguales territorial-

mente, ya que comunas centrales presentan impactos importantes, tales como Concepción, Chiguayante, Talcahuano, San Pedro, Hualpén, lo que contrasta con Penco, Tomé, Lota y parte de Coronel, que no tienen un impacto significativo al comparar con las semanas anteriores a la cuarentena. Durante el mes de septiembre y las primeras semanas de agosto, y con todas las comunas del Gran Concepción aún bajo cuarentena total, la movilidad muestra una sostenida tendencia al alza, particularmente en las comunas periféricas del Gran Concepción. En la cuarta semana de octubre, las principales comunas del Gran Concepción entran en Fase 2 (Transición) llevando la movilidad hasta los niveles que existían previo a la cuarentena, y en algunos casos mayores, continuando en aumento hasta el final del mes.



Figura 3: Evolución temporal de movilidad (flujo de salidas de la zona hogar) en distintas comunas de la Región de Ñuble.

3.2. Movilidad a nivel comunal en la Región de Ñuble

Para analizar la movilidad en la Región de Ñuble, se consideró una escala temporal idéntica a la Región del Biobío, es decir, a inicios de la Fase 4. Esto involucra como hito principal el cierre de los establecimientos educacionales, trayendo consigo una fuerte reducción de la movilidad en las principales comunas de la región que varía del 25 % al 45 %, como señala la Figura 3.

Posteriormente, durante el primer periodo de cuarentena en Chillán y Chillán Viejo instaurado en el mes de abril y en conjunto con la medida de cordón sanitario, se mantiene la disminución de la movilidad, pero con un

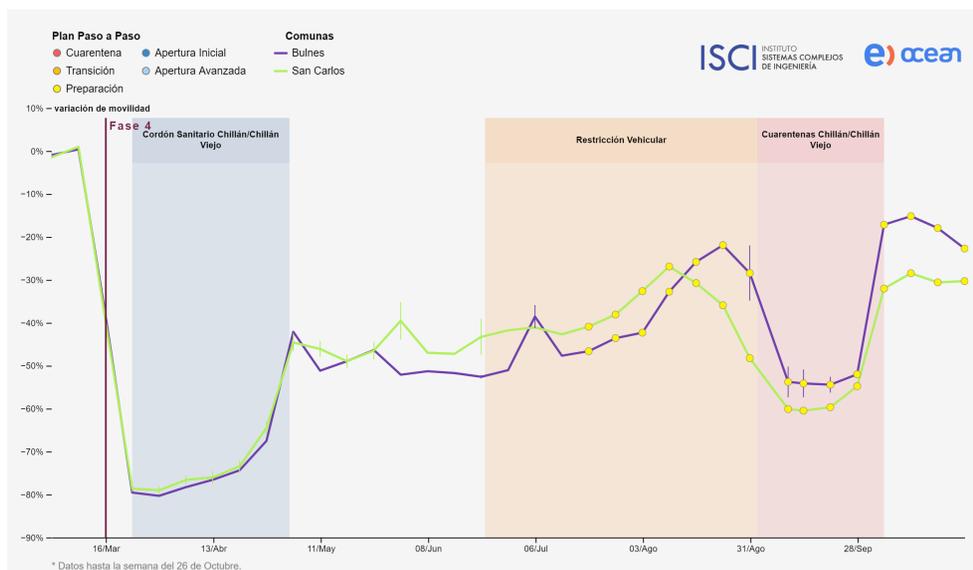


Figura 4: Evolución temporal de movilidad hacia la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo desde distintas comunas de la Región de Ñuble.

leve crecimiento en el transcurso de las semanas. Una vez terminada esta cuarentena, entre los meses de mayo y junio, la movilidad llega rápidamente a niveles cercanos al 20 % para Chillán, Chillán Viejo y San Carlos y al 30 % para Bulnes.

Respecto a la restricción vehicular aplicada en los meses de junio, julio y agosto, se observa una leve reducción de los flujos de movilidad al comenzar esta medida. Sin embargo, iniciado julio, se visualiza una tendencia al alza estadísticamente similar a meses sin ninguna medida. Es probable que el efecto de esta medida no se refleje en los datos analizados debido a que la metodología aplicada mide primordialmente los viajes laborales en días de semana y la restricción vehicular se aplicó fuera de los horarios punta. Un segundo aspecto a destacar en este periodo es el gran aumento de movilidad en Bulnes, lo que podría estar asociado a un eventual paso a la Fase 4 (Apertura Inicial) del Plan Paso a Paso, el que se vio mermado debido a un aumento de brotes en esta comuna, provocando un estancamiento en la Fase 3 (Preparación).

En el segundo período de cuarentena en las ciudades de Chillán y Chillán Viejo, la movilidad se acerca al 30 % de reducción máxima, cifra menor a la observada en el primer periodo de cuarentena (aproximadamente de un 40 %). En contraste, se observa drásticamente una tendencia al alza una vez que las comunas avanzan al desconfinamiento.

Al observar en detalle la efectividad del cordón sanitario y cuarentenas en la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo (Figura 4), es posible notar que



Figura 5: Evolución temporal de movilidad hacia el centro de Chillán desde el resto de Chillán y Chillán Viejo.

estas medidas ayudan a mantener la reducción de viajes hacia la intercomuna, así, ciudades como Bulnes y San Carlos se acercan a valores del 50 % o más. Sin embargo, al finalizar las cuarentenas coincide con un aumento cada vez mayor de la movilidad, principalmente por la dependencia del sector terciario presente en la ciudad de Chillán.

La Figura 5 refleja el desplazamiento interno hacia el centro de Chillán, el cual muestra un aumento de la movilidad registrándose el período más alto a mediados de agosto, con valores que rondan el 25 % de reducción en comparación a las semanas base. Por otra parte, la segunda cuarentena genera un impacto importante, con registros mayores al 50 % de disminución de flujos, pero que no alcanzan al periodo de abril a mayo, en que existió cuarentena y cordón sanitario de manera paralela.

3.3. Movilidad en la interregion Biobío - Ñuble

El grado de movilidad en la interregión se muestra en las Figura 6 y 7, en donde se analizaron las comunas más próximas a los límites regionales y cercanas a las capitales de cada región. En cuanto a la escala temporal, se analizan los principales feriados y festivos hasta el mes de julio, en los cuales se implementaron cordones sanitarios en las ciudades capitales de cada región (Gran Chillán y Gran Concepción).

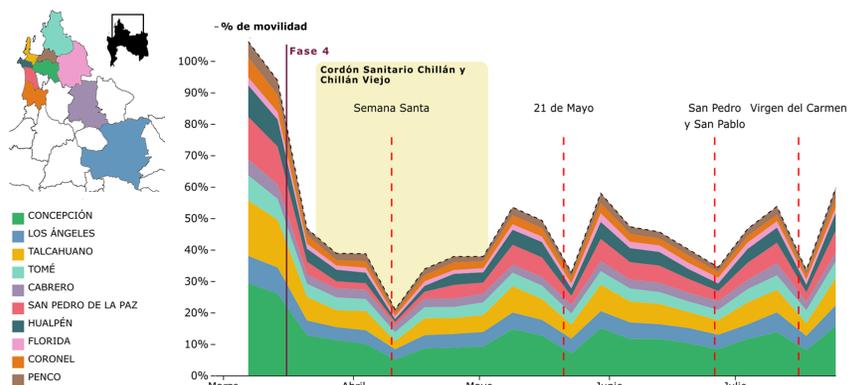


Figura 6: Evolución temporal de movilidad (flujo de salidas de la zona hogar) desde distintas comunas de la Región del Biobío hacia la Región de Ñuble considerando fines de semana.

La Figura 6 muestra que, a modo general en cada fecha festiva, la movilidad disminuye considerablemente desde la región del Biobío hacia Ñuble y desde la región del Biobío hacia Ñuble. Así mismo, luego del inicio de la Fase 4 de la pandemia, la movilidad tiende a estabilizarse en torno a un 40% con respecto al periodo base. Durante el fin de semana del feriado de semana santa, la movilidad llega aproximadamente al 20% producto de la implementación del cordón sanitario. Luego de esa fecha, la movilidad comienza a aumentar, en especial luego del fin del cordón sanitario de Chillán y Chillán Viejo, llegando a niveles cercanos al 55%. El siguiente cordón sanitario, correspondiente al feriado del 21 de mayo, logra disminuir la movilidad hasta llevarla aproximadamente al nivel del 35%. El cordón sanitario correspondiente a la celebración de San Pedro y San Pablo produce efectos menores reducción de movilidad (en relación a la tendencia de las semanas anteriores), llegando a niveles de aproximadamente un 40%. Finalmente, durante el fin de semana correspondiente a la celebración de la Virgen del Carmen, la movilidad vuelve a disminuir producto del cordón sanitario, llegando hasta aproximadamente un 35%. La comuna que más contribuye al flujo interregional desde Biobío a Ñuble es Concepción, la que también presenta los mayores impactos al aplicarse los cordones sanitarios. Otras comunas del Gran Concepción, tales como Talcahuano y Tomé, también presentan disminuciones de movilidad en estas fechas. Por otro lado, la segunda comuna que más contribuye al flujo inter-

regional es Los Ángeles, la que no tuvo cordones sanitarios en estas fechas y no presenta disminuciones notorias de movilidad en los mencionados fines de semana.

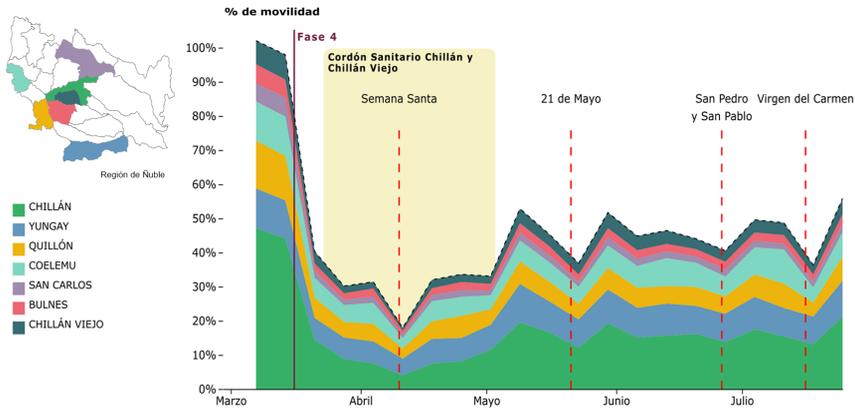


Figura 7: Evolución temporal de movilidad (flujo de salidas de la zona hogar) desde distintas comunas de la Región de Ñuble hacia la Región del Biobío considerando fines de semana.

La Figura 7 muestra la movilidad desde comunas de la Región de Ñuble hacia la Región del Biobío. De manera similar a la gráfica anterior, se evidencia una rápida disminución de movilidad interregional luego del inicio de la Fase 4 de la pandemia, llegando a valores en torno al 30% de movilidad. En el fin de semana del feriado de semana santa, la movilidad se reduce hasta un 20% aproximadamente. Luego del fin del cordón sanitario en Chillán y Chillán Viejo, la movilidad aumenta llegando al 50%, mientras que en el fin de semana largo correspondiente al 21 de mayo, esta disminuye aproximadamente hasta el 35%. Luego de esto, la movilidad se mueve en torno a valores cercanos al 40%, con una leve disminución en el fin de semana correspondiente a la celebración de San Pedro y San Pablo. Para el último festivo estudiado, correspondiente a la celebración de la Virgen del Carmen, la movilidad disminuye hasta un 35% aproximadamente. La comuna que más aporta al flujo interregional es Chillán, seguido de Yungay y Quillón.

4. Conclusiones y Discusión

Luego de comparar cada una de las medidas sanitarias se observa que los impactos más significativos en la movilidad de las personas están relacionados con el cierre de establecimientos educacionales. Además, se experimentan bajas importantes de movilidad al comienzo de cada cuarentena, perdiendo su efectividad con el paso del tiempo. Los efectos de la cuarentena para el Gran Concepción son notorios en comunas como San Pedro de la Paz o Hualpén, pero no logran mantener una baja de movilidad sostenida en el tiempo, pues sólo durante el periodo en que las cuarentenas son aplicadas. Si bien las causas de este comportamiento en la movilidad de las personas a lo largo de la cuarentena se encuentran fuera del alcance de este estudio, es probable que una multiplicidad de factores contribuya a ello, tales como la necesidad de las personas de abastecerse, imposibilidad de trabajar desde el hogar, o incluso la fatiga y estrés que producen los períodos largos de cuarentena.

Al analizar la movilidad entre las regiones de Ñuble y Biobío se muestran un efectos notorios de los cordones sanitarios en la reducción de movilidad inter-regional durante fines de semana largos, principalmente entre las comunas de Concepción y Chillán. La excepción son las comunas que no tienen un cordón sanitario en estas fechas, ya que no presentan disminuciones significativas de movilidad. Por otra parte, los cordones sanitarios implementados durante días de semana entre comunas del Gran Concepción no muestran efectos claros en reducción de la movilidad.

En cuanto al comportamiento de los datos durante la restricción vehicular aplicada en la Región de Ñuble, no se observa una disminución de la movilidad, ya sea por los flujos registrados hacia la intercomuna Chillán-Chillán Viejo como de las personas que se desplazan dentro de estas mismas comunas.

Para Chillán y Chillán Viejo, al ser comunas conurbadas, ambas ciudades presentan efectos muy similares mostrando reducciones fuertes en los períodos de cuarentena. Por otra parte, estos impactos en la disminución de la movilidad se ven también reflejados en sus comunas aledañas como San Carlos y Bulnes, debido a los servicios ofrecidos por la intercomuna.

Es necesario destacar que los métodos presentados en este estudio poseen limitaciones principalmente asociadas a los datos de movilidad utilizados. En primer lugar, la muestra de teléfonos corresponde a una única compañía telefónica, lo que puede inducir ciertos sesgos (socioeconómicos y/o territoriales) dependiendo de las características de los segmentos de clientes a los que apun-

ta dicha compañía. Por otra parte, la metodología utilizada está diseñada para captar viajes de trabajo. Al considerar la moda geográfica para determinar los movimientos de las personas, viajes cortos (en términos temporales) durante los bloques de estudio no son considerados dentro de la métrica de movilidad.

A pesar de las limitaciones mencionadas, los resultados y análisis presentados en este artículo ponen de manifiesto la relevancia de contar con datos de telefonía móvil y el desarrollo de metodologías de análisis que apoyen la toma de decisiones en circunstancias como la pandemia del COVID 19. En particular, los datos de telefonía móvil permiten un grado de granularidad espacio-temporal que facilita el entendimiento de los efectos de las distintas medidas sanitarias en la movilidad de las personas. Lo anterior se ha manifestado en el trabajo conjunto del equipo de Movilidad de la Iniciativa COVID Analytics del Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería con autoridades nacionales y regionales. En el caso particular de las regiones de Ñuble y Biobío, estos análisis han sido relevantes para la implementación y evaluación de medidas sanitarias por parte de las Intendencias Regionales, a través del vínculo con la Secretaría Regional del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la zona Centro-Sur.

Agradecimientos: Los autores agradecen apoyo de ANID PIA/BASAL AFB180003 y a Digital Entel Ocean por facilitar el acceso a los datos de movilidad y el desarrollo metodológico del equipo de Movilidad de la Iniciativa COVID Analytics del Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, disponible en <https://covidanalytics.isci.cl/movilidad/equipo/>. Esta investigación ha sido financiada por el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ANID PIA AFB180003).

Referencias

- [1] H. Allcott, L. Boxell, J. Conway, B. Ferguson, M. Gentzkow, y B. Goldman. Economic and health impacts of social distancing policies during the coronavirus pandemic. *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- [2] K. A. Auger, S. S. Shah, T. Richardson, D. Hartley, M. Hall, A. Warniment, K. Timmons, D. Bosse, S. A. Ferris, P. W. Brady, A. C. Schondelmeyer, y J. E. Thomson. Association Between Statewide School Closure and COVID-19 Incidence and Mortality in the US. *JAMA*, 324(9):859–870, 09 2020.

- [3] G. Bonaccorsi, F. Pierri, M. Cinelli, A. Flori, A. Galeazzi, F. Porcelli, A. L. Schmidt, C. M. Valensise, A. Scala, W. Quattrociocchi, y F. Pam-molli. Economic and social consequences of human mobility restric-tions under covid-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(27):15530–15535, 2020.
- [4] C. O. Buckee, S. Balsari, J. Chan, M. Crosas, F. Dominici, U. Gasser, Y. H. Grad, B. Grenfell, M. E. Halloran, M. U. G. Kraemer, M. Lipsitch, C. J. E. Metcalf, L. A. Meyers, T. A. Perkins, M. Santillana, S. V. Scar-pino, C. Viboud, A. Wesolowski, y A. Schroeder. Aggregated mobility data could help fight covid-19. *Science*, 368(6487):145–146, 2020.
- [5] A. Carranza, M. Goic, E. Lara, M. Olivares, G. Y. Weintraub, J. Cova-rrubia, C. Escobedo, N. Jara, y L. J. Basso. The social divide of social distancing: Lockdowns in santiago during the COVID-19 pandemic. *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- [6] A. Cartenì, L. Di Francesco, y M. Martino. How mobility habits influenced the spread of the covid-19 pandemic: Results from the italian case study. *Science of The Total Environment*, 741:140489, 2020.
- [7] C. Cuadrado, M. J. Monsalves, J. Gajardo, M. P. Bertoglia, M. Najera, T. Alfaro, M. Canals, J. Kaufmann, y S. Peña. Impact of small-area lockdowns for the control of the covid-19 pandemic. *medRxiv*, 2020.
- [8] G. de Chile. Plan de acción paso a paso nos cuidamos, 2020.
- [9] H. Fang, L. Wang, y Y. Yang. Human mobility restrictions and the spread of the novel coronavirus (2019-ncov) in china. *Journal of Public Economics*, 191:104272, 2020.
- [10] N. Gozzi, M. Tizzoni, M. Chinazzi, L. Ferres, A. Vespignani, y N. Perra. Estimating the effect of social inequalities in the mitigation of covid-19 across communities in santiago de chile. *medRxiv*, 2020.
- [11] S. Hsiang, D. Allen, S. Annan-Phan, K. Bell, I. Bolliger, T. Chong, H. Druckenmiller, L. Y. Huang, A. Hultgren, E. Krasovich, P. Lau, J. Lee, E. Rolf, J. Tseng, y T. Wu. The effect of large-scale anti-contagion policies on the covid-19 pandemic. *Nature*, 584(7820):262–267, Aug 2020.
- [12] J. S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, y N. A. Christakis. Population flow drives spatio-temporal distribution of covid-19 in china. *Nature*, 582(7812):389–394, Jun 2020.

- [13] M. U. G. Kraemer, C.-H. Yang, B. Gutierrez, C.-H. Wu, B. Klein, D. M. Pigott, L. du Plessis, N. R. Faria, R. Li, W. P. Hanage, J. S. Brownstein, M. Layan, A. Vespignani, H. Tian, C. Dye, O. G. Pybus, y S. V. Scarpino. The effect of human mobility and control measures on the covid-19 epidemic in china. *Science*, 368(6490):493–497, 2020.
- [14] S. Lai, I. Bogoch, N. Ruktanonchai, A. Watts, X. Lu, W. Yang, H. Yu, K. Khan, y A. J. Tatem. Assessing spread risk of wuhan novel coronavirus within and beyond china, january-april 2020: a travel network-based modelling study. *medRxiv : the preprint server for health sciences*, página 2020.02.04.20020479, Feb 2020.
- [15] H. Tian, Y. Liu, Y. Li, C.-H. Wu, B. Chen, M. U. G. Kraemer, B. Li, J. Cai, B. Xu, Q. Yang, B. Wang, P. Yang, Y. Cui, Y. Song, P. Zheng, Q. Wang, O. N. Bjornstad, R. Yang, B. T. Grenfell, O. G. Pybus, y C. Dye. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the covid-19 epidemic in china. *Science*, 368(6491):638–642, 2020.
- [16] D. Zhu, S. R. Mishra, X. Han, y K. Santo. Social distancing in Latin America during the COVID-19 pandemic: an analysis using the Stringency Index and Google Community Mobility Reports. *Journal of Travel Medicine*, 07 2020. taaa125.

