

Contingencia

W. Luis Mochán

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Resumen

Mediciones realizadas antes y después de su implantación muestran que el programa *Hoy no circula* ha sido contraproducente y ha conducido a una mayor emisión de contaminantes. Razones teóricas muestran que los nuevos límites de velocidad en la Cd. de México también podrían incrementar fuertemente la emisión de contaminantes no nada más por la baja eficiencia de los automotores a baja velocidad, sino por el aumento de la densidad vehicular y sus efectos no lineales en los bloques al flujo.

Introducción

Febrero loco y marzo otro poco, dice el refrán, y parece que México lo cumple a la perfección, meteorológicamente hablando. Apenas el 9 de marzo pasado hubo vientos huracanados que tiraron árboles y, como siempre que sopla el viento, inútiles anuncios *espectaculares* que aprisionaron e hirieron a incautos ocupantes de vehículos automotores. Hizo frío, en medio de un creciente número de casos de influenza, y cayó granizo en tal cantidad que se cerraron autopistas y carreteras como la México-Cuernavaca. El peso del granizo en las techumbres de lámina de las viviendas más modestas causó su colapso. Al día siguiente el sol brilló y la transparencia del cielo permitió ver a los volcanes elegantemente pintados de blanco (ver figura 1). El gusto duró poco en la Cd. de México (CdMx), en la cual se declaró la fase I de una contingencia ambiental la noche del lunes 14, tras dos días de precontingencia, debido a la extremadamente mala calidad del aire (fig. 2), con niveles de ozono que superaron los 190 IMECAs. La Comisión Ambiental de la Megalópolis explicó que la contingencia se debió, paradójicamente, a la gran transparencia del cielo los días previos, permitiendo una alta irradiación ultravioleta que indujo reacciones fotoquímicas con residuos, acumulados por el poco viento, de la la combustión en motores, produciendo una alta concentración de ozono.

No se hicieron esperar las críticas, argumentando que la contingencia fue causada por la actitud populista del gobierno de la CdMx que *ablandó* el programa *Hoy no circula*, reintroduciendo más de un millón de vehículos a la circulación. No faltaron acusaciones a la Suprema Corte cuyas resoluciones permitieron la libre circulación de autos viejos, aunque éstos habrían

pasado estrictas verificaciones. Estas acusaciones *simplistas* han sido repetidas a distintos niveles de gobierno y se ha insinuado que se debe volver a endurecer el *No Circula* y a instaurarse en los estados circunvecinos de la ciudad, incluyendo Morelos.

Ante problemas serios como la contaminación ambiental, es indispensable tener *mediciones* y *datos duros*. Un artículo reciente [ver referencia 1] indagó sobre el número de vehículos que hay en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), cuántos circulan, cuántos viajes realizan, sus tipos de hologramas y el color de sus engomados, el número de vehículos que dejan de circular por el programa *Hoy No Circula* con y sin contingencia, cuántos tienen placas foráneas, cuántos son vehículos de transporte público, etc. Lo curioso de los datos recabados [ref. 1] es que sólo son *estimaciones*, mutuamente inconsistentes, con amplios márgenes de error que llegan hasta casi el 90%, y algunos están basados en encuestas de 10 años atrás. Los gobiernos de la Ciudad de México, del Estado de México y la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) carecen de registros oficiales, estudios actualizados, padrones precisos de parque vehicular y/o respuestas claras a interrogantes básicas. La calidad de estos datos muestran la poca importancia que nuestras autoridades dan a las mediciones objetivas y precisas y muestran cómo toman decisiones sin conocimientos certeros.

Hoy no circula

En este espacio se ha mostrado [ref. 2] que si bien el programa *Hoy no circula* es efectivo para disminuir el número de vehículos en circulación, podría ser contraproducente para reducir la emisión de contaminantes. Con un modelo simple pero realista se mostró que la contaminación bien podría aumentar pues por cada vehículo que deja de circular, algún otro vehículo debe recorrer mayor distancia para dar *aventón* al automovilista varado, quien no por ello dejaría de ir a su trabajo, escuela, etc. El modelo predecía que de hecho, la contaminación asociada a cada coche que dejara de circular ¡sería 175% mayor que si el vehículo circulara normalmente! Para que el programa fuese exitoso, sería necesario que cada automovilista dispusiera al menos de 22 amigos dispuestos a ofrecerle *aventón* para poder escoger al más idóneo de entre ellos. De acuerdo a dicho modelo, el programa *Hoy no circula* habría fracasado.

Es importante que los resultados de modelos teóricos sean validados comparándolos con obser-



Figura 1. Vista del volcán Popocatepetl desde las instalaciones del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, fotografiada el viernes 11 de marzo de 2016.



Figura 2. Fotografía de la Cd. de México (Edgard Garrido/Reuters) publicada el jueves 17 de marzo (<http://tmdo.co/22qwbl7>) mostrando la nula visibilidad debida a la altísima contaminación atmosférica.

vaciones cuidadosas. En el artículo mencionado [ref. 2] se hizo un llamado a *medir* el consumo global de gasolina en la ciudad, pues ése es un buen indicador correlacionado a la contaminación generada.

El artículo fue reproducido en otros medios, como la página de noticias de Carmen Aristegui y su equipo [ref. 3], donde tuvo gran visibilidad y recibió muchos comentarios. Uno de sus lectores comentó que las mediciones del consumo de gasolina en la ciudad *sí* se habían llevado a cabo antes y después de haberse implantado el programa. Los resultados, publicados por el *Banco Mundial* [ref. 4], muestran que el consumo de combustible y la contaminación ambiental **augmentaron significativamente** en vez de disminuir cuando se implantó el programa. Es decir, dicho documento demuestra que el *Hoy no circula* no

sólo *no* sirvió para disminuir la contaminación atmosférica, sino que **¡contribuyó a aumentarla!** Podríamos especular sobre los motivos para mantener e incluso endurecer un programa que, aunque bien intencionado, ha demostrado en los hechos ser contraproducente.

Límites de velocidad

¿Qué pudo haber cambiado recientemente para producir una contingencia ambiental fase I como no la había habido en los últimos 14 años? Recientemente hubo un cambio muy dramático que afectó a la circulación vehicular de la CdMx: la puesta en marcha de un nuevo reglamento de tránsito. Éste, publicado en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* apenas hace unos meses, establece estrictos límites de velocidad de 80 km/h en vías rápidas, 50 km/h en primarias, 40 km/h en secundarias, 30 km/h en zonas de tráfico

calmado, 20 km/h en zonas escolares y 10 km/h en estacionamientos. La violación de estos límites se castiga con multas onerosas de 10 a 20 *unidades de cuenta* (\$71.68), y se asocian permanentemente a las licencias de los automovilistas. Se instauró un sistema de fofomultas mediante detectores automatizados (para lo cual se contrató a una compañía particular). Ante el temor a ser multados y la falta de información sobre las normas oficiales que regulan la calibración de los detectores de velocidad y de los velocímetros en los autos, muchos conductores han optado por circular a velocidades aún más bajas que las autorizadas por el reglamento.

En este mismo espacio [ref. 5] se había propuesto imponer límites de velocidad empleando dispositivos automatizados para eliminar los perniciosos y ubicuos *topes*, cuyo costo incluye un enorme dispendio de energía con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, con o sin reglamento, los *topes* siguen deteniendo alegremente la marcha de todos los vehículos.

Los nuevos límites de velocidad han generado críticas. Necesariamente, vuelven más lento el traslado de un punto a otro de la ciudad, disminuyendo el ya de por sí poco tiempo disponible para actividades familiares, vecinales, culturales y deportivas que podrían enriquecer la vida ciudadana. Además, se ha alegado, han producido un *aumento* de la contaminación. Al permanecer más tiempo en la calle, se argumenta, los vehículos consumen más combustible y contaminan más. Podría contrargumentarse que la energía necesaria para mover un vehículo es el producto de la fuerza empleada multiplicada por la distancia recorrida; al viajar más lentamente, el vehículo disipa energía durante más tiempo, pero empleando en ello menor potencia, usando por tanto la misma cantidad de energía: la energía depende de la *distancia* recorrida, no de la *duración* del recorrido. Incluso, podría argumentarse que como la fuerza de fricción que ejerce el viento crece con su velocidad, al desplazarse más lentamente, cada vehículo desperdiciaría menos energía venciendo la resistencia del aire y por tanto contaminaría menos.

Si bien es cierto que se pierde menos energía en vencer la resistencia del aire al circular más lentamente, también es cierto que el motor de un vehículo que viaja con una lentitud extrema desperdiciaría mucha energía en vencer la fricción entre los pistones y los cilindros, entre las bielas y el cigüeñal, y entre sus demás partes móviles, así como calentando al aire circundante, sin hacer prácticamente ningún trabajo útil. La eficiencia es pequeña a una velocidad extremadamente alta por

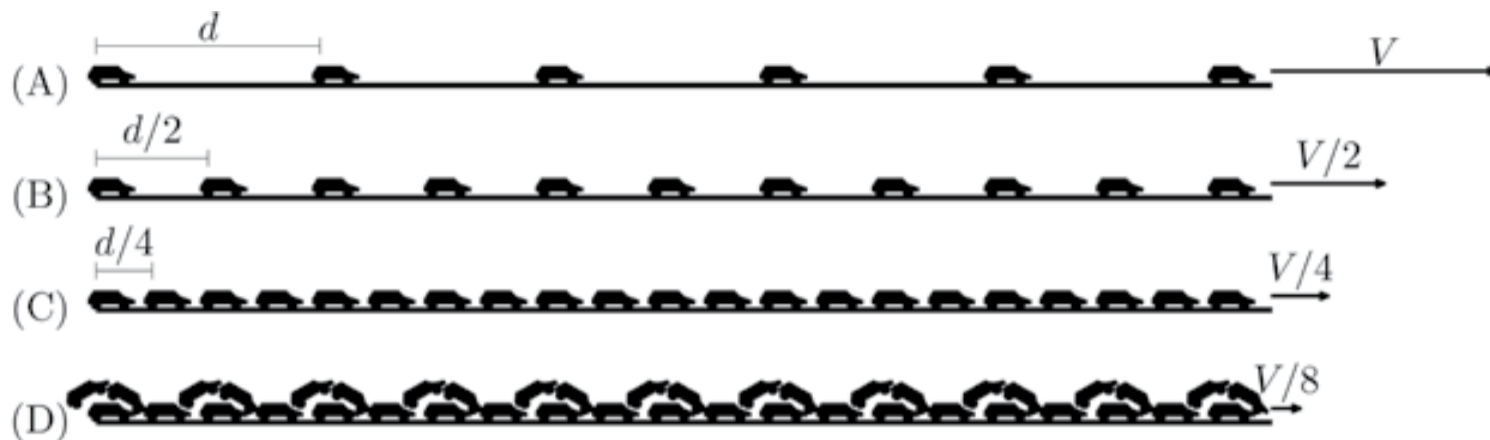


Figura 3. (A) Conjunto de autos espaciados una distancia d entre sí, circulando con un flujo dado f sobre cierta calle a cierta velocidad V . (B) Conjunto similar de vehículos circulando a una velocidad menor $V/2$ pero espaciados una distancia menor $d/2$, por lo cual su densidad es más alta y su flujo f es el mismo que en la parte superior. (C) Conjunto de autos viajando aún más lentamente, espaciados una distancia aún menor y con una densidad aún mayor, pero con el mismo flujo. (D) A una velocidad demasiado baja el sistema colapsa y no se puede conservar el flujo, pues para ello los autos tendrían que encimarse unos sobre otros.

la fricción del aire, pero también es pequeña a una velocidad extremadamente baja por la fricción interna del motor. Por tanto, debe haber una velocidad intermedia óptima. La velocidad óptima para autos se sitúa típicamente entre los 55 km/h y los 80 km/h [ref. 6], mucho mayor que la velocidad permitida en la mayor parte de las vías de la CdMx. Investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM han empleado este argumento para ligar al nuevo reglamento de tránsito con un aumento en la contaminación [ref. 7].

Flujo vehicular

Hay otro efecto pernicioso de una disminución en los límites de velocidad, el cual es menos conocido: El número de personas que salen de sus casas para ir al trabajo o para ir a la escuela cada mañana y que regresa cada tarde no cambia por el hecho de que se modifique

el reglamento de tránsito. Es decir, el flujo de vehículos (número de vehículos que salen a las calles por unidad de tiempo) es el mismo independientemente de la velocidad a la que circulen. Si la velocidad disminuye, los automovilistas tendrán que salir más temprano de sus casas y regresarán más tarde, pero lo harán en el mismo número. El flujo de vehículos obedece una ley de conservación análoga a la ley de conservación de la masa en el flujo de agua en una red de ductos, o la ley de conservación de la carga en una red eléctrica. Estas leyes se suelen expresar mediante una ecuación matemática conocida como la ecuación de continuidad una de cuyas consecuencias es que a menor velocidad, mayor densidad (fig. 3). La distancia entre autos no puede ser menor a su longitud, lo cual impone un límite inferior a la velocidad, abajo de la

cual la calle quedaría saturada de vehículos y ya no podría conservarse el flujo, es decir, el sistema colapsaría. En realidad, el sistema podría colapsar aún antes, pues las calles se intersectan unas a otras y debe haber huecos entre los autos para permitir el paso a vehículos que viajan en otras direcciones. Para ilustrar la saturación y el colapso del tráfico al bajar la velocidad permitida programé un simulador simple de tránsito vehicular (<http://bit.ly/1TUNAY4>), en el que un autómata celular representa vehículos que transitan por una ciudad con un arreglo de calles que van hacia el norte, sur, oriente y poniente. El flujo vehicular queda caracterizado por el número promedio de autos que salen de su cochera por unidad de tiempo, pero el número de autos en circulación depende de la distancia que recorren, de la velocidad con

que lo hacen y del tiempo que pierden en embotellamientos, el cual depende a su vez del número de autos en circulación, lo cual conduce a un problema *no-lineal*. En un embotellamiento los vehículos inmóviles no hacen trabajo útil pero sus motores sí disipan energía, produciendo contaminantes atmosféricos adicionales a los que producirían simplemente por recorrer la distancia que los lleva a su destino. A mayor tiempo perdido, mayor contaminación atmosférica.

En la figura 4 se muestra la fracción del tiempo perdido como función de la velocidad. El valor 1 significa que el 100% del tiempo que el vehículo está en la calle es tiempo perdido, mientras que el valor 0 significa que todo el tiempo es útil, empleado en llegar del origen al destino. La velocidad se muestra normalizada a cierto valor nominal cuya magnitud depende de detalles del modelo, pero el resultado importante no depende de dichos detalles. Éste es que a velocidades suficientemente altas el tiempo perdido es esencialmente nulo, pero al bajar la velocidad hay una transición muy abrupta a un régimen en que el tiempo perdido es cercano al 100%. O no perdemos tiempo o perdemos mucho tiempo. Cerca de la transición, el tiempo perdido crece muy rápidamente al disminuir la velocidad. Por ejemplo, la figura muestra que si a cierta velocidad perdiéramos el 50% del tiempo en embotellamientos, lo cual no sería sorprendente en la CdMx, al bajar el límite de velocidad un módico 10%, el tiempo perdido se incrementaría hasta el 88% del tiempo total, y una disminución adicional de otro 10% llevaría al tiempo perdido hasta un 93%. Recordemos que durante el tiempo perdido nuestros vehículos contaminan sin hacer trabajo útil y sin acercarnos a nuestro destino.

Conclusión

Después de señalar mediciones que confirman que el programa

Hoy no circula es contraproducente, hemos mostrado mediante una simulación computacional que el tiempo perdido por embotellamientos en el tráfico puede aumentar rápidamente conforme disminuye la velocidad permitida, en una proporción mucho mayor que el inverso de la velocidad, con un aumento correspondiente en la contaminación atmosférica producida. Entonces, es posible que los altos niveles de contaminación registrados recientemente sean debidos a la disminución de la velocidad decretada en el nuevo reglamento de tránsito de la CdMx. Es importante hacer mediciones que puedan confirmar o desechar esta posibilidad y tomar las medidas necesarias para mantener al tráfico en la zona del lado derecho de la figura 4. Es notable que la CdMx acaba de recibir la distinción como la Ciudad Más Congestionada del Mundo! De acuerdo a la ref. 8, el 59% del tiempo empleado por sus habitantes en transporte es tiempo extra perdido debido al congestionamiento vial. Quizás la única forma de revertir este dudoso honor será desarrollando un amplio sistema de transporte público abundante, digno, cómodo y eficiente. No hacerlo tiene grandes costos ambientales y económicos, además de sus costos en tiempo, cultura y salud.

Agradecimiento

Agradezco conversaciones con Hernán Larralde, y con Graciela David y Elías Mochán. Este trabajo fue parcialmente apoyado por DGAPA-UNAM mediante el proyecto IN113016.

Referencias

- Polución y opacidad*, diario *Reforma*, 20 de marzo de 2016. <http://bit.ly/1WJZfH4>
- W. Luis Mochán, *Hoy mi coche no circula*, diario *La Unión de Morelos*, 23 de junio de 2014, pgs. 36 y 37. <http://bit.ly/1VdJdZe>
- "Hoy mi coche no circula", artículo del científico Luis Mochán - Aristequi Noticias, 25 de junio de 2014. <http://bit.ly/22qyGKB>
- Eskeland, G. S., & T. N. Feyzioglu. *Rationing Can Backfire: The 'Day Without a Car' in Mexico City*, *The World Bank Economic Review*. Vol. 11, N. 3., pp. 383-408 (1997a).
- Bernardo S. Mendoza y W. Luis Mochán, *Policías acostados*, diario *La Unión de Morelos*, 9 de enero de 2012. <http://bit.ly/1iAtp0Y>
- Energy-efficient driving* en Wikipedia, <http://bit.ly/22rUxRR>
- Reglamento de tránsito del DF provoca más contaminación*, en *Foro Ambiental*. <http://bit.ly/22rVycD>
- /TomTom Traffic Index 2016 - The Results Are In! Mexico City Takes Crown of 'Most Traffic Congested City' in World from Istanbul. <http://bit.ly/1WKeY9g>

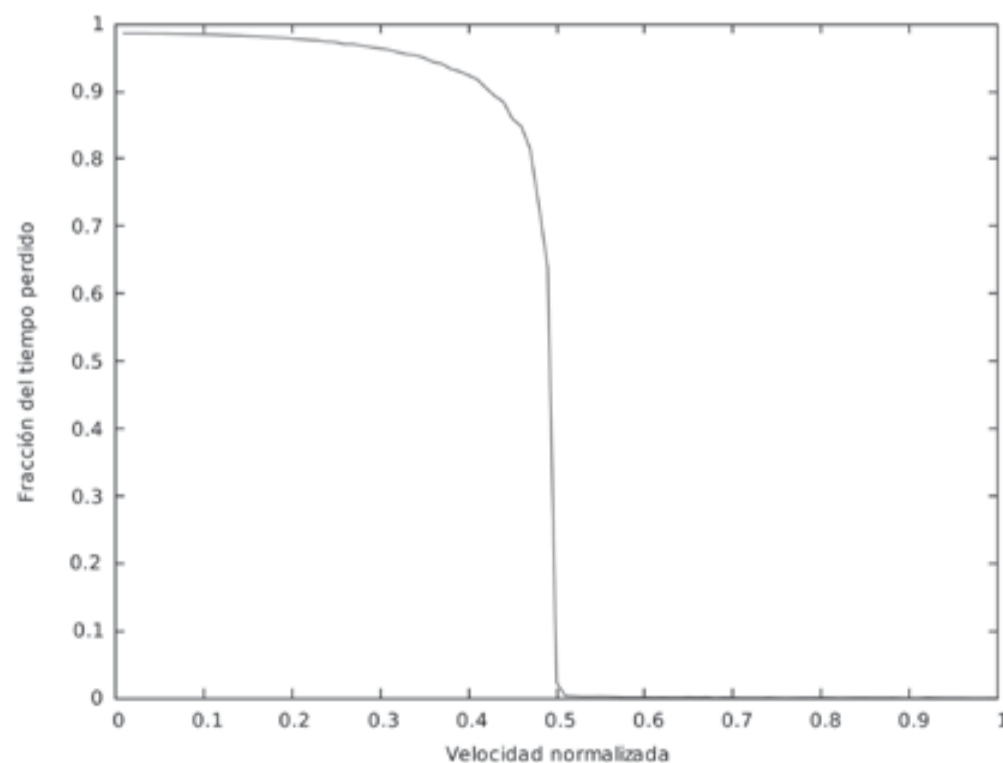


Figura 4. Tiempo perdido por los autos en embotellamientos viales como función de la velocidad máxima permitida.