

# Ciencia, juego y tráfico

Luis Mochán

Investigador del Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, y miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Vera Brudny

Investigadora del Departamento de Física y de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Hace más de un mes que presentamos el desastre. Pero no; la razón parecía haberse impuesto. Los semáforos, aunque siempre amenazantes, prendieron únicamente de manera intermitente, mostrando así que efectivamente podían ser inteligentes, razonables. A los conductores ingenuos que siguieron los señalamientos viales se les indicó con firmeza por los agentes de tránsito en servicio que no era tiempo aún, que siguieran circulando de acuerdo con el sentido usual. Pero hace unos días se anunció de manera definitiva el propósito de seguir adelante con el proyecto. A partir del 15 de diciembre (quizás mientras Ud. lee esta nota) cambiará la circulación en la glorieta de Zapata, una de las intersecciones viales más transitadas de Cuernavaca, Morelos, sobre la que confluyen vías que comunican al norte de la ciudad con el Centro, con varias colonias y pueblos, con algunas instituciones grandes como el Instituto Nacional de Salud, la UAEM y el campus Morelos de la UNAM y con el Distrito Federal a través de la autopista y la carretera federal. La solución propuesta por las autoridades de tránsito ha sido anunciada mediante panfletos y señalamientos viales y se halla resumida en la figura anexa. Básicamente, quien ingrese a la glorieta y desee virar hacia su izquierda deberá hacerlo *antes* de atravesar la glorieta, recorriéndola en la dirección en que giran las manecillas del reloj y de manera opuesta a la circulación convencional.

En gran medida, los problemas de tránsito alrededor de glorietas se deben a errores *estratégicos* por parte de los automovilistas y de los agentes de tránsito que con frecuencia desconocen un prin-

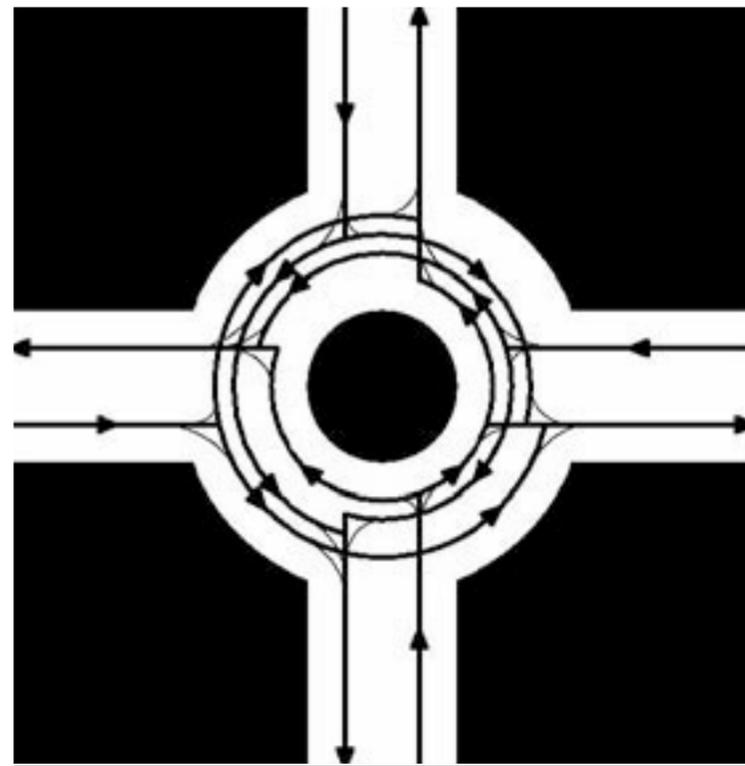
cipio fundamental: *la máxima prioridad es para quien ya ingresó en la glorieta*. Una glorieta es un sistema complejo con interacciones indirectas de largo alcance que pueden llevar a situaciones sorprendentes. Es común que algún vehículo *A* entre a la glorieta bloqueando a algún otro vehículo *B*, que a su vez bloquea a *C*, quien bloquea a *D* y así sucesivamente hasta llegar, rodeando la glorieta, a algún vehículo *P* que se halle justo enfrente de *A*, quien de manera indirecta estaría entonces *bloqueándose a sí mismo*. Es por ello que no debe entrar a la glorieta quien no tenga libre y asegurada su salida.

Explicar las ideas anteriores a automovilistas y agentes es difícil, por lo cual hace algunos años ideamos un simple *juego de video* que permitiría entender de manera entretenida el complejo comportamiento del tráfico. Nuestro trabajo cotidiano, la investigación científica de las propiedades ópticas no-lineales de la materia, nada tiene que ver con el tráfico en Cuernavaca. Sin embargo, para que nuestros resultados sean de relevancia a nivel internacional, debemos construir y dominar herramientas teóricas y computacionales que pueden ser fácilmente aplicables al problema en cuestión. Nuestra comunidad científica debe investigar, produciendo resultados originales publicables en las revistas del más alto nivel mundial, pero sus conocimientos, habilidades y herramientas deberían ser aprovechadas por nuestro gobierno y sociedad para coadyuvar oportunamente en el diagnóstico y solución de nuestros problemas. Por ejemplo, sabemos algo de estadística, probabilidad y procesos estocásticos, podemos hacer modelos matemáticos, plantear simulaciones computacionales y visualizar sus resultados. Ante el anuncio del inminente cambio de circulación decidimos implementar el juego y aprovecharlo para evaluar la nueva propuesta. Por cuestiones de espacio y de tiempo, a continuación reportaremos sólo algunos de nuestros resultados preliminares y dejaremos una descripción detallada para una publicación posterior. Como me-

didada cuantitativa del desempeño de la circulación empleamos el *tiempo perdido*  $T_p$  en promedio por cada vehículo al detenerse por indicaciones de un agente de tránsito o de un semáforo, para dar el paso a otro vehículo o por estar inmerso en un atasco.

Como un primer paso simulamos el tránsito en la glorieta actual. Estudiamos la circulación en ausencia total de semáforos y de agentes de tránsito con corridas de doscientos a mil vehículos cada una. Conforme se incrementa el flujo vehicular  $F_v$ , es decir, el número de vehículos que intenta ingresar a la glorieta cada minuto, aumenta muy ligeramente el tiempo perdido  $T_p$ , hasta que el flujo alcanza cierto *flujo crítico*  $F_c$  en el cual invariablemente el tránsito se atasca. Esta es una *transición de fase* a partir de la cual *se vuelve indispensable controlar la glorieta* mediante agentes o semáforos. Haciéndolo de la manera más eficiente posible, el tiempo perdido  $T_p$  es aproximadamente 10 veces mayor en flujos ligeramente superiores al umbral de atascamiento ( $F_v > F_c$ ) que para flujos ligeramente inferiores ( $F_v < F_c$ ) y se puede conservar casi constante mediante un adecuado manejo hasta que  $F_v$  alcanza el triple de su valor crítico  $3 F_c$ . Para flujos aún mayores,  $T_p$  aumenta primero gradual y luego rápidamente con  $F_v$ .

En un segundo paso investigamos la nueva circulación propuesta. En este caso, la circulación es *imposible* sin semáforos o agentes. El motivo se puede adivinar de observar la figura: hay muchas regiones de conflicto donde circulan vehículos en sentidos contrarios por el mismo carril. Una segunda observación inmediata es que aún con flujos casi nulos es imposible controlar el tráfico con semáforos colocados en su disposición actual *a la salida* y no a la entrada de la glorieta. Como fue discutido arriba es prioritario permitir la salida de la glorieta y evitar bloquearla con los vehículos que entran en ella. Con la nueva circulación hay muchas posibilidades de conflictos *irreversibles* por darse entre vehículos que viajan en direcciones opuestas. Será indispensable complementar los



Se muestra esquemáticamente la glorieta de Zapata y la circulación que tendrá a partir del 15 de diciembre. Las flechas indican la dirección de circulación y las líneas delgadas las vueltas permitidas en las intersecciones.

semáforos existentes con agentes en todas las entradas. Una tercera observación es la imposibilidad de lograr una circulación sin obligar a quien viaja por su izquierda a dar vuelta a la izquierda. Bajo el nuevo esquema, el conductor deberá ubicarse correctamente según su dirección de salida con mucha anticipación, y no deberá modificar su elección una vez que ingresa a la glorieta.

Probamos muchas estrategias para controlar el tráfico y el resultado resultó invariablemente mucho peor que para el caso anterior. Por ejemplo, para un flujo ligeramente mayor a  $F_c$ , el tiempo perdido  $T_p$  fue aproximadamente 3 veces mayor para la nueva circulación que para la anterior. Para un flujo modesto  $F_v = F_c/3$ ,  $T_p$  resultó 30 veces mayor. Por último, observamos que el nuevo esquema no es robusto y es intolerante frente a errores. Basta con cometer un solo error en una esquina para que el tráfico colapse.

En vista de los resultados anteriores podemos prever con cierta confianza que el nuevo sistema de circulación será un desastre y que seguramente será desactivado y la circulación convencional restaurada tras un breve ensayo. Este modelo debe todavía ser mejorado y apenas hemos iniciado su análisis

exhaustivo. Sin embargo, sirve como ejemplo del poder predictivo de la ciencia en temas que afectan directamente la vida cotidiana. Es factible que nuestros resultados estén equivocados. Hacer predicciones teóricas, confrontarlas con el experimento y aprender del resultado constituye la esencia de la ciencia. En este caso sabremos pronto si nuestras predicciones son correctas y la circulación tendrá que ser corregida nuevamente o si estamos errados y tenemos que mejorar nuestro modelo y su simulación. Queremos terminar esta nota mencionando que existen otros asuntos que son de mucha mayor importancia para la población y para los cuales no se pueden realizar experimentos rápidos conclusivos como en el caso de la glorieta. Tal es el caso de la posible contaminación de acuíferos por la filtración de sustancias tóxicas o el cambio climático gradual por la emisión de gases a la atmósfera. De cometerse un error en esos casos, pasarían muchos años antes de que nos enterásemos y muchos años más antes de que pudiera revertirse el daño hecho, lo cual muestra lo invaluable de contar con la capacidad predictiva de la ciencia.