

LOS DISTURBIOS DE OCTUBRE DEL 2019 EN SANTIAGO, MODELAMIENTO MATEMÁTICO Y SU RELACIÓN CON EL TRANSPORTE PÚBLICO

Carlos Cartes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
Universidad de los Andes, Chile – carlos.cartes@miuandes.cl

Palabras clave: desorden público, simulaciones numéricas, transporte público

RESUMEN

Este trabajo trata sobre el estallido social, ocurrido en Chile durante Octubre del 2019 y la influencia que la red de transporte público tuvo en su formación y desarrollo. En particular se analizarán los desórdenes ocurridos en Santiago, que a pesar de mostrar una evolución temporal típica a este tipo de situaciones, su distribución espacial dista bastante de cualquier reporte sobre disturbios ocurridos en otras locaciones, como los desórdenes raciales de los años 60 en Estados Unidos o las revueltas de Francia del 2005. Además se mostrarán los esfuerzos realizados para reproducir, mediante modelos numéricos, el comportamiento de las revueltas en Santiago. Estos trabajos indican que la influencia del sistema de transporte público de Santiago, y en especial la red del Metro, es vital para explicar la distribución de los desórdenes. Además existe una cantidad importante de evidencia, indicando que cualquier modelo que pretenda reproducir estos desórdenes, requiere de la implementación de un mecanismo que permita trasladar grandes cantidades de población, entre las distintas áreas de la ciudad.

Keywords: public disorder, numerical simulations, public transport

ABSTRACT

This work is about the social outbreak in Chile during October 2019 and the public transport network's influence on its formation and development. In particular, the riots that occurred in Santiago will be analyzed. Despite showing a typical temporal evolution of this type of situation, its spatial distribution is far from any report on riots in other locations, such as the racial riots of the 1960s in the United States or the revolts in France in 2005. In addition, the efforts made to reproduce, through numerical models, the behavior of the revolts in Santiago will be shown. These works indicate that the influence of the Santiago public transport system, especially the Metro network, is vital to explain the distribution of disorders. Besides, there is a significant amount of evidence indicating that any model that intends to reproduce these disorders requires the implementation of a mechanism that allows large amounts of population to be transferred between different areas of the city.

1. INTRODUCCIÓN

El estallido social del 2019 en Chile fueron una serie de protestas generalizadas que comenzaron el 18 de Octubre del 2019. Las manifestaciones fueron gatilladas por un alza de las tarifas en el Metro de Santiago, Rojas y Acosta (2020), pero rápidamente escaló a una protesta en contra de la desigualdad e injusticia social, Sehnbruch y Donoso (2020). Las muestras de violencia tuvieron como consecuencia que el gobierno adoptara varias reformas, incluyendo un aumento del sueldo mínimo y una mejora del sistema de salud. Los disturbios se mantuvieron por varios meses, continuando hasta Abril del 2020. En su punto más alto las protestas reunieron 1,2 millones de personas en el centro de Santiago, haciéndola la movilización más grande de la historia de Chile, La Tercera (2019). El costo económico del estallido fue estimado en unos 4600 millones de dólares US, equivalentes al 1,1 % del producto interno bruto chileno, Hribernik y Haynes (2020). Es cifra incluye el costo de los negocios perdidos, daño a la propiedad pública y privada y el gasto del gobierno en los esfuerzos de control y limpieza.

Los disturbios se caracterizan por una importante ola de violencia, que interrumpe la paz e implica la participación de un grupo de civiles. Generalmente se manifiesta como desórdenes públicos y la destrucción de propiedad pública y privada, llegando incluso a haber muertes debido a la violencia. Estos desórdenes pueden ser gatillados espontáneamente, debido a condiciones ambientales, o comenzados intencionalmente como un acto político o protesta.

Las primeras aproximaciones cuantitativas al problema, como el trabajo de Spilerman (1970), revelaron que un desorden extendido depende de muchos factores, siendo la pobreza y exclusión social los más importantes. El modelamiento matemático del problema comenzó con el trabajo pionero de Burbeck et al. (1978) quienes, usando un modelo epidemiológico, fueron capaces de capturar la evolución temporal de los desórdenes raciales experimentados en los Estados Unidos, durante la década de los 60. Posteriormente Granovetter y Soong (1983) introducen la idea revolucionaria de que los potenciales participantes de un disturbio realizan un análisis de costos y beneficios al momento de decidir, en forma racional, si se unen o no. Formulaciones posteriores como la de Epstein (2002), que hacen uso de Agent Based Models (ABM) fueron capaces de reproducir características más detalladas de los disturbios, como los períodos de calma, seguidos por erupciones de violencia, además de los efectos de la distribución de la riqueza en la población sobre la intensidad de los desórdenes, por Ormazábal et al. (2017), y la aparición de una transición de fase entre el comportamiento pacífico y violento, Goode y Pires (2022); Ormazábal et al. (2022).

Acercamientos posteriores al mismo problema utilizan ecuaciones diferenciales parciales, por ejemplo Davies et al. (2013) lograron reproducir exitosamente la dinámica espacio temporal observada durante los disturbios de Londres el 2011. Este resultado fue obtenido a partir de un modelo que toma en consideración los costos y beneficios que afectarían a alguien dispuesto a unirse a los disturbios, Baudains et al. (2013). Este mecanismo está basado en la forma que los delincuentes deciden cometer crímenes comunes, Bernasco y Nieuwebeerta (2004); Clare et al. (2009); Davies y Marchione (2015). Otro modelo que se basa en ecuaciones diferenciales es el desarrollado por Bonnasse-Gahot et al. (2018), usado para reproducir los disturbios de Francia durante el 2005, mediante un modelo epidemiológico no local. Este modelo reprodujo exitosamente la naturaleza contagiosa de los disturbios, Petrovskii et al. (2020), y su propagación espacial en la ciudad,

formando frentes de ondas viajeras, Berestycki et al. (2015).

Como consecuencia de los disturbios que se produjeron en Chile durante el 2019 nuevos trabajos han aparecido, que intentan reproducir la actividad de los desórdenes. Por ejemplo Caroca Soto et al. (2020) mostraron que el comportamiento temporal de la actividad agregada de los desórdenes producidos en Chile durante Octubre del 2019, sigue el modelo epidemiológico propuesto por Burbeck. Con el fin de reproducir al menos algunas de las características espaciales de los disturbios Cartes y Davies (2021), desarrollaron una formulación que incorpora una red de transporte simple sobre un patrón prototípico de una ciudad Latinoamericana, propuesto por Griffin y Ford (1980). Es importante hacer énfasis que los desórdenes ocurridos en Santiago se acumularon alrededor de las estaciones del Metro de Santiago, además de que su distribución está ligada a los ingresos de los residentes de las áreas afectadas, como mostraron Cartes et al. (2022). Posteriormente Cartes (2022) usó datos geográficos de Santiago, concernientes a su distribución de población e ingreso, en conjunto con la formulación epidemiológica de Bonnasse-Gahot, para intentar reproducir la distribución espacio temporal de disturbios observada en esa ciudad. El autor se encontró con que a pesar de que el modelo lograba reproducir adecuadamente la distribución temporal de los disturbios, la formulación epidemiológica fallaba cuando se trataba sobre la distribución espacial. El autor concluyó que para lograr la distribución observada en Santiago era necesario contar con un mecanismo de transporte, que fuera capaz de mover a la población dentro de la ciudad.

Este trabajo tiene como propósito describir las principales características de los disturbios ocurridos en Santiago durante Octubre del 2019. Además se mostrarán los intentos de reproducir el comportamiento espacio temporal de los desórdenes, mediante distintos modelos numéricos. El primero de estos corresponde a la extensión del modelo para los disturbios de Londres del 2011, realizada por Cartes y Davies (2021), este modelo busca reproducir los flujos de población que se forman entre las residencias de los manifestantes y los lugares que congregan protestas o saqueos, el comportamiento es controlado mediante un análisis de costos y beneficios. Mientras que el segundo consiste una extensión del modelo epidemiológico no local de los disturbios de Francia en el 2005, realizada por Cartes (2022). Esta formulación está basada en el modelo de Burbeck que explica la formación de disturbios como el contagio de un patrón de comportamiento. La extensión propuesta permite el contagio con direcciones preferentes, entre las distintas regiones de una ciudad, pero no permite el desplazamiento de la población.

Finalmente se analizarán los puntos fuertes y débiles de ambos modelos, y se discutirán las posibles estrategias con el fin de conseguir resultados que representen de mejor manera las observaciones realizadas durante el estallido social de Octubre del 2019.

2. OBSERVACIONES EMPÍRICAS DE LOS DISTURBIOS

En esta sección se revisarán los principales resultados de un análisis, realizado por Cartes et al. (2022), correspondiente a los primeros días de los disturbios, ocurridos en Santiago en Octubre del 2019. Los datos utilizados fueron proporcionados por SOSAFE, que consiste de una plataforma en línea que permite a sus usuarios reportar cualquier evento que consideren relevante. La plataforma registra el momento, posición geográfica y una breve descripción del evento en cuestión.

La gravedad de los eventos es muy amplia, van desde los relativamente inocuos, como la interrupción temporal del tráfico, hasta los muy graves, como los incendios intencionales de infraestructura pública y privada. Los datos en cuestión aún están disponibles en forma pública, SOSAFE (2019). La superficie analizada, corresponde a la misma cubierta por el sistema de transporte público de Santiago. Específicamente la superficie está limitada por los paralelos $-33,32^{\circ}$ y $-33,67^{\circ}$ latitud Sur y los meridianos $-70,49^{\circ}$ y $-70,87^{\circ}$ longitud Oeste.

Los datos mostraron que la evolución temporal de los disturbios sigue aproximadamente la dinámica descrita por el modelo de Burbeck, tal como se muestra en la Figura 1. La frecuencia de los eventos muestran un crecimiento exponencial, seguido por un decaimiento rápido, una vez alcanzado el máximo. La actividad tiene su nivel más alto alrededor de las 22h, mientras que el mínimo ocurrió alrededor de las 8h.

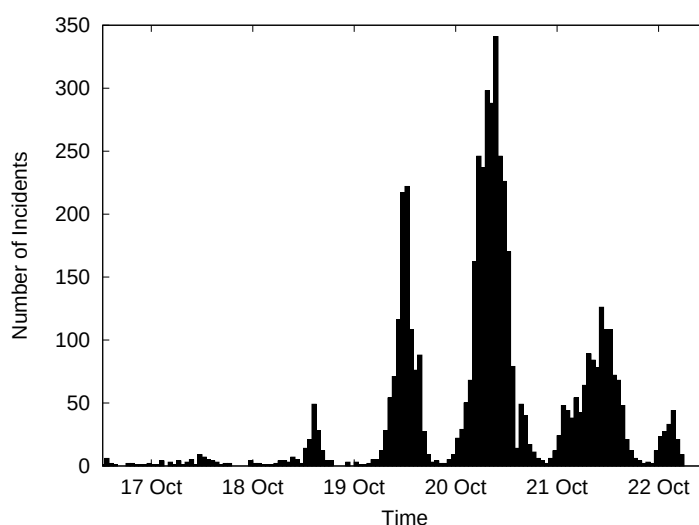


Figura 1: Comportamiento temporal, por horas, de los eventos reportados en Santiago, durante los primeros días de los disturbios en Octubre del 2019.

La distribución espacial muestra una elevada concentración de eventos alrededor de las estaciones del Metro de Santiago. Alrededor del 50 % de los eventos fueron reportados a 1km o menos de las estaciones del Metro y el 80 % a 3km o menos, tal como se muestra en la Figura 2. En la Figura 3 se muestra la densidad normalizada de los disturbios, en la figura el valor 0 representa los lugares sin disturbios y el valor 1 el máximo reportado. Esta acumulación de actividad, alrededor de las estaciones del Metro, fue significativo en los vecindarios con altos y bajos ingresos. Es importante mencionar que esta acumulación de actividad en vecindarios con altos ingresos, no ha sido reportada antes, todos los trabajos anteriores siempre asocian los disturbios a zonas de la ciudad con altos índices de pobreza. Además el trabajo de Cartes et al. (2022) propuso una medida de accesibilidad estructural, con el fin de cuantificar cuán fácil era llegar a las distintas áreas de Santiago. Con esta medida se encontró que las regiones más afectadas de la ciudad también eran los lugares más accesibles. Los autores del trabajo propusieron la hipótesis, aún por probar, de que los participantes de los disturbios de Santiago se movían dentro de la ciudad, por medio del sistema de transporte público.

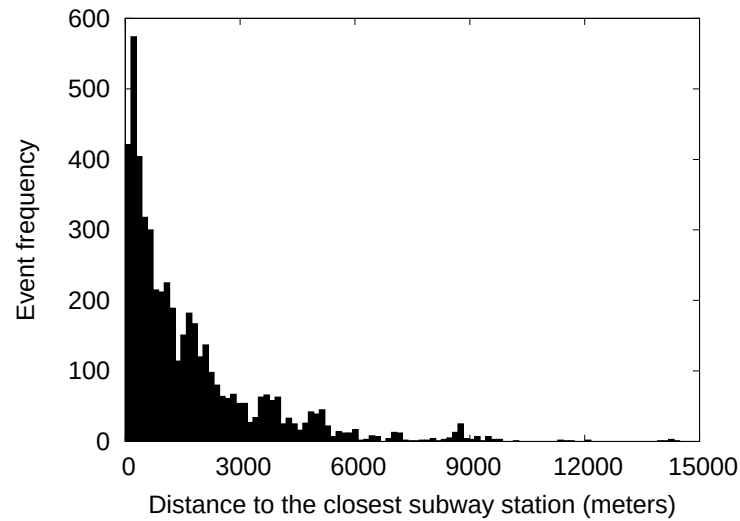


Figura 2: Histograma de la frecuencia de eventos, como función de la distancia a las estaciones del Metro de Santiago.

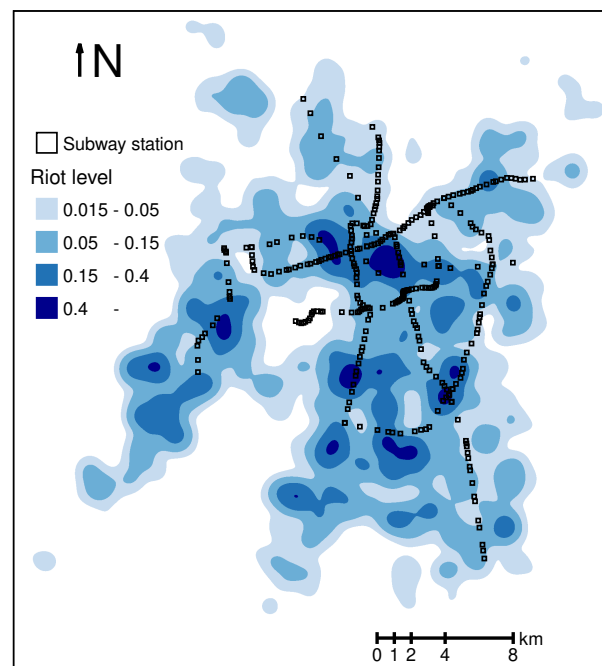


Figura 3: Densidad normalizada de los disturbios en Santiago, junto a la red de estaciones del Metro de Santiago.

3. MODELOS NUMÉRICOS

3.1. Modelo para los disturbios de Londres en 2011

Este modelo fue introducido por Davies et al. (2013) con el fin de reproducir la distribución espacio-temporal de los disturbios de Londres durante el 2011. La formulación original consistía en dos

conjuntos de locaciones: las áreas residenciales y los objetivos de los disturbios. El modelo busca describir los flujos de población entre las residencias de los habitantes de la ciudad y los potenciales objetivos. La formulación consta de tres etapas para los participantes de los disturbios:

- La decisión de participar en el disturbio.
- La elección del lugar donde desplazarse.
- El posible arresto por las fuerzas del orden.

Las primeras dos etapas dependen del *atractivo* del lugar en cuestión. Este atributo depende de un análisis de los costos y beneficios de unirse al disturbio. Los beneficios, en este modelo, dependen de la ganancia monetaria al saquear el lugar considerado, mientras que los costos corresponden al esfuerzo realizado para viajar al lugar en cuestión y la probabilidad de ser arrestado, Wilson (1971). El segundo costo está definido por la razón entre el número de manifestantes y fuerzas de la policía en la zona atacada, el modelo hace hincapié en que para que existan arrestos el número de policías debe ser mayor al número de participantes en los desórdenes, Wilensky (2004).

La decisión de participar en un disturbio depende, además de los costos y beneficios, a la condición pobreza en la que se encuentra la población, Baudains et al. (2013). Por otra parte la distribución de las fuerzas policiales se realiza mediante una ponderación de la *demand*a en cada sitio. Esta cantidad depende de la atracción del lugar, el número de manifestantes y la cantidad de efectivos ya presentes.

Finalmente los arrestos de los manifestantes dependen de la razón entre manifestantes y fuerzas policiales en el lugar. Mientras más pequeña se hace esta razón, mayor es la probabilidad de captura.

La extensión realizada por Cartes y Davies (2021) al modelo, fue la inclusión de redes de transporte. En el modelo estas consistían en un cambio de la *distancia efectiva*, ya que el funcionamiento de una red de transporte efectivamente modifica los tiempos de viaje reduciéndolos. En esta nueva formulación las distancias son calculadas mediante un grafo, que incluye la red de transporte y las posiciones de partida y destino. Las distancias más cortas son calculadas mediante el algoritmo A^* , desarrollado por Hart et al. (1968). Esta formulación fue aplicada sobre un prototipo de ciudad Latinoamericana, originalmente propuesto por Griffin y Ford (1980) y después actualizado por Ford (1996). Este patrón consiste de una “espina” que es donde viven los habitantes de altos ingresos, a esta zona la rodean tres regiones concéntricas sobre las cuales la infraestructura, servicios públicos y la calidad de vida decrecen a medida que nos alejamos del centro, una representación gráfica se muestra en la Figura 4. A pesar de que el declive en las tasas de crecimiento de la población han aliviado muchos de los efectos negativos de esta distribución, como muestra Borsdorf (2003). Los trabajos de Schteingart (2001); Torres (2001); Villaça (1998); Sabatini et al. (2001) aún reportan altos niveles de segregación en las principales ciudades Latinoamericanas. En el caso particular de Santiago, el trabajo sobre la movilidad de Dannemann et al. (2018), señala que la mayor parte de la población se restringe a moverse cerca de su residencia, siendo el único punto de reunión en común el centro de la ciudad.

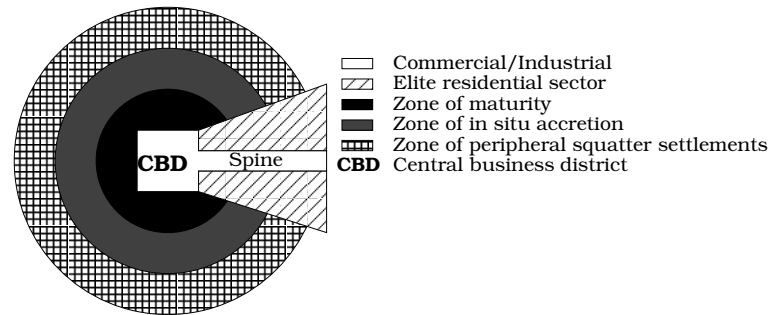


Figura 4: Prototipo de ciudad Latinoamericana, a partir de Griffin y Ford (1980).

A este patrón se le añade una red de transporte muy simple, que consiste de solamente 2 líneas de nodos en forma de cruz, que se conectan justo en el centro de la ciudad. Los resultados del modelo, en presencia de una red de transporte en funcionamiento, muestran una alta actividad que comienza en el centro de la ciudad, exactamente en el punto de intersección. Esta actividad luego se expande hacia las zonas periféricas, formando ondas viajeras similares a las encontradas por los trabajos de Berestycki et al. (2015); Bonnasse-Gahot et al. (2018); Berestycki et al. (2020). La distribución de la actividad es mostrada en las Figuras 5 y 6, donde se puede ver la evolución espacio temporal de los disturbios de la distribuciones de objetivos horizontal y vertical, respectivamente. En estas figuras la distribución horizontal coincide con la línea de transporte que cruza la ciudad de Este a Oeste, pasando por su centro y adentrándose en la zona residencial de altos ingresos. Mientras que la distribución vertical coincide con la línea de transportes que cruza la ciudad de Norte a Sur, pasando por su centro. En estas figuras, la escala de colores indica la cantidad de manifestante, las posiciones están medidas según los elementos de la grilla (su escala se encuentra entre 0 y 63) y la escala temporal está en unidades arbitrarias.

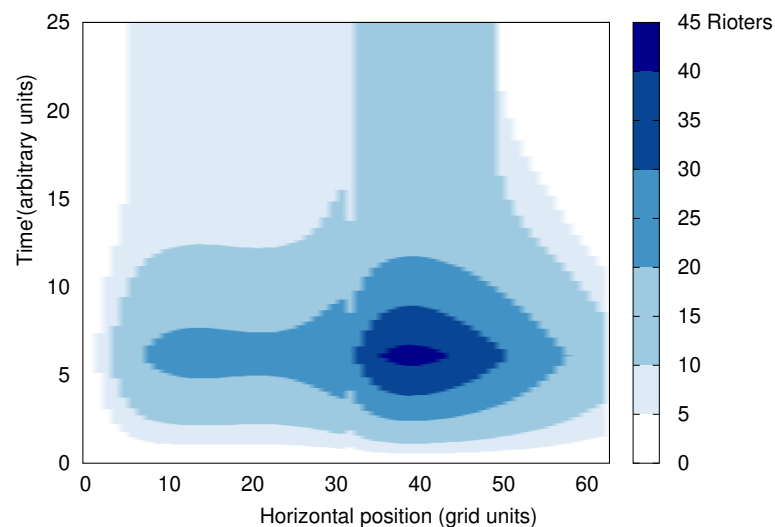


Figura 5: Distribución horizontal de la densidad de los disturbios.

Este modelo extremadamente simple conserva los atributos característicos de los desórdenes de Santiago, durante Octubre del 2019. Esto es, una alta concentración alrededor de los nodos de la red de transporte, estando el máximo ubicado en la zona mejor conectada de la ciudad.

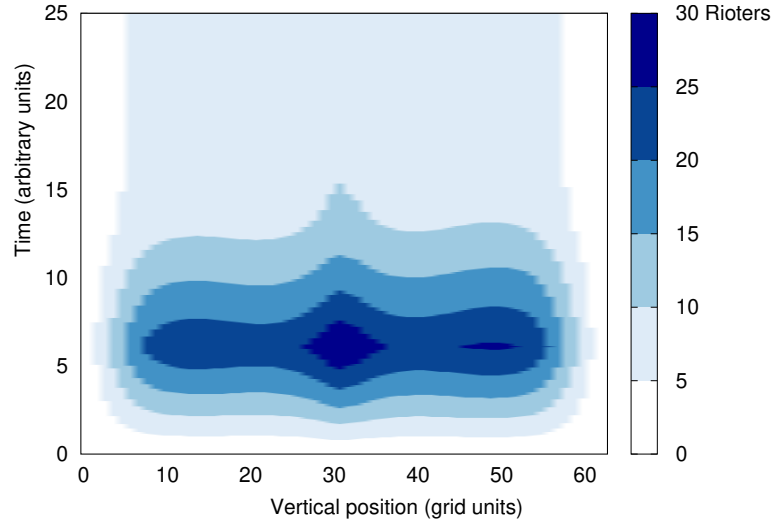


Figura 6: Distribución vertical de la densidad de los disturbios.

Finalmente es necesario mencionar, que en el caso donde la red de transporte no está funcionando, los desórdenes se encuentran restringidos a las zonas periféricas más pobres de la ciudad. Esta menor extensión geográfica no ayuda a controlar la situación, por el contrario, los desórdenes se manifiestan por mucho más tiempo, son más intensos y requieren un mayor contingente policial para ser controlados. El trabajo de Cartes y Davies (2021) concluye que, en contra de la intuición, la presencia de una red de transporta *ayuda* a limitar el daño y controlar de forma más rápida la situación. Este fenómeno es efecto de la reducción de la participación de los manifestantes, además de la restricción en la extensión geográfica, duración y cantidad de fuerzas policiales necesarias para controlar los disturbios.

3.2. Modelo para los disturbios de Francia en 2005

Este es un modelo epidemiológico, basado en el propuesto por Burbeck et al. (1978), mediante una extensión no local realizada por Bonnasse-Gahot et al. (2018), que permite explicar la distribución espacio temporal de los desórdenes de Francia, durante el 2005. Esta formulación esta basada en que cada región de la ciudad tiene una cierta cantidad de manifestantes denotada por λ , además de una *reserva* de individuos dispuestos a unirse a una manifestación, designada por σ . Estas cantidades dependen de la tasa de retiro ω y la transmisión Φ que es una función de la actividad registrada en las zonas aledañas, por lo tanto es un término no-local. El sistema de ecuaciones que determinan la evolución de los disturbios para el sitio k es entonces:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_k}{dt} &= -\omega_k \lambda_k + \sigma_k \Phi [\Lambda_k] \\ \frac{d\sigma_k}{dt} &= -\sigma_k \Phi [\Lambda_k] . \end{aligned} \quad (1)$$

El trabajo de Cartes (2022) propone utilizar este modelo, con el fin de reproducir las distribución espacial de los disturbios de Santiago, durante Octubre del 2019. Con ese objetivo utiliza los datos geográficos de Santiago, junto con la red del Metro y aplica las ecuaciones (1). El autor hace notar que la inclusión de la red de transporte sólo modifica, en el acoplamiento no-local $\Phi[\Lambda_k]$, el cómo las distancias son medidas. Estas distancias fueron calculadas sobre un grafo, al buscar la trayectoria más corta, utilizando el algoritmo A^* formulado por Hart et al. (1968). El autor justifica el incluir sólo la red del metro en el modelo, en lugar de la red de transporte completa, bajo la premisa de que la mayor parte de los disturbios fueron registrados cerca de las estaciones del Metro. Además, restringir la red de transporte hace que la implementación numérica del modelo sea más sencilla. Ya que el modelo requiere de cierta actividad inicial para poder gatillar los disturbios, el autor escoge tomar los 20 lugares que mostraron mayor actividad como fuente.

Los resultados de la evolución temporal del número de manifestantes, producto de la simulación numérica, pueden verse en la Figura 7. Los resultados muestran un buen acuerdo con los datos de la Figura 1 y el modelo de Burbeck, tal como había sido mostrado en el trabajo de Caroca Soto et al. (2020). Además las distintas fracciones de las líneas del Metro indican que mientras más influencia mutua existe entre las diferentes zonas de la ciudad, más intenso es el máximo de los disturbios, haciéndolos más destructivos. Por otra parte la misma red de transporte acelera la evolución temporal del disturbio, el máximo se produce antes, además de que la actividad dura menos tiempo. Entonces la red de transporte tiene como efecto neto el resultado contra intuitivo de hacer los desórdenes más fáciles de controlar, tal como mostró el trabajo de Cartes y Davies (2021).

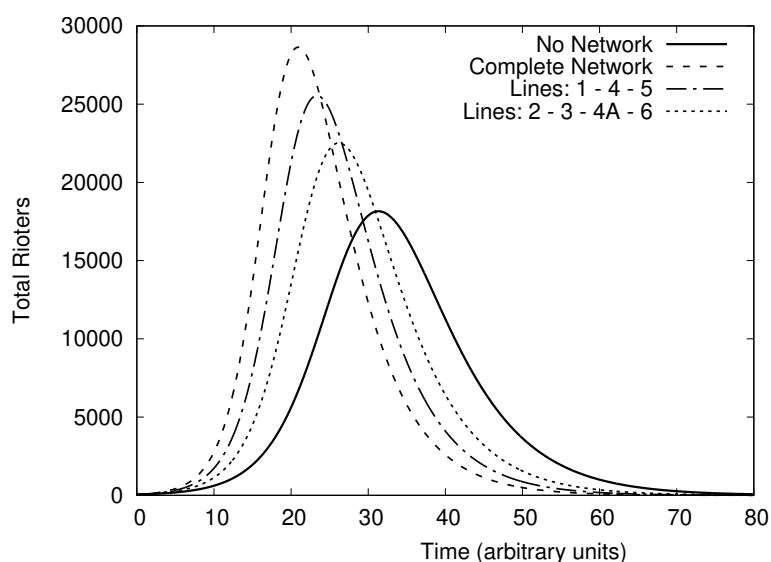


Figura 7: Evolución temporal del número de manifestantes, utilizando distintas fracciones de la red del Metro de Santiago. Red completa significa las siete líneas (1, 2, 3, 4, 4A, 5 y 6).

La distribución espacial de los disturbios es mostrada en la Figura 8. Es evidente al comparar estos resultados con las observaciones mostradas en la Figura 3, que el modelo falla al tratar de reproducir los datos. El autor reconoce que las zonas que presentan mayor actividad en la simulación numérica coinciden con las áreas más densamente pobladas y con menores ingresos de la ciudad. Estos resultados se mantienen incluso cuando la red de transporte no está presente, o incluso cuando

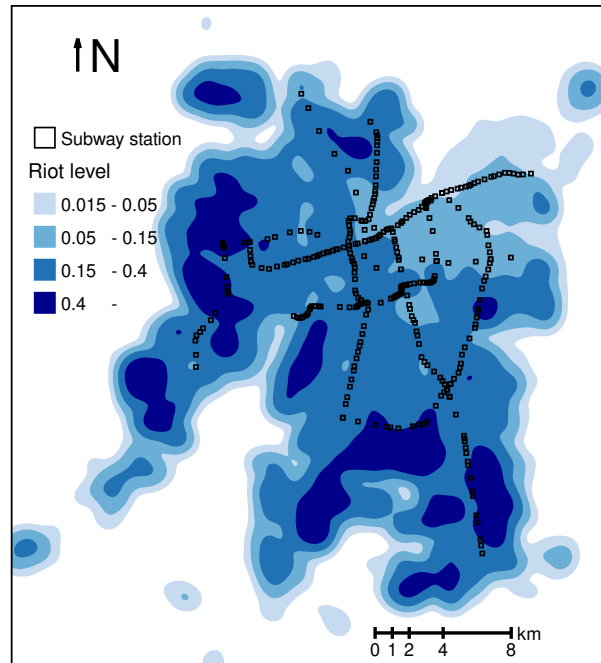


Figura 8: Distribución espacial de los disturbios, obtenidos mediante una simulación numérica, incluyendo la influencia de la red del Metro.

se remueve la influencia de la pobreza, haciendo a la población total igualmente susceptible a participar de los disturbios.

La falla de este modelo es atribuida a que carece de un mecanismo de transporte de la población. Este parece ser vital para explicar los desórdenes observados en Santiago y es mencionado por los trabajos de Cartes et al. (2022); Cartes y Davies (2021). Esta necesidad de mover a la población alrededor de la ciudad es lo que diferencia los disturbios en Santiago de cualquier otro reporte cuantitativo sobre esta actividad.

Además el modelo muestra una alta sensibilidad a la densidad de población y una relativa indiferencia al ingreso de los habitantes o la red de transporte, ya que las distribuciones espaciales de los disturbios eran casi idénticas en los casos con y sin la influencia de la red del Metro, su efecto sólo es relevante en la evolución temporal de los disturbios.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron los disturbios ocurridos en Santiago durante Octubre del 2019. Estos se caracterizaron por una inusual acumulación de actividad alrededor de las estaciones del Metro, además varias de las regiones más afectadas de la ciudad corresponden a zonas de altos ingresos. Estas características son únicas de los disturbios de Santiago, hasta este momento cualquier otro reporte cuantitativo siempre informa que la mayor parte de la actividad se restringe a las zonas más pobres de las ciudades.

En cuanto a los resultados de las simulaciones numéricas, si bien no siempre entregan resultados cercanos a las observaciones y que, por el momento, el modelo que más se adecúa a la realidad aún no tiene la información geográfica incorporada en su formulación. Algo que estos resultados dejan claro es que cualquier modelo que pretenda reproducir la distribución espacial de los disturbios observados en Santiago, necesita obligatoriamente incorporar un mecanismo de transporte, capaz de mover grandes cantidades de población entre las diferentes áreas de la ciudad. Este mecanismo, al parecer, no es sólo relevante para el caso chileno, ya que la distribución observada comparte varias características con los disturbios de los “Gillets Jaunes” en varias ciudades francesas durante el 2018, como fue reportado por Boyer et al. (2020).

El modelo epidemiológico, tal como es propuesto, tiene el problema de no permitir el movimiento de la población entre las distintas áreas de la ciudad, solo permite la mutua influencia. Por lo que la inclusión de la red de transporte completa tendría como probable consecuencia una dinámica más rápida, como se muestra en la Figura 7, pero como indican los resultados de Cartes (2022), no hay indicios de que la distribución espacial de los disturbios sea modificada en forma significativa, al ampliar la red de transporte.

Una continuación natural de estos trabajos sería ocupar la extensión desarrollada por Cartes y Davies (2021), esta vez utilizando datos geográficos de Santiago. Ya que es la formulación que, hasta este momento, entrega los mejores resultados.

REFERENCIAS

- Baudains, P., Johnson, S. D., y Braithwaite, A. M. (2013). Geographic patterns of diffusion in the 2011 London riots. **Applied Geography**, 45, 211–219. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.09.010> doi: 10.1016/j.apgeog.2013.09.010
- Berestycki, H., Nadal, J.-P., y Rodríguez, N. (2015). A model of riots dynamics: Shocks, diffusion and thresholds. **Networks & Heterogeneous Media**, 10 (3), 443–475.
- Berestycki, H., Nordmann, S., y Rossi, L. (2020). Modeling propagation of epidemics, social unrest and other collective behaviors. **arXiv preprint arXiv:2005.09865**.
- Bernasco, W., y Nieuwebeerta, P. (2004). How do residential burglars select target areas? a new approach to the analysis of criminal location choice. **British Journal of Criminology**, 45 (3), 296–315.
- Bonnasse-Gahot, L., Berestycki, H., Depuiset, M.-A., Gordon, M. B., Roché, S., Rodriguez, N., y Nadal, J.-P. (2018). Epidemiological modelling of the 2005 french riots: a spreading wave and the role of contagion. **Scientific reports**, 8 (1), 107.
- Borsdorf, A. (2003). Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. **Eure (Santiago)**, 29 (86), 37–49.

- Boyer, P. C., Delemotte, T., Gauthier, G., Rollet, V., y Schmutz, B. (2020). The origins of the gilets jaunes movement. **Revue économique**, 71 (1), 109–138.
- Burbeck, S. L., Raine, W. J., y Stark, M. A. (1978). The dynamics of riot growth: An epidemiological approach. **Journal of Mathematical Sociology**, 6 (1), 1–22.
- Caroca Soto, P., Cartes, C., Davies, T. P., Olivari, J., Rica, S., y Vogt-Geisse, K. (2020). The anatomy of the 2019 chilean social unrest. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, 30 (7), 073129. Descargado de <https://doi.org/10.1063/5.0006307> doi: 10.1063/5.0006307
- Cartes, C. (2022). Mathematical modeling of the chilean riots of 2019: An epidemiological non-local approach. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, 32 (12), 123113.
- Cartes, C., Asahi, K., y Fernández, R. (2022). Riots and subways, a relationship moderated by the neighborhood's income level. **Scientific Reports**, 12 (1), 1–9.
- Cartes, C., y Davies, T. P. (2021). Public disorder and transport networks in the latin american context. **Chaos, Solitons & Fractals**, 153, 111567. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077921009218> doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111567>
- Clare, J., Fernandez, J., y Morgan, F. (2009). Formal evaluation of the impact of barriers and connectors on residential burglars' macro-level offending location choices. **Australian & New Zealand Journal of Criminology**, 42 (2), 139–158.
- Dannemann, T., Sotomayor-Gómez, B., y Samaniego, H. (2018). The time geography of segregation during working hours. **Royal Society open science**, 5 (10), 180749.
- Davies, T., Fry, H. M., Wilson, A. G., y Bishop, S. R. (2013). A mathematical model of the London riots and their policing. **Scientific Reports**, 3. doi: 10.1038/srep01303
- Davies, T., y Marchione, E. (2015). Event networks and the identification of crime pattern motifs. **PloS one**, 10 (11), e0143638.
- Epstein, J. M. (2002). Modeling civil violence: An agent-based computational approach. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 99 (suppl 3), 7243–7250.
- Ford, L. R. (1996). A new and improved model of latin american city structure. **Geographical Review**, 86 (3), 437–440.
- Goode, B. J., y Pires, B. (2022). Encoding protest duration in an agent-based model as characteristic phase transitions. En **2022 annual modeling and simulation conference (annsim)** (pp. 164–175).
- Granovetter, M., y Soong, R. (1983). Threshold models of diffusion and collective behavior. **The Journal of Mathematical Sociology**, 9 (3), 165–179. Descargado de <https://doi.org/10.1080/0022250X.1983.9989941> doi: 10.1080/0022250X.1983.9989941

- Griffin, E., y Ford, L. (1980). A model of latin american city structure. **Geographical review**, 397–422.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., y Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. **IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics**, 4 (2), 100-107. doi: 10.1109/TSSC.1968.300136
- Hribernik, M., y Haynes, S. (2020). 47 countries witness surge in civil unrest—trend to continue in 2020. **Verisk Maplecroft**.
- La Tercera. (2019). Manifestación desde las alturas: videos muestran la histórica convocatoria de la “marcha más grande de chile”. **La Tercera**. Descargado de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/manifestacion-desde-las-alturas>
- Ormazábal, I., Borotto, F., y Astudillo, H. (2017). Influence of money distribution on civil violence model. **Complexity**, 2017.
- Ormazábal, I., Urbina, F., Borotto, F. A., y Astudillo, H. F. (2022). Phase diagram in a one-dimensional civil disorder model. **Physical Review E**, 105 (5), 054110.
- Petrovskii, S., Alharbi, W., Alhomairi, A., y Morozov, A. (2020). Modelling population dynamics of social protests in time and space: The reaction-diffusion approach. **Mathematics**, 8 (1), 78.
- Rojas, J. A., y Acosta, A. R. (2020). October 2019: the month that chile awoke. **Critical and Radical Social Work**, 8 (1), 135–136.
- Sabatini, F., Cáceres, G., y Cerda, J. (2001). Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: Tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción. **eure (Santiago)**, 27 (82), 21–42.
- Schteingart, M. (2001). La división social del espacio en las ciudades. **Perfiles latinoamericanos: revista de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México** (19), 13–31.
- Sehnbruch, K., y Donoso, S. (2020). Social protests in chile: inequalities and other inconvenient truths about latin america’s poster child. **Global Labour Journal**, 11 (1).
- SOSAFE. (2019). **Reportes Chile en SOSAFE**. <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?hl=es> ([Online; accessed 19-July-2022])
- Spilerman, S. (1970). The causes of racial disturbances: A comparison of alternative explanations. **American Sociological Review**, 627–649.
- Torres, H. A. (2001). Cambios socioterritoriales en buenos aires durante la década de 1990. **Eure (santiago)**, 27 (80), 33–56.
- Villaça, F. (1998). **Espaço intra-urbano no brasil**. Studio nobel.
- Wilensky, U. (2004). Netlogo rebellion model. **Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL**.

Wilson, A. G. (1971). A family of spatial interaction models, and associated developments. **Environment and Planning A**, 3 (1), 1–32.