

ESTADO DEL ARTE DEL FLUJO DE TRAFICO CON MOTOCICLETAS VERSUS LA MOVILIDAD DEL TRAFICO VIAL EN CIUDADES DE PAISES EN DESARROLLO Y DESARROLLADOS

A. ALIES & C. SUAREZ

Programa de Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena, Colombia

aaliest@unicartagena.edu.co

RESUMEN

La incidencia del flujo de motocicletas en la movilidad del tráfico vial en ciudades de países en desarrollo es actualmente un tema de discusión a nivel mundial y un fenómeno que está afectando las condiciones de movilidad en muchas ciudades de países desarrollados. Esta investigación tiene el propósito de plantear una metodología novedosa para simular y mitigar el efecto de las motocicletas en la movilidad de la Avenida Pedro de Heredia de la ciudad Cartagena de Indias (Colombia). Para ello se analizó la incidencia de las motocicletas en la movilidad en diferentes ciudades de Brasil, Reino Unido, China y de Colombia, entre otras. A través del estado de arte y un análisis comparativo de las ventajas de los modelos de autómatas celulares refinados propuestos en el 2007 con el modelo de Nagel-Schreckenberg, se pretendió ver la aplicabilidad de alternativas que ayuden a dilucidar las características del tráfico mixto con motocicletas en el contexto de las condiciones viales de la ciudad de Cartagena. Los resultados muestran que es posible establecer un modelo que refleje virtualmente la incidencia de las motocicletas en la movilidad dentro del flujo de tráfico mixto presente en la ciudad.

1. INTRODUCCION

Actualmente, muchos países motorizados y envía de motorización llevan a cabo grandes esfuerzos por encontrar alternativas de solución sostenible a la problemática de la movilidad y el transporte que se plantea en sus ciudades. En países asiáticos como China, Malasia y Vietnam, una fuente importante de estos problemas se centra alrededor del tráfico mixto con motocicletas, ya que según estudios [1-3] la motocicleta es uno de los vehículos más utilizados en estos países. Recientemente, con el fin de descubrir características del flujo de tráfico mixto para mejorar el rendimiento del tráfico, se han desarrollado varias investigaciones que describen los complejos fenómenos presentes en el tráfico mixto con motocicletas.

Sobre la base de autómatas celulares (AC) desarrollado por Nagel y Schreckenberg [4], se han propuesto varios modelos refinados de AC para dilucidar y capturar las características más importantes del comportamiento de las motocicletas en el contexto de tráfico mixto y de esta forma estar más en línea con el comportamiento real de este tráfico. Basado en los modelos refinados de AC, Lan et al. [5], modificaron aún más el sofisticado modelo de AC para aclarar el flujo de tráfico mixto que comprende los automóviles y las motocicletas, teniendo en cuenta el comportamiento errático de los motociclistas (Ver Fig. 1). Además de él convencional movimiento hacia adelante y de las normas de cambio de carril, el sofisticado modelo de AC también explica el comportamiento de desplazamiento lateral para el movimiento de automóviles en el mismo carril, el comportamiento de desplazamiento lateral para motocicletas que irrumpen entre dos carros en movimiento y el comportamiento de cruce transversal para motocicletas a través del espacio de dos carros estacionados en el mismo carril.

Figura 1- Motocicletas irregulares en el tráfico mixto urbano.



Fuente: [5]

En la literatura también podemos encontrar otros esfuerzos como el realizado por Meng et al. [6], que proponen un modelo de autómatas celulares para simular el flujo de tráfico mixto con motocicletas, cuyos resultados de las simulaciones indican la necesidad de crear una barrera o carril para separar el flujo de motocicletas del flujo de automóviles.

Aunque en algunas ciudades de Asia es común el uso de las motocicletas (con dos o tres ruedas), en Brasil es un fenómeno reciente con poco más de una década. La aparición y el desarrollo de un servicio conocido como mototaxismo que utiliza a la motocicleta como un medio de transporte público [7], ha ocasionado un incremento en la demanda de estos vehículos en ciudades pequeñas, medianas y grandes de este país. Según Coelho [8], la idea de implementar un sistema de mototaxi en Brasil, probablemente vino de una noticia transmitida en un programa de televisión sobre el uso de las motocicletas por parte de los turistas para evadir la congestión vehicular en Londres (UK).

En partes de Europa como en el Reino Unido las motocicletas solo representan el 3% de los vehículos de motor, pero sus números están creciendo, el tráfico de motocicletas aumentó en un 37% de 1996 a 2006 y alrededor de 5,2 millones de vehículos por kilómetro estuvieron circulando en 2006 [9]. En Edimburgo, la propiedad de la motocicleta casi se ha duplicado en la última década, motivo por el cual se han adelantado investigaciones como la realizada por Saleh et al. [10], donde llevaron a cabo un ciclo de conducción entre las zonas residenciales de los alrededores y sitios de trabajo de la Universidad de Napier, para evaluar el impacto de las emisiones de los gases de escape de las motocicletas en el medio ambiente.

En el caso de Colombia se han realizado estudios en ciudades como Medellín [11], donde se ha implementado la creación de una prueba piloto de "Carril Solo Moto", según el Plan Maestro de movilidad del valle de Aburrá (PMMVA) [12], debido a los grandes volúmenes de motocicletas, que circulan en esta ciudad, con el fin de darle prelación en términos de seguridad y reducir las probabilidades de accidentes y riesgos para los ocupantes de estos vehículos. Paralelamente, en Cali con el apoyo del Fondo de Prevención Vial, la Alcaldía y la Secretaría de Tránsito desarrollaron una prueba piloto similar, pero que consistió en el desplazamiento de estos vehículos únicamente por el carril derecho de las vías, con el fin de ordenar y mejorar la circulación de las motocicletas.

A mediados del 2002 (fecha basada en estadísticas de accidentalidad) en la ciudad de Cartagena de Indias (Figura 2) [13], surge la actividad del mototaxismo el cual trae consigo un agravamiento de la movilidad principalmente en la Avenida Pedro de Heredia, la arteria vial de la ciudad. La necesidad de la población de movilizarse, la falta de una infraestructura vial adecuada y la baja cobertura de servicio individual y colectivo de buses hasta los sitios de trabajos y/o centros de estudio fueron las causas principales del origen del mototaxismo en Cartagena de Indias.

Cartagena es una ciudad dentro de Colombia a orillas del Mar Caribe y es actualmente la capital del departamento de Bolívar (Ver Fig. 3). Sus coordenadas son 10° 25' 30" latitud norte y 15° 32' 25" de longitud oeste respecto al Meridiano de Greenwich. Cuenta con 890.000 habitantes de los cuales 850.000 habitan en el área urbana. El parque automotor según información suministrada por el departamento administrativo de tránsito y transporte de Cartagena, ascendía en el 2005 a unos 30000 vehículos con un número mínimo de motocicletas sin embargo para el 2008 solo las motocicletas ascendían a más de 30.000, lo que en una ciudad como Cartagena, que tiene pocas vías de circulación (dada su configuración espacial circundada de agua), se constituye el principal factor que coadyuva con la accidentalidad y la congestión vehicular.

Figura 2- Tráfico mixto con Motocicletas en la Avenida Pedro de Heredia de la ciudad de Cartagena.



Fuente: de los autores

Con esta investigación se espera analizar la movilidad de la Avenida Pedro de Heredia, de tal manera que se puedan plantear soluciones concretas que estén acordes las características del tráfico mixto con motocicletas.

Figura 3- Principales vías de Cartagena.



Fuente: Google Earth

2. FUNDAMENTOS TEORICOS

Hoy en día el estudio de sistemas complejos tales como el de tráfico de flujo vehicular, se ha llevado a cabo a través de enfoques teóricos basados en la física estadística [14].

2.1 Teoría de Fluidos Dinámicos

En la descripción del fluido-dinámico, el tráfico es visto como un fluido compresible formado vehículos, pero estos vehículos individuales no aparecen explícitamente en la teoría. Por lo tanto, aparece dos marcos conceptuales, primero, un modelo “microscópico” de tráfico vehicular que está explícitamente centrado en vehículos individuales cada uno de los cuales está representado por una “partícula”; la naturaleza de las interacciones entre estas partículas es determinada por la forma en que los vehículos influyen en el movimiento de los demás. En otras palabras, el tráfico de la teoría microscópica vehicular se trata como un sistema de interacción de partículas, impulsado a la medida del equilibrio. Por lo tanto, el tráfico vehicular ofrece la posibilidad de estudiar diversos aspectos fundamentales de la dinámica de los sistemas fuera del equilibrio [15-18]. Y por otro lado, una teoría macroscópica de tráfico que puede ser desarrollada, en analogía con la teoría de fluidos hidrodinámicos, para el tratamiento del tráfico en una sola dimensión como un fluido compresible [19].

Al hablar de Teoría de Fluidos Dinámicos de autopistas de varios carriles y tráfico en ciudades se puede describir el tráfico en carreteras de dos carriles [63] por la ecuación

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial J(x,t)}{\partial x} = \sum_{i=1}^{J_{in}} \alpha_i (x - x_i; t) - \sum_{j=1}^{J_{out}} \beta_j (x - x_j; t) \quad (1)$$

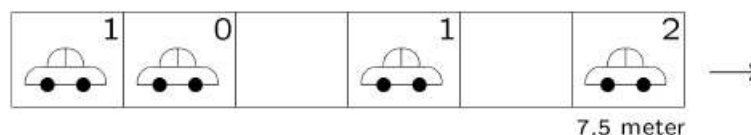
donde el primer y segundo término en el lado derecho se toma con cuidado para las fuentes y los sumideros, respectivamente, en la J_{in} situado en las rampas abiertas de acceso $x_i (i = 1, 2, \dots, J_{in})$ y J_{out} rampas apagadas de acceso situado en $x_j (j = 1, 2, \dots, J_{out})$. Recientemente, se ha formulado una teoría hidrodinámica para tráfico en ciudades [20], evidentemente motivado por el modelo AC, desarrollado por Biham et. Al [20].

2.2 Modelo autómatas celular Nagel- Schreckenberg de tráfico vehicular en autopistas.

Desde hace algunos años es introducido un discreto modelo de autómatas estocástico para simular el tráfico de la autopista [4]. El concepto de AC es introducido en la década de 1950 por von Neumann, mientras una formulación de una teoría abstracta de la auto-replicación de máquinas de computación [21]. En 1990 Nagel- schreckenberg [4] propusieron por primera vez el destacado modelo de NaSch, en el que se ideó un simple pero eficiente algoritmo para describir los complejos fenómenos que ocurren en el tráfico, posiciones vehiculares, velocidades, aceleraciones, así como los tiempos son todos tratados como variables discretas. Un carril está representado por una red unidimensional [22], en donde cada sitio de la red representa una celda, que puede estar vacío u ocupado por un máximo de vehículos en un momento de tiempo (ver Fig. 4). En cada paso de tiempo discreto $t \rightarrow t + 1$, el estado del sistema se actualiza después de una prescripción definida. La ciencia computacional de los modelos discretos de AC es la principal ventaja de este enfoque en seguimiento de automóviles y acoplamiento de mapas [23].

Paso 1: Aceleración. Si $v_n < v_{max}$, la velocidad del n -ésimo vehículo es incrementado por uno, pero v_n sigue siendo inalterado si $v_n = v_{max}$, es decir, $v_n \rightarrow \min(v_n + 1, v_{max})$.

Figura 4- Una configuración típica en el modelo NaSch. El número en la esquina superior derecha es la velocidad del vehículo.



Fuente: [23]

Paso 2: Desaceleración (debido a otros vehículos). Si $d_n \leq v_n$, la velocidad del n -ésimo vehículo se reduce a $d_n - 1$, es decir, $v_n \rightarrow \min(v_n, d_n - 1)$.

Paso 3. Asignación al azar. Si $v_n > 0$, la velocidad del n -ésimo vehículo se reduce al azar por la unidad con probabilidad p pero v_n no cambia si $v_n = 0$, es decir, $v_n \rightarrow \max(v_n - 1, 0)$ con probabilidad p .

Paso 4. Movimiento de Vehículos. Cada vehículo se mueve hacia delante de acuerdo con su nueva velocidad determinada en los pasos 1-3, es decir, $x_n \rightarrow x_n + v_n$.

2.3 Mototaxismo

El mototaxismo es un nuevo medio de transporte público informal y una solución para hacer frente a los grandes atascos que padecen las ciudades. Es definido como “motocicleta de dos ruedas que se usa como medio de transporte popular” a cambio de dinero de la misma forma que un taxi para diferentes trayectorias. En países en vía de motorización este fenómeno se origina por la necesidad de la población de movilizarse desde sus hogares, donde muchas veces no se presentaba una infraestructura vial adecuada, motivo por el cual no podía entrar el servicio individual y colectivo de buses, hasta los sitios de trabajo y/o estudio. El hecho de que las motocicletas sean un vehículo ligero, rápido y fácil de parquear, favorece que el usuario pueda recorrer el trayecto en menor tiempo.

Actualmente, el abuso en la demanda de este tipo de transporte ha generado un excesivo aumento en la cantidad de motocicletas que transitan por las vías de muchas ciudades de estos países, ocasionando congestión y problemas en la movilidad.

3. METODOLOGIA

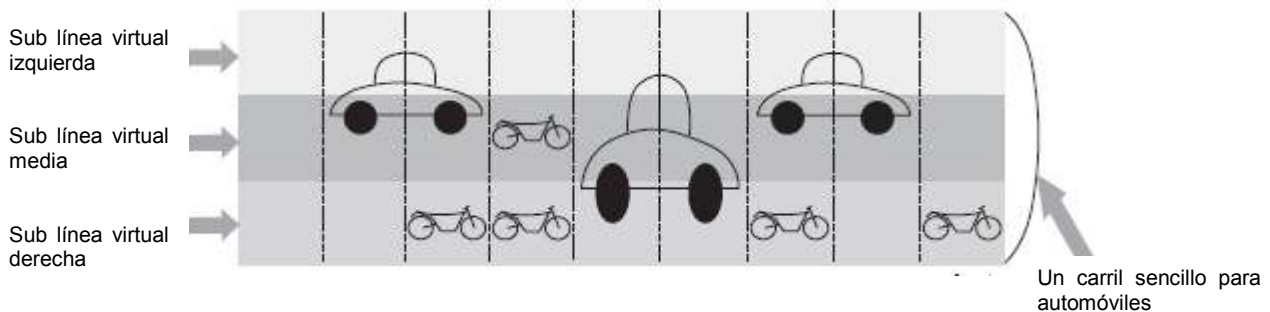
Esta investigación tiene el propósito de plantear una metodología novedosa para simular y mitigar el efecto de las motocicletas en la movilidad de la Avenida Pedro de Heredia de la ciudad Cartagena de Indias (Colombia). Para ello se analizó la incidencia de las motocicletas en la movilidad en diferentes ciudades de Brasil, Reino Unido, China y de Colombia, entre otras. A través del estado de arte y un análisis comparativo de las ventajas de los modelos de autómatas celulares refinados propuestos en el 2007 con el modelo de Nagel-Schreckenberg [4], se pretendió ver la aplicabilidad de alternativas que ayuden a dilucidar las características del tráfico mixto con motocicletas en el contexto de las condiciones viales de la ciudad de Cartagena.

4. DISCUSION DE RESULTADOS

Una característica clave para investigar el flujo de tráfico mixto con motocicletas a través de los modelos que se basan en la teoría hidrodinámica de flujo o modelos de autómatas celulares, es que más de dos motocicletas podrían ser montadas lado a lado en un carril de carretera debido a su ancho. Esto hace que no todos los modelos sean apropiados para llevar a cabo una simulación de las condiciones viales de tráfico mixto con motocicletas. Así, en trabajos como el propuesto por Meng et al. [6], se propone un modelo de autómatas celulares para simular el flujo de tráfico mixto con motocicletas donde para establecer el modelo, se realizaron supuestos adicionales para tener certeza de cuántas motocicletas se podrían colocar lado a lado. Inesperadamente, se encontraron con la dificultad de que no era tan fácil responder a esta pregunta, porque no ha habido ningún reporte directo en este aspecto en la literatura. Sin embargo, hallaron un informe relacionado que tomaba en cuenta las bicicletas [24], por lo que pudieron tener un estimado. Por lo tanto, supusieron que solo tres motocicletas podrían ser colocadas lado a lado en un solo carril estándar de carretera, es decir que, un solo sitio, de la matriz de L sitios abiertos con condiciones periódicas de frontera definida en el modelo, podía ser ocupado de forma paralela por al menos tres motocicletas. Lo que les permitió dividir un carril de carretera para carros en

tres “sub líneas” imaginarias para motocicletas, llamadas, “sub línea” virtual derecha (VRSL), “sub línea” virtual media (VMSL) y “sub línea” virtual izquierda (VLSL) (Ver figura 4).

Figura 4- Bosquejo del Modelo



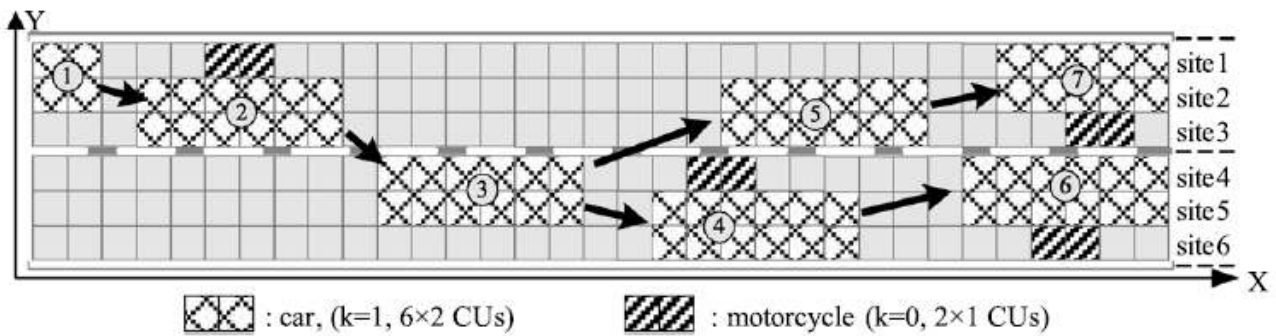
Fuente: [6]

De acuerdo con diferentes restricciones legales en países como China, donde las leyes de tránsito regulan que las motocicletas deben andar por el lado derecho del carril. Llevaron a cabo una simplificación del modelo, que consistió en no prescribir el movimiento de las motocicletas por el VLSL.

Otro aspecto importante es determinar la longitud de la carretera $L^{(m)}$ ocupada por una motocicleta. Meng et al. [6], estableció que la longitud de una motocicleta es aproximadamente de 2 m, teniendo en cuenta la distancia de seguridad, y supuso que cada motocicleta ocupa aproximadamente 3.75 m de la carretera en un atasco de tráfico total, que es la mitad de la longitud que un carro necesita. Así, cada motocicleta ocupa un sitio y cada carro ocupa dos sitios. Métodos similares ya han sido empleados en el caso de tráfico mixto de vehículos carros/camión en donde los carros son más cortos y los camiones son más largos (ver la documentación de TRANSMIS [25]) [26].

En otras investigaciones como la propuesta por Lan et al. [5], en donde se actualizan las reglas de desplazamiento lateral para automóviles y motocicletas, y se aclara cuidadosamente la actualización de las normas de desplazamiento transversal para las motocicletas, se realizan refinamientos a los modelos de AC, como el de introducir una “unidad común” (UC) del sistema para describir los diferentes tipos de vehículos y sus espacios libres necesarios para el movimiento seguro en el contexto de varias anchuras de los carriles o vías de acceso (Ver Fig. 5). Un UC para las células (los vehículos) y los lugares (espacios de carretera) se define como una grilla 1×1.25 m. Por ejemplo, para una carretera de dos carriles con 3,75 m ancho de cada carril, se puede representar el ancho del camino en un 6 UC. Por lo tanto, para el movimiento seguro con distancias aceptables, un automóvil está representado por 6×2 UC, siempre ocupando 12 UC del espacio vial, mientras que una motocicleta está representada por 2×1 UC, teniendo siempre un 2 UC del espacio vial. Los resultados mostraron que el modelo de AC refinado propuesto es capaz de capturar algunas de las características esenciales de los flujos de tráfico. Una ventaja importante del sistema refinado de CU es la mayor resolución de los resultados de la simulación. Por lo tanto, la variación de la velocidad vehicular, así como la actualización de las posiciones de ocupación se pueden revelar con mayor precisión. También se puede explicar los efectos del ancho del vehículo y del carril, además de los efectos de la longitud del vehículo.

Figura-5 Movimiento laterales para automóviles en el tráfico mixto: cambio de carril y desplazamiento lateral.



Fuente: [5]

El contexto de las condiciones viales en Colombia, específicamente en la avenida Pedro de Heredia de la ciudad de Cartagena, no es tan diferente a lo que se presenta en ciudades de países como China, Malasia, y Vietnam. Por ejemplo, la mayor parte de las motocicletas que transitan por las vías de Cartagena, se caracterizan por no presentar ninguna modificación, es decir, no poseen adaptaciones especiales, similar a lo que ocurre en Asia. Además, puesto que la motocicleta es considerada por muchos como un vehículo de transporte que posee grandes ventajas en cuanto a rapidez y agilidad se refiere, y por ser uno de los vehículos más económicos que hay en nuestro medio, cualidades que contrastan con el hecho de ser poco seguro, juegan un papel importante en el tráfico de vías como la avenida Pedro de Heredia, por su gran flexibilidad de maniobra, que les permite precipitarse en el flujo vehicular y poder adelantar al vehículo que tienen al frente y luego girar nuevamente a la circulación de motocicletas; algo muy similar al comportamiento que tienen los automóviles cuando cambian de carril en el tráfico presente en carreteras de dos carriles. Según las restricciones legales de nuestro país, se exige que las motocicletas (de 2 y 3 ruedas) circulen aún metro de la acera de las vías, permitiéndoles transitar en sus respectivos carriles y atravesarlos solamente para efectuar maniobras de adelantamiento o de cruce. De manera, que no se prohíbe el movimiento en algún sitio específico del carril.

Ahora, en cuanto a la pregunta de cuantas motocicletas pueden colocarse lado a lado en un carril, se encuentra, que debido a la actividad del mototaxismo, se presentan situaciones en las que no solo se transportan personas, sino que también se utilizan las motocicletas como vehículos de transporte de carga, lo que dificulta aún más establecer un estimado, por el hecho de que los anchos varían dependiendo de si se transportan pasajeros o si además de personas se lleva algún otro objeto de tamaño apreciable. Sin embargo, la apreciación hecha por Meng et al. [6], De que en un carril estándar de carretera pueden colocarse tres motocicletas, una al lado de la otra, podría encajar en nuestro contexto. Debido a que la infraestructura vial de la avenida Pedro de Heredia, presenta características geométricas, como ancho de carriles de 3.75 m, de 2 a 4 carriles por calzada en algunos sectores entre otras, y además se presenta tráfico mixto de automóviles y motocicletas en su mayoría a lo largo de su longitud, se presentan todos los tipos de movimientos contemplados por Lan et al. [5], como lo son los desplazamientos laterales de automóviles y motocicletas, y los desplazamientos transversales entre vehículos estacionados, en el caso de congestión y además, existe un tipo de movimiento que realizan algunos motociclistas irregulares denominado “giros en U” que consiste en girar en dirección contraria al flujo vehicular en el mismo carril para tomar otra ruta o dirección.

CONCLUSION

Aunque hasta ahora rara vez se estudia el contexto de tráfico mixto a través del modelado de AC, la aplicación de modelos refinados de autómatas celulares en el flujo de tráfico de ciudades de Asia, donde las motocicletas están vigentes, ha sido muy exitosa e imperativamente importante para lograr una profundidad en la comprensión de la conducta de tráfico mixto.

La implementación de estos modelos en ciudades de países en desarrollo como Cartagena (Colombia), sería muy viable y podría utilizarse para reproducir algunos fenómenos básicos y situaciones más complejas encontrados en el tráfico real. Los resultados del análisis comparativo de estos modelos con el contexto de las condiciones viales de la avenida Pedro de Heredia, muestran que es posible establecer un modelo que refleje virtualmente la incidencia de las motocicletas en la movilidad dentro del flujo de tráfico mixto presente en la ciudad.

Por otra parte, se podría poner en discusión nuevos refinamientos para los modelos de AC como la introducción de comportamientos de desplazamiento como los “giros en U”, que ayudarían a simular acorde con la realidad, el verdadero comportamiento del tráfico presente en vías como la avenida Pedro de Heredia.

REFERENCIAS

1. S. C. C. T. P. Institute, Shanghai city comprehensive transportation annual report, Technical Report, Shanghai City Comprehensive Transportation Planning Institute, 2005 (in Chinese).
2. T.P. Hsu, F.M.S. Ahmad, X.D. Nguyen, A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries—case of Taiwan, Malaysia and Vietnam, Technical Report, Institute of Civil Engineering National Taiwan University, 2003.
3. N. Matsushashi, T. Hyodo, Y. Takahashi, Image processing analysis of motorcycle oriented mixed traffic flow in Vietnam, in: Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 5, 2005, pp. 929–944.
4. K. Nagel, M. Schreckenberg, A cellular automaton model for freeway traffic, J. Phys. I France 2 (12) (1992) 2221–2229.
5. L.W. Lan, Y.C. Chiou, Z.S. Lin, C.C. Hsu, Cellular automaton simulations for mixed traffic with erratic motorcycles' behaviours, Physica A 389 (2010) 2077–2089.
6. J.P. Meng, H.Q. Dai, L.Y. Dong, J.F. Zhang, Physica A 380 (2007) 470–480.
7. J.A. Oliveira, M.A.N. Azevedo, the Brazilian Motorcycle Taxi Phenomenon, Traffic and Transportation Studies (2002) 1566–1562.
8. Coelho, M. S. (1997) "A nova onda no transporte urbano – mototáxi" Edições UVA, coleção Novos Tempos N°2, Sobral-CE.
9. UK Department for Transport, 2007. Compendium of Motorcycling Statistics. UK DfT, London.
10. W. Saleh, R. Kumar, H. Kirby, P. Kumar, Real world driving cycle for motorcycle in Edinburgh, Transportation Research Part D 14 (2009) 326–333.
11. Secretaria de Transportes y Transito 2008, Prueba Piloto Carril Solo Motos, Medellín, Colombia. <http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/tecnica/laboratorio-movilidad/estudios-movilidad/otros_estudios/carril_solo_motos.pdf>
12. Alcaldía de Medellín, Plan Maestro de Movilidad del Valle de Aburra (PMMVA), 2008. <www.metropol.gov.co/.../plan_maestro_de_movilidad_para_la_region_metropolitana_del_valle_de_aburra.ppt>
13. P. Guárdela, R. Torres, P. Garcés, Incidencia del Mototaxismo en la movilidad sobre la avenida pedro de Heredia en Cartagena Colombia, Revista Ciencias e Ingeniería al Día- Universidad de Cartagena (2009) Vol. 4 No.2 9-16.
14. S.M. de Oliveira, P.M.C. de Oliveira, D. Stauffer, Evolution, Money, War and Computers, Teubner, Stuttgart, 1999; F. Schweitzer (Ed.), Self-organization of Complex Systems: from Individual to Collective Dynamics, Gordon and Breach, London, 1997; G. Weisbuch, Complex Systems Dynamics, Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.

15. B. Schmittmann, R.K.P. Zia, in: C. Domb, J.L. Lebowitz (Eds.), Phase Transitions and Critical Phenomena, Vol. 17, Academic Press, New York, 1995; Phys. Rep. 301 (1998) 45; R.K.P. Zia, L.B. Shaw, B. Schmittmann, R.J. Aste, cond-mat/9906376.
16. G. Schütz, in: C. Domb, J.L. Lebowitz (Eds.), Phase Transitions and Critical Phenomena, to appear.
17. H. Spohn, Large Scale Dynamics of Interacting Particles, Springer, Berlin, 1991.
18. V. Privman (Ed.), Nonequilibrium Statistical Mechanics in One Dimension, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
19. R. Kühne, in: N. Gartner, C.J. Messner, A.J. Rathi (Eds.), Transportation Research Board (TRB) Special Report 165, Traffic Flow Theory, 2nd Edition, 1998.
20. T. Nagatani, Phys. Rev. E 59 (1999) 4857.
21. E.F. Codd, Cellular Automata, Academic Press, New York, 1968.
22. M. Schreckenberg, D.E. Wolf (Eds.), Traffic and Granular Flow '97, Springer, Singapore, 1998.
23. D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider, Phys. Rep. 329 (2000) 199.
24. F. T. Ren, X. M. Liu, J. Rong, Traffic Engineering Science, China Communications Press, 2003 (in Chinese).
25. K. Nagel, M. Rickert, Parallel implementation of the transims micro-simulation, Parallel Comput. 27 (2001) 1611–1639.
26. K. Nagel, P. Stretz, M. Pieck, S. Leckey, R. Donnelly, C.L. Barrett, TRANSIMS traffic flow characteristics, Los Alamos Unclassified Report (LA-UR) 97-3530, 1997.