

La movilidad urbana en la Ciudad de México: un problema complejo

Israel Colchado Flores

Abril 28, 2017

No. 5/2017



Ilustración: Joram Patiño, 2017

La movilidad en la Ciudad de México presenta grandes problemas. Vagones de metro que se desbordan de usuarios, avenidas convertidas en inmensos estacionamientos, largas filas para tomar el metrobús son escenas que día a día deben vivir muchos capitalinos que tienen que desplazarse durante las horas pico. Una [encuesta publicada en 2014](#) estima que los residentes de la Ciudad de México invierten en promedio poco más de una hora para viajar a su trabajo.

Las causas detrás del problema de movilidad son múltiples y complejas: una gran cantidad de personas que requieren moverse de un lado a otro de la ciudad, ineficiencia en el flujo y movimiento de vehículos y personas, un sistema de transporte que ya es insuficiente, el propio comportamiento de los usuarios y conductores. Como resultado, por segundo año consecutivo ocupamos el puesto de “la ciudad con mayor tráfico del mundo”, de acuerdo al índice de tráfico [TomTom](#).

Carlos Gershenson, investigador del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la UNAM utiliza diversas herramientas computacionales para analizar estos problemas. El pasado 6 de abril presentó algunos de sus resultados durante el coloquio del Centro de Ciencias de la Complejidad (C3). Para el Dr. Gershenson, responsable del programa de modelación matemática e inteligencia computacional en el C3, “entender la naturaleza de la movilidad es fundamental si se pretende dar una solución integral”.

UNA PERSPECTIVA DESDE LA COMPLEJIDAD

Durante el seminario el investigador explicó: “Un sistema complejo es aquel que no puede separarse en los componentes que lo conforman ya que las interacciones entre sus elementos son relevantes para explicar la evolución del sistema”. Una colonia de hormigas es un ejemplo de ello, pues su elaborada organización no puede explicarse estudiando a las hormigas de manera aislada.

El doctor Gershenson identificó ocho factores muy relacionados que determinan la movilidad: necesidad de desplazarse; horarios; cantidad; capacidad; comportamiento; infraestructura y tecnología; sociedad; planeación y regulación. Tradicionalmente, se estudian algunos de estos factores de forma aislada, lo que lleva a soluciones que no dan los resultados esperados.

Para ejemplificarlo el científico presentó la siguiente paradoja: para disminuir el tráfico muchas veces se amplían las vialidades para aumentar la capacidad vehicular, agilizando la circulación en el corto plazo. Sin embargo, mucha gente que evitaba esas zonas (por lo conflictivo para desplazarse) las retomará en cuanto mejora el flujo. Esto ocasionará que a mediano y largo plazo la zona vuelva a congestionarse. En este caso, no tomar en cuenta el comportamiento de las personas para resolver el problema lleva a una solución parcial que termina no funcionando.

Un factor importante muchas veces ignorado es el social. “Tenemos una sociedad donde poseer un auto es algo aspiracional” dijo el investigador durante una conferencia de prensa. En un estudio publicado por [The Economist Intelligence Unit](#) en 2015 se menciona que en la Ciudad de México, “cada año se registran dos veces más vehículos que nuevos nacimientos”. Y todo parece indicar que el número de vehículos seguirá aumentando: partiendo de los casi 9 millones de autos registrados en 2017, el grupo de Gershenson estima que para 2020 este número alcanzará los 11.5 millones.

Cambiar el paradigma tradicional e incluir los aspectos sociales en el análisis de los problemas podría ayudar a encontrar mejores soluciones.

ANTES DE ENTRAR PERMITA SALIR

En los primeros días de diciembre de 2016 surgió una noticia de gran impacto mediático. Con títulos como “[¿Por qué la gente se está formando en el Metro?](#)” o “[¡Ver para creer! Educaditos y formaditos; fila en Metro Balderas](#)” se daba a conocer que usuarios del metro capitalino se formaban para abordar los vagones en la estación Balderas, algo nunca antes visto dada la gran saturación de este medio de transporte.

Se trata de una iniciativa para agilizar el ascenso y descenso de pasajeros en la cual participan Gershenson y su equipo en colaboración con el Sistema de Transporte Colectivo Metro. Uno de los objetivos fue, justamente, modificar el comportamiento de los usuarios y para ello se usó el modelaje computacional.

Se instalaron señalizaciones en la plataforma donde las personas deben ubicarse. Estas señales están colocadas estratégicamente para evitar que los usuarios obstruyan las puertas. Al abrir el tren sus puertas se forman tres flujos: el primero formado por los pasajeros que salen del vagón de manera eficiente al no haber gente que les impida el paso. Conforme disminuye el flujo de salida, las personas en plataforma pueden comenzar a abordar los vagones, formando dos flujos de ingreso por los extremos de las puertas.

Para diseñar estas estrategias los investigadores realizaron simulaciones probando diversas formas en que un flujo de individuos (los científicos les llaman partículas) se mueve en un ambiente similar al del metro. Gracias a estas simulaciones los investigadores pudieron probar diversos escenarios y determinar cuál de ellos tenía más viabilidad para funcionar antes de ser implementado.

El investigador admitió que si bien el objetivo fue modificar el comportamiento humano, al ubicar a los usuarios en las áreas de espera, nunca imaginaron que se formarían de manera ordeñada. Y añadió: “Fue algo muy positivo, pues cambian las reglas de ascenso y descenso. Antes la regla para poder entrar era empujando, ahora se entra conforme el orden en la fila”. De esta forma se evidencia la complejidad subyacente, ya que cambios en la infraestructura generaron cambios en un comportamiento más eficiente de los usuarios.

CONTROL DE VEHÍCULOS INSPIRADO EN LAS HORMIGAS

Si utiliza el transporte público habrá notado que, de manera esporádica, hay vehículos que llegan a la estación llenos de gente haciendo imposible el ascenso y descenso, pero inmediatamente después llega uno vacío. Ésto se ha convertido en una situación cada vez más frecuente.

El doctor Gershenson explicó a qué se debe este fenómeno. Los sistemas de transporte público siguen una regla conocida como “configuración equidistante en el tiempo” que establece lo siguiente: en cada estación el tiempo entre la salida de un vehículo y la llegada del siguiente debe permanecer constante.

Esto quiere decir que en la estación Balderas se debe esperar un número determinado de minutos para que llegue el próximo tren (en teoría). Ese tiempo de espera, sin embargo, puede ser diferente al de la estación Juárez; esto porque la distancia entre estaciones es distinta.

Los retrasos surgen cuando algún vehículo se demora, por ejemplo, debido a la gran demanda, aplazando la salida de los siguientes convoyes. Con la espera, se incrementa el número de usuarios por estación que, a su vez, retrasará la salida de los vehículos, generando un círculo vicioso.

Para demostrarlo el Dr. Gershenson presentó un [modelo computacional](#) que simulaba un sistema de transporte. En él se observa el recorrido de los vehículos (autobuses, trenes, etc.) por 5 estaciones, mostrando el número de pasajeros por estación y por autobús. En el modelo es posible modificar la cantidad de usuarios que llegan a la estación, el número de autobuses así como las reglas que regulan su salida.

Al hacer que el modelo siguiera la “configuración equidistante en el tiempo” y al aumentar la cantidad de pasajeros se presentaron retrasos, de la misma forma que se aprecia en la realidad.

El modelo inclusive reprodujo cuando en una estación llegaron a coincidir hasta cuatro vehículos, haciendo que los primeros salieran a su capacidad máxima y los últimos con pocas personas. Como consecuencia la demanda nunca se satisfizo, pues casi siempre había un número elevado de usuarios esperando en cada estación.

Pareciera obvio que la solución está en aumentar la cantidad de vehículos; pero al modelarse esta opción en condiciones donde hay alta demanda de usuarios, otra vez comenzaban los retrasos y aumentaba la cantidad de autobuses llenos y vacíos.

Buscando optimizar la salida del transporte, el científico modificó su regla de salida inspirándose ¡en la comunicación de las hormigas!

Cuando las exploradoras encuentran comida segregan feromonas para que el resto las sigan. Éstas otras hormigas también segregarán más sustancias químicas para que otras compañeras se unan a la recolección. Entre más hormigas vayan, se refuerza el rastro de feromonas. Cuando la comida se acaba, aquellas que siguieron el camino (al no encontrar nada) dejan de secretar las feromonas. Finalmente el rastro se disipa y las exploradoras continúan la búsqueda de alimento.

Inspirándose en esa manera de comunicación, los investigadores propusieron una solución opuesta pues lo que se quiere es evitar conglomeraciones. Siguiendo esa idea los vehículos sólo partirán a la siguiente estación cuando “se haya perdido el rastro del autobús anterior”.

Por extraño que parezca, con esta configuración se evitó la aglutinación de autobuses y disminuyó la cantidad de usuarios esperando en cada estación. “Algo curioso fue que aunque no preservaba los intervalos de tiempo iguales (como en la configuración equidistante en el tiempo) el desempeño es mejor”, mencionó.

Con el modelaje matemático se pudo identificar que la idea de que los vehículos deben de esperar el mismo tiempo en cada estación no parece ser la más óptima. Tampoco que aumentar el número de vehículos sea la solución.

La movilidad urbana es un problema que seguirá afectándonos si no aprovechamos el conocimiento científico. Si antes no se estudian a detalle los diferentes escenarios que se presentan en la ciudad, ni el mejor avance tecnológico resolverá el problema.

Parafraseando a Carlos Gershenson, la tecnología es la que debe adaptarse a la demanda de movilidad de la ciudad, no al revés. Y para adaptarla mejor, la ciencia puede ayudar.