

DETECTANDO EL IMPACTO DEL TRANSPORTE PÚBLICO SOBRE LA TRANSMISIÓN DEL COVID-19 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

MARÍA ELENA LÁRRAGA RAMÍREZ
Y LUIS ÁLVAREZ-ICAZA

El transporte público es una pieza fundamental de la economía tanto local como nacional, y un servicio esencial para el bienestar de las personas, en la medida que permite la accesibilidad a bienes, servicios y empleos. Sin embargo, debido al confinamiento de una gran cantidad de personas en un espacio con ventilación limitada y a la variedad de superficies donde hay contacto físico (pasamanos, puertas, asientos, etc.), el transporte público es un medio importante de propagación del COVID-19. Además, a medida que viajan más personas y los viajes son más largos, la probabilidad de transmisión se incrementa¹.

El modelo epidemiológico

En este proyecto, nos hemos enfocado en entender y evaluar la contribución del transporte público en los contagios por COVID-19 en la Ciudad de México, así como los posibles efectos en la propagación de la enfermedad bajo diferentes escenarios epidemiológicos, con el propósito de servir de apoyo en la toma de decisiones. Para definir la dinámica de la enfermedad y la propagación del virus, se desarrolló un modelo metapoblacional, discreto en espacio-tiempo, que en su definición, considera las diferentes etapas que un individuo afectado puede pasar: hasta detectar en qué momento es infeccioso.

Con base en el análisis de los datos de la Dirección General de Epidemiología², se dividió a la población de cada una de las 16 alcaldías de la Ciudad de México y uno más que agrupa a toda la población del Estado de México, en cuatro grupos: menores de 20 años, hombres entre 20 y 64 años, mujeres entre 20 y 64 años, y mayores de 64 años. La población de cada municipio, se divide en los siguientes compartimentos:

- Susceptibles (S). Las personas que no han contraído el virus, pero es posible que se contagien al entrar en contacto con algún portador.
- Expuestos (E). Las personas que sí han contraído el virus, pero no son contagiosas.

- Latentes (L). Las personas que sí han contraído el virus y son contagiosas, pero aún no presentan síntomas.
- Infectados Clínicos (I^c). Las personas que sí presentan síntomas y son contagiosas. Requieren algún tipo de atención hospitalaria.
- Infectados Sub-clínicos (I^{sc}). Asintomáticos, pueden contagiar antes de recuperarse.
- Críticos (C). Hospitalizados que presentan síntomas graves y requieren de cuidados intensivos y/o intubación.
- Ambulatorios (A). Las personas que presentan síntomas, llegan a atención médica, pero pueden recuperarse en casa.
- Recuperados (R). Las personas que se recuperan de coronavirus.
- Fallecidos (D). Las personas que han fallecido después de haber sido hospitalizados, críticos e incluso ambulatorios (de acuerdo a la DGE).

La dinámica del proceso infeccioso de un grupo k , se representa con el diagrama de la Figura 1. Las flechas sólidas indican las etapas que puede atravesar un individuo; los textos indican el tiempo (t) y la probabilidad para pasar de una a la otra. φ_k indica la intensidad de infección, es decir, la tasa *per cápita* a la cual individuos susceptibles contraen una enfermedad infecciosa, tomando en cuenta la cantidad de infecciosos, la tasa de riesgo de contagio y las matrices de contacto social para el país³. Estas matrices de contacto social indican el número *per cápita* de contactos diarios promedio de individuos de un grupo k con los individuos de un grupo j (en el trabajo, la escuela, el hogar y otros), además, tienen que ser escaladas a la población de cada municipio por grupo de edad (con base en los datos de población tomados del INEGI (2010)⁴). Son determinantes de la intensidad de transmisión de la enfermedad. Con base en la ponderación de estas matrices a lo largo del tiempo (su combinación lineal), es posible diseñar diferentes escenarios que tomen en cuenta las diferentes estrategias de mitigación o control de la propagación de COVID-19.

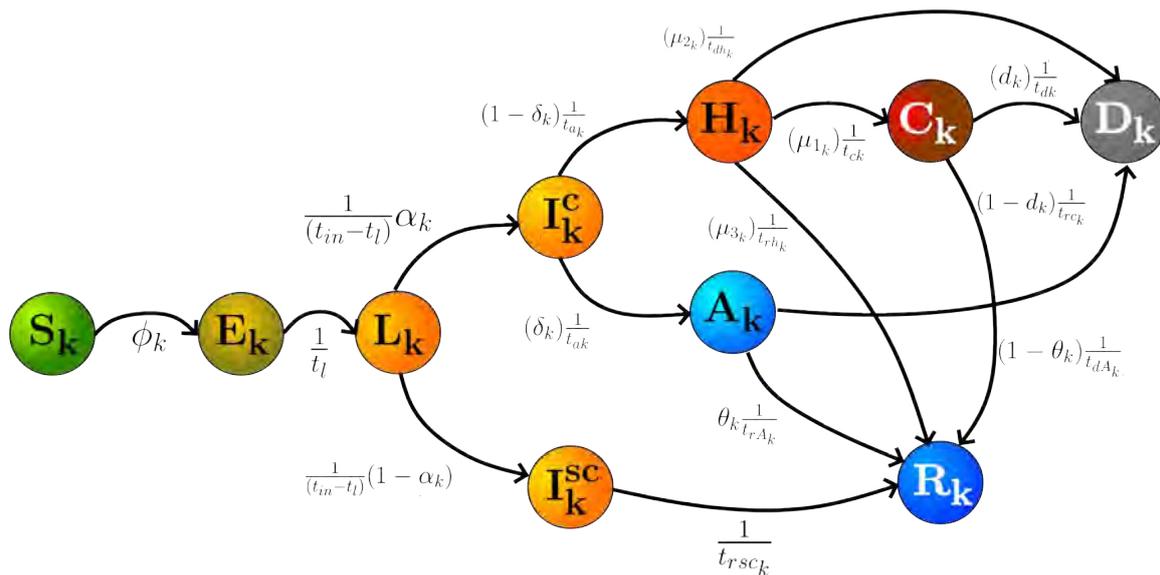


Figura 1. Modelo propuesto estructurado por edades para la dinámica de transmisión al interior de las delegaciones

Con la finalidad de modelar tanto el proceso infeccioso al interior de las alcaldías, como el derivado de los viajes que se realizan entre éstas, se consideraron datos de los patrones de movilidad entre las alcaldías con base en la Encuesta Origen-Destino de la ZMCDMX 2017⁵. De los datos obtenidos, se construyeron matrices de viajes entre las 16 alcaldías de la CDMX y el Estado de México para cada uno de los cuatro grupos de edad y sexo considerados en el modelo. Los viajes se ajustan a lo largo del tiempo con base en los datos del uso del transporte público de Applet⁶. De esta manera, cuando se considera la duración del viaje y la cantidad de personas que se mueven entre los municipios, se pueden modelar los contagios al interior de los municipios y al interior del transporte público derivado de los viajes que se realizan.

Para calibrar los parámetros del modelo a lo largo del tiempo, se desarrolló un algoritmo basado en metahuerísticas.

Estado actual de las investigaciones

Actualmente, se estiman los viajes que por su demanda, duración y condiciones de infección y susceptibilidad de los municipios origen y destino, podrían conllevar a más contagios. Por ejemplo, en la Figura 2 (izq.), se presentan los casos por municipio al 15 de mayo, donde el tamaño del círculo indica los casos acumulados, mientras que el color indica la incidencia (verde baja, rojo alta). En la Figura 2 (der.), se indican las rutas de transporte entre municipios categorizadas por color

que indican el riesgo de infección. Además, se han diseñado escenarios para evaluar la reactivación de actividades y sus efectos en la propagación del COVID-19.

Hay aún mucho por hacer, el COVID-19, es una enfermedad de la cual aún se tiene mucho desconocimiento; desarrollar muchos modelos bajo diferentes condiciones es importante para definir líneas de acción que pudieran ayudar a entender la evolución del COVID-19 y la efectividad de las estrategias de mitigación o control.

En este proyecto participan investigadores de los Institutos de Ingeniería, de Energías Renovables y de Matemáticas de la UNAM, así como la UAM Azcapotzalco. Este trabajo no sería posible sin la colaboración muy importante de nuestros estudiantes de doctorado del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación-UNAM.

Este proyecto es el resultado de la colaboración del personal académico de varias instituciones: Luis Agustín Álvarez Icaza Longoria, Luis Alejandro Guzmán Castro, María Elena Lárraga Ramírez y Angélica del Rocío Lozano Cuevas del Instituto de Ingeniería; Jesús Antonio del Río Portilla del Instituto de Energías Renovables-UNAM; Román Anselmo Mora Gutiérrez de la Universidad Autónoma de México, Plantel Azcapotzalco y Jorge X. Velasco Hernández del Instituto de Matemáticas, Unidad Juriquilla, Querétaro, UNAM.

También participaron los maestros en ciencias Emmanuel Torres Marín y Fernando Reyes Gómez estudiantes de doctorado en el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación. |

COORDINACIÓN DE ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN

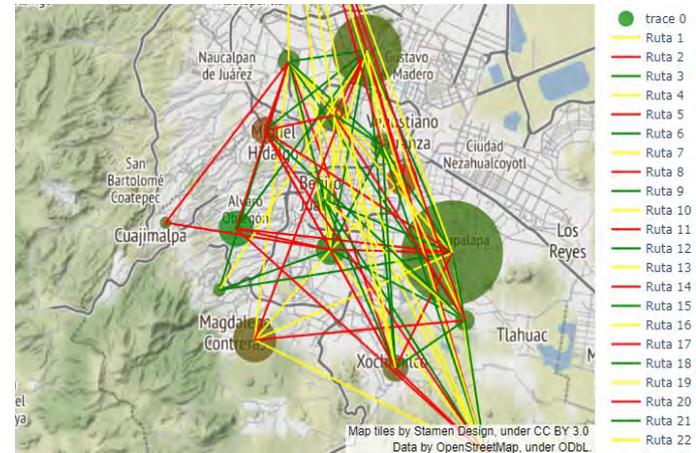
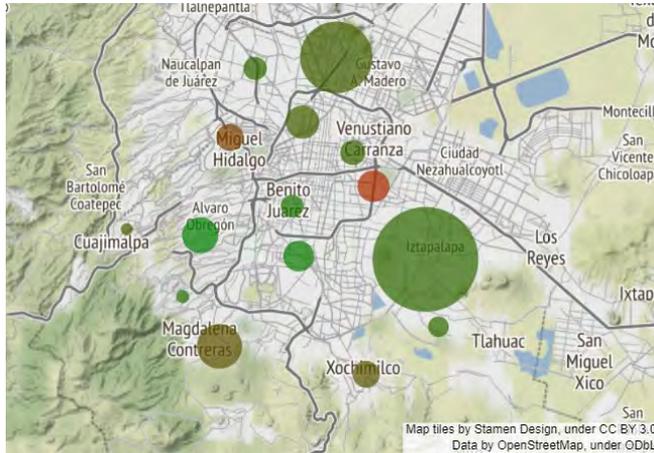


Figura 2. Casos confirmados e incidencia (izq.). Rutas de contagio críticas (der.). Fuente: Elaboración propia

Referencias

1. Troko, J.; Myles, P.; Gibson, J. y Col (2011). Is public transport a risk factor for acute respiratory infection? BMC Infectious Diseases 11, 16. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-11-16>.
2. Datos abiertos de COVID-19 de la Dirección General de Epidemiología, México. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127> (Última vez accesado 28 de mayo de 2020).
3. Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data, Kiesha Prem, Alex R. CookMark Jit, PLoS Computational Biology 13(9):e1005697, 2017.
4. INEGI. Censos y Conteos de Población y Vivienda 2010, INEGI Encuesta Intercensal 2015. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/> (Accesada, 30 de marzo de 2020).
5. II-UNAM, INEGI, SC_EDOMEX y SSP-CDMX, Encuesta Origen Destino en hogares de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (2017). <http://giitral.iingen.unam.mx/Estudios/EstudioOD-ZMVM-2017.html>.
6. COVID_19. Mobility Trends Reports. <https://www.apple.com/covid19/mobility> (Accesado 28 de mayo de 2020).