Infraestructura Urbana: Movilidad Urbana e Inter-urbana

W. Luis Mochán Backal

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM

Mesas Redondas Interacademias: Perspectiva de Morelos
Cuernavaca, Morelos a 1 de marzo de 2012

Y yo. . . ¿por qué?

- *Ciencia, juego y tráfico*, Luis Mochán y Vera Brudny, Diario *La Unión de Morelos*, diciembre 15, 2008., p. 36. Reproducido en *La Ciencia desde Morelos para el Mundo* (ACMor y la Unión de Morelos, Cuernavaca, Morelos, 2011) ISBN: 978 607 95682-0-7 p. 115.
- *Usted primero, que yo tengo prisa*, Luis Mochán y Vera Brudny, Hypatia No. 29 (enero-marzo, 2009) pgs. 10-11.
- *¿Cuánto Cuesta un Tope?*, W. Luis Mochán y Bernardo S. Mendoza Periódico *El Universal*, sección *comunidad/blogs*, 13 de diciembre de 2011, `http://bit.ly/utkkft`.
- *Policías Acostados*, Bernardo S. Mendoza y W. Luis Mochán, diario *La Unión de Morelos*, 9 de enero de 2012, pags. 34 y 35. `http://bit.ly/A8Oglx`

Y yo... ¿por qué?

- *Ciencia, juego y tráfico*, Luis Mochán y Vera Brudny, Diario *La Unión de Morelos*, diciembre 15, 2008., p. 36. Reproducido en *La Ciencia desde Morelos para el Mundo* (ACMor y la Unión de Morelos, Cuernavaca, Morelos, 2011) ISBN: 978 607 95682-0-7 p. 115.
- *Usted primero, que yo tengo prisa*, Luis Mochán y Vera Brudny, Hypatia No. 29 (enero-marzo, 2009) pgs. 10-11.
- *¿Cuánto Cuesta un Tope?*, W. Luis Mochán y Bernardo S. Mendoza Periódico *El Universal*, sección *comunidad/blogs*, 13 de diciembre de 2011, `http://bit.ly/utkkft`.
- *Policías Acostados*, Bernardo S. Mendoza y W. Luis Mochán, diario *La Unión de Morelos*, 9 de enero de 2012, pags. 34 y 35. `http://bit.ly/A8Oglx`

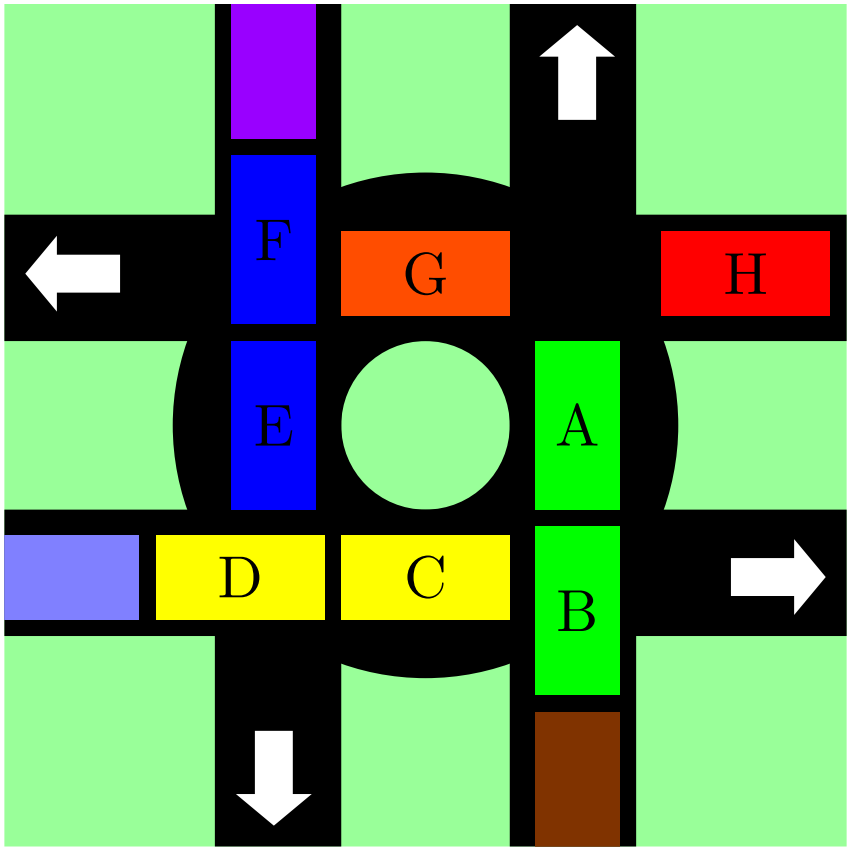
Y yo. . . ¿por qué?

- *Ciencia, juego y tráfico*, Luis Mochán y Vera Brudny, Diario *La Unión de Morelos*, diciembre 15, 2008., p. 36. Reproducido en *La Ciencia desde Morelos para el Mundo* (ACMor y la Unión de Morelos, Cuernavaca, Morelos, 2011) ISBN: 978 607 95682-0-7 p. 115.
- *Usted primero, que yo tengo prisa*, Luis Mochán y Vera Brudny, Hypatia No. 29 (enero-marzo, 2009) pgs. 10-11.
- *¿Cuánto Cuesta un Tope?*, W. Luis Mochán y Bernardo S. Mendoza Periódico *El Universal*, sección *comunidad/blogs*, 13 de diciembre de 2011, `http://bit.ly/utkkft`.
- *Policías Acostados*, Bernardo S. Mendoza y W. Luis Mochán, diario *La Unión de Morelos*, 9 de enero de 2012, pags. 34 y 35. `http://bit.ly/A8Oglx`

Amenaza

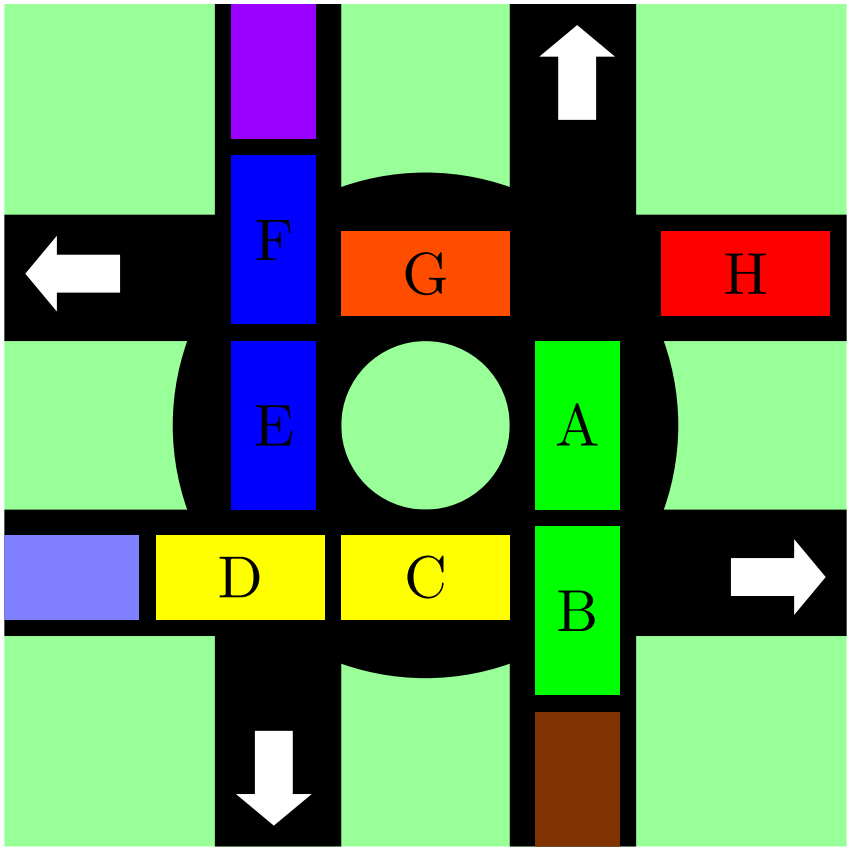
- Noviembre, 2008.

El buen ciudadano



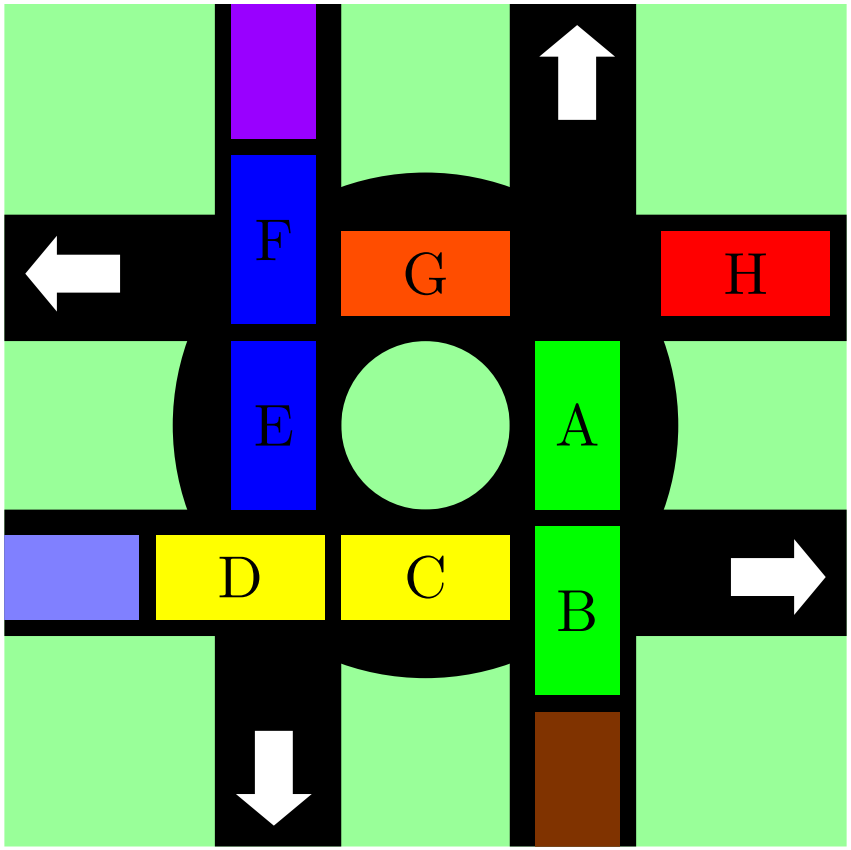
- ¿A *H* le conviene pasar? ¿*A* lo debe permitir?
- Sistema no lineal con retroalimentación $\Rightarrow$ comportamiento emergente complejo.
- *Art. 55:* en las glorietas. . . los conductores que entren a la misma deberán ceder el paso a los vehículos que ya circulan en ella.

El buen ciudadano



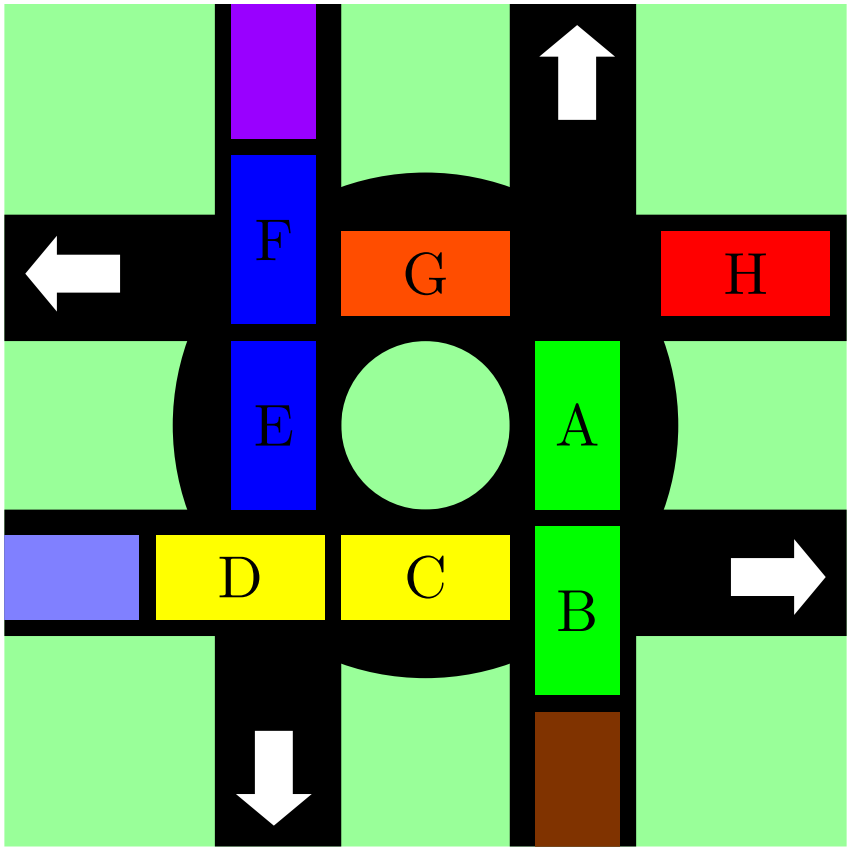
- ¿A *H* le conviene pasar? ¿*A* lo debe permitir?
- Sistema no lineal con retroalimentación $\Rightarrow$ comportamiento emergente complejo.
- *Art. 55:* en las glorietas. . . los conductores que entren a la misma deberán ceder el paso a los vehículos que ya circulan en ella.

El buen ciudadano



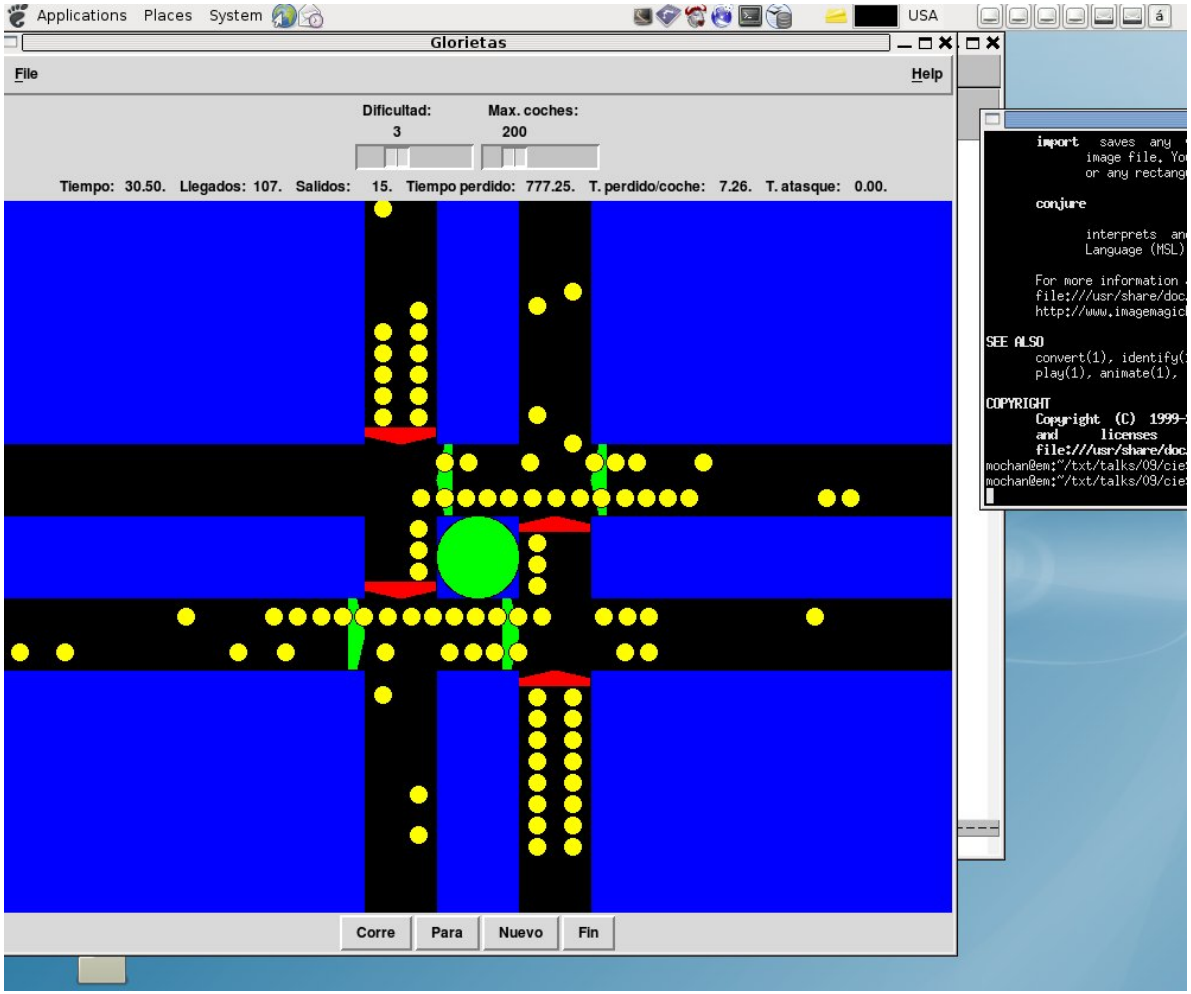
- ¿A *H* le conviene pasar? ¿*A* lo debe permitir?
- Sistema no lineal con retroalimentación $\Rightarrow$ comportamiento emergente complejo.
- *Art. 55:* en las glorietas. . . los conductores que entren a la misma deberán ceder el paso a los vehículos que ya circulan en ella.

El buen ciudadano



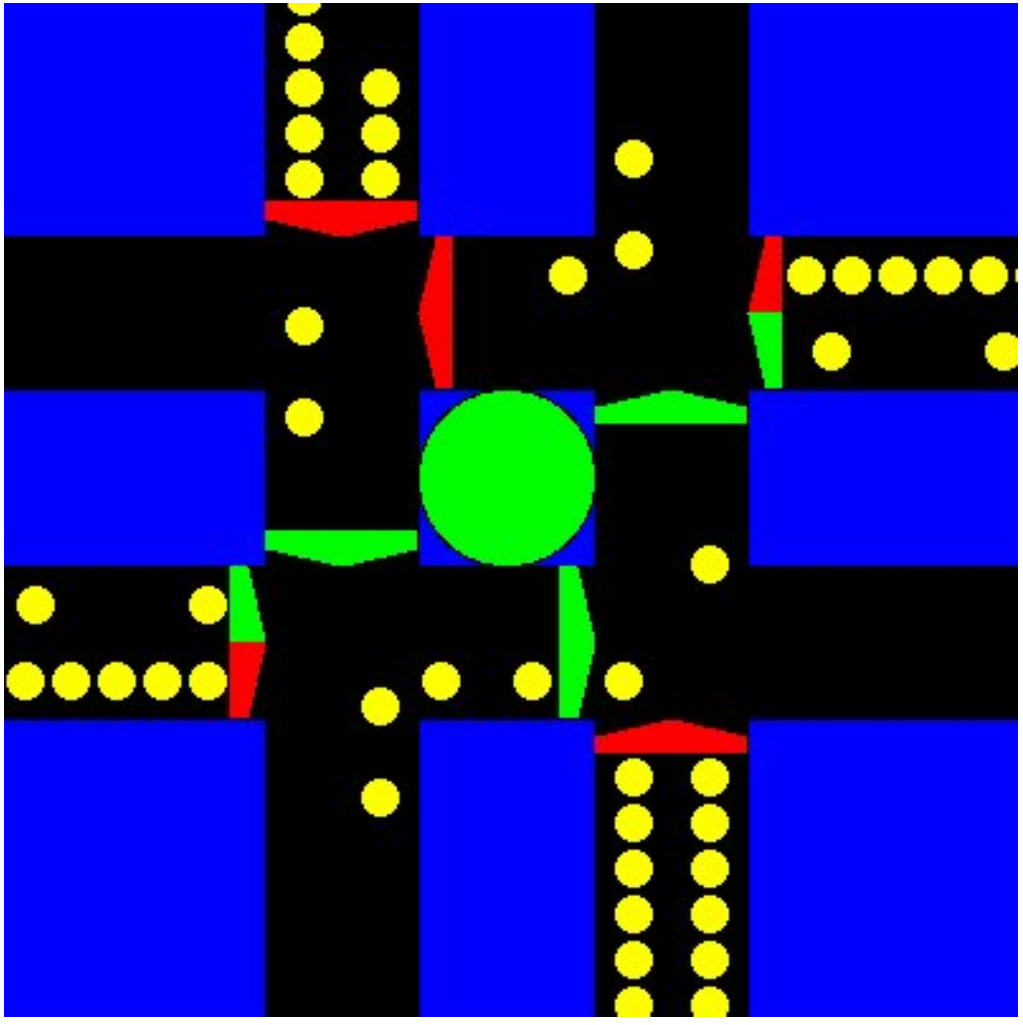
- ¿A *H* le conviene pasar? ¿*A* lo debe permitir?
- Sistema no lineal con retroalimentación $\Rightarrow$ comportamiento emergente complejo.
- *Art. 55:* en las glorietas. . . los conductores que entren a la misma deberán ceder el paso a los vehículos que ya circulan en ella.

Video-juego


Applications Places System
USA
Glorietas
File
Help
Dificultad:
3
Max. coches:
200
Tiempo: 30.50. Llegados: 107. Salidos: 15. Tiempo perdido: 777.25. T. perdido/coche: 7.26. T. atasque: 0.00.
Corre
Para
Nuevo
Fin

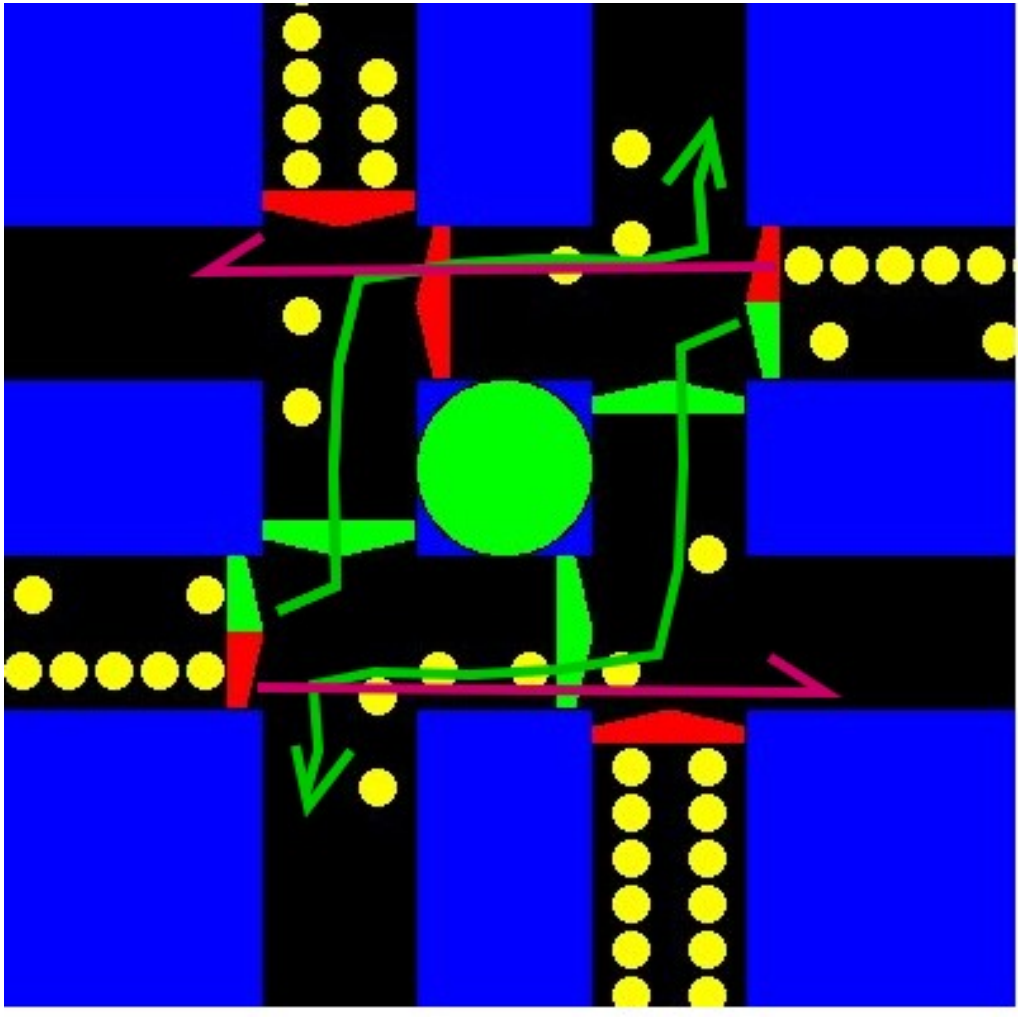
Nuevo video-juego

Circulación inglesa



Nuevo video-juego

Circulación inglesa



Resultados

- Semi-cuantitativos. . .
- Tradicional:
  - Sin agentes T_p casi independiente de F_v hasta cierto F_c en que el sistema se atasca (corridas de 10^3).
  - Con agentes, $T_p(F_c^+) \approx 10\,T_p(F_c^-)$ y casi constante hasta $3 \times F_c$, donde aumenta gradual y luego rápidamente.
- *Inglesa*:
  - Imposible sin semáforos y/o agentes.
  - Disposición de semáforos propuesta inútil (salida vs. entrada).
  - Conflictos irreversibles.
  - Necesidad de anticipar vueltas.
  - La estrategia óptima es entre 3 y 30 veces peor.
  - Intolerante a errores. Irreversibilidad.
- Predicción: Desastre. Confirmación.

Resultados

- Semi-cuantitativos...
- Tradicional:
  - Sin agentes T_p casi independiente de F_v hasta cierto F_c en que el sistema se atasca (corridas de 10^3).
  - Con agentes, $T_p(F_c^+) \approx 10\,T_p(F_c^-)$ y casi constante hasta $3 \times F_c$, donde aumenta gradual y luego rápidamente.
- *Inglesa*:
  - Imposible sin semáforos y/o agentes.
  - Disposición de semáforos propuesta inútil (salida vs. entrada).
  - Conflictos irreversibles.
  - Necesidad de anticipar vueltas.
  - La estrategia óptima es entre 3 y 30 veces peor.
  - Intolerante a errores. Irreversibilidad.
- Predicción: Desastre. Confirmación.

Resultados

- Semi-cuantitativos...
- Tradicional:
  - Sin agentes T_p casi independiente de F_v hasta cierto F_c en que el sistema se atasca (corridas de 10^3).
  - Con agentes, $T_p(F_c^+) \approx 10\,T_p(F_c^-)$ y casi constante hasta $3 \times F_c$, donde aumenta gradual y luego rápidamente.
- *Inglesa*:
  - Imposible sin semáforos y/o agentes.
  - Disposición de semáforos propuesta inútil (salida vs. entrada).
  - Conflictos irreversibles.
  - Necesidad de anticipar vueltas.
  - La estrategia óptima es entre 3 y 30 veces peor.
  - Intolerante a errores. Irreversibilidad.
- Predicción: Desastre. Confirmación.

Resultados

- Semi-cuantitativos...
- Tradicional:
  - Sin agentes T_p casi independiente de F_v hasta cierto F_c en que el sistema se atasca (corridas de 10^3).
  - Con agentes, $T_p(F_c^+) \approx 10\,T_p(F_c^-)$ y casi constante hasta $3 \times F_c$, donde aumenta gradual y luego rápidamente.
- *Inglesa*:
  - Imposible sin semáforos y/o agentes.
  - Disposición de semáforos propuesta inútil (salida vs. entrada).
  - Conflictos irreversibles.
  - Necesidad de anticipar vueltas.
  - La estrategia óptima es entre 3 y 30 veces peor.
  - Intolerante a errores. Irreversibilidad.
- Predicción: Desastre. Confirmación.

Resultados

- Programa: *perl, tcl, tk, linux*. Herramientas *libres*.
- ACMor. Unión. 15/XII/09
- Brujería→Unión 16/XII/09
- Hypatia (junio)
- Convenio ACMor-Ayuntamiento
- Valor de la ciencia; predicción/simulación vs. costo de la acción no evaluada.

Resultados

- Programa: *perl, tcl, tk, linux*. Herramientas *libres*.
- ACMor. Unión. 15/XII/09
- Brujería→Unión 16/XII/09
- Hypatia (junio)
- Convenio ACMor-Ayuntamiento
- Valor de la ciencia; predicción/simulación vs. costo de la acción no evaluada.

36 | Lunes 15 de Diciembre de 2008 | CIENCIA

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

La Ciencia, desde Morelos para el mundo

Todos los artículos publicados en esta sección de La Unión de Morelos han sido revisados y aprobados por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.*, cuyos integrantes son: Dra. Georgina Hernández Delgado, Dr. Hernán Larralde Riadura y Dr. Joaquín Sánchez Castillo (Coordinador)
Comentarios y sugerencias: joaquin.sanchez@microbio.gu.se

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.

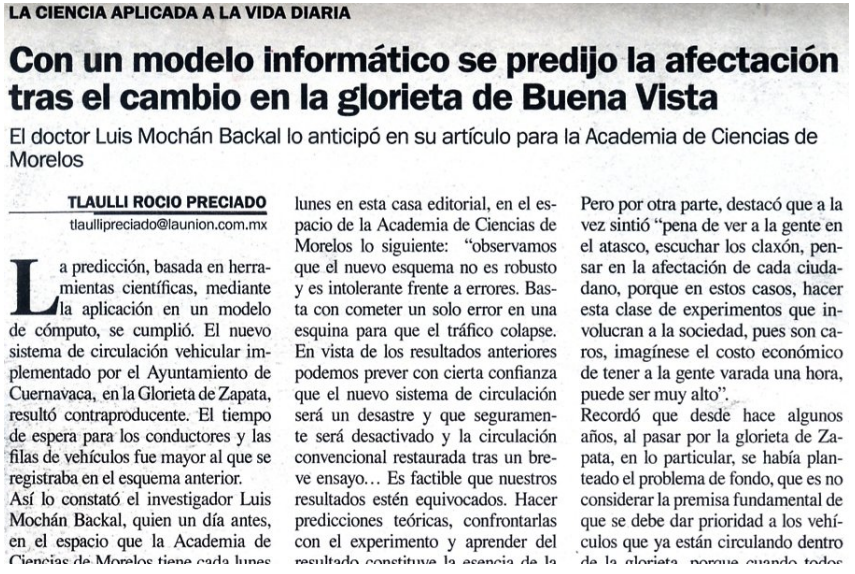
Hace más de un mes que presentimos el desastre. Pero no; la razón parecía haberse impuesto. Los semáforos, aunque siempre amenazantes, prendieron únicamente de manera intermitente, mostrando así que efectivamente podían ser inteligentes, razonables. A cipio fundamental: *la máxima prioridad es para quien ya ingresó en la glorieta*. Una glorieta es un sistema complejo con interacciones indirectas de largo alcance que pueden llevar a situaciones sorpresivas. Es común que algún vehículo *A* entre a la glorieta bloqueando a algún otro vehículo *B*, que a su vez bloquea a *C*, quien bloquee 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 dida 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 atasque.

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

Resultados

- Programa: *perl, tcl, tk, linux*. Herramientas *libres*.
- ACMor. Unión. 15/XII/09
- Brujería→Unión 16/XII/09
- Hypatia (junio)
- Convenio ACMor-Ayuntamiento
- Valor de la ciencia; predicción/simulación vs. costo de la acción no evaluada.



LA CIENCIA APLICADA A LA VIDA DIARIA

Con un modelo informático se predijo la afectación tras el cambio en la glorieta de Buena Vista

El doctor Luis Mochán Backal lo anticipó en su artículo para la Academia de Ciencias de Morelos

TLAULLI ROCIO PRECIADO
tlaullipreciado@launion.com.mx

La predicción, basada en herramientas científicas, mediante la aplicación en un modelo de cómputo, se cumplió. El nuevo sistema de circulación vehicular implementado por el Ayuntamiento de Cuernavaca, en la Glorieta de Zapata, resultó contraproducente. El tiempo de espera para los conductores y las filas de vehículos fue mayor al que se registraba en el esquema anterior.
Así lo constató el investigador Luis Mochán Backal, quien un día antes, en el espacio que la Academia de Ciencias de Morelos tiene cada lunes

lunes en esta casa editorial, en el espacio de la Academia de Ciencias de Morelos lo siguiente: "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… Es factible que nuestros resultados estén equivocados. Hacer predicciones teóricas, confrontarlas con el experimento y aprender del resultado constituye la esencia de la

Pero por otra parte, destacó que a la vez sintió "pena de ver a la gente en el atasco, escuchar los claxón, pensar en la afectación de cada ciudadano, porque en estos casos, hacer esta clase de experimentos que involucran a la sociedad, pues son caros, imagínese el costo económico de tener a la gente varada una hora, puede ser muy alto".
Recordó que desde hace algunos años, al pasar por la glorieta de Zapata, en lo particular, se había planteado el problema de fondo, que es no considerar la premisa fundamental de que se debe dar prioridad a los vehículos que ya están circulando dentro de la glorieta, porque cuando todos

¿Qué hicimos?

- Micro-simulador interactivo de intersecciones viales.
- Enfocado a la esencia, no los detalles, del problema.
- Reconfigurable (glorieta simple, circulación inglesa, puntos de control, # de carriles...).

Preparación/capacitación vía juego

- Complementar preparación de agentes teórica y en campo con experencias virtuales:
  - Retroalimentación.
  - Visión global del problema.
  - Proponer y probar distintas estrategias individuales.
  - Compararlas con las de colegas vía competencias.
  - Desarrollo de intuición.
  - Base de datos de agentes, estrategias, puntuaciones. . .
  - Reconocimientos, premios, estímulos. . .

Toma de decisiones

- Implementar constricciones/variantes y evaluarlas interactivamente. Por ejemplo:
  - ¿Controlar únicamente un punto fijo? ¿un punto móvil? ¿dos o más?...
  - ¿Controlar salida? ¿entrada? ¿ambas?
  - Control automatizado sin/con retroalimentación: ¿secuencia de activación? ¿tiempos? ¿dependencia con flujo?
  - ¿Número de carriles?
  - ¿Agentes/semáforos vs. educación cívica/vial?

Educación de la ciudadanía

- Visión global del problema.
- Toma de conciencia.
- Civilidad: beneficio colectivo $\rightarrow$ beneficio personal.

Realismo del modelo

- Geometría y topología (dimensiones y forma realistas, no. carriles en cada entrada/salida...).
- Obtención de datos (flujos vs. hora del día en cada avenida, probabilidades de virar hacia un lado u otro...)
- Modelaje (discreto vs. contínuo, velocidades binarias vs. relación velocidad/separación...).
- Distintos tipos de vehículos (coches, taxis, rutas, autobuses, camiones).
- Comportamientos, paradas de transporte público, vehículos estacionados...

Interactividad

- Presentación atractiva.
- Representación de los distintos tipos de vehículos y su comportamiento.
- Dispositivos de entrada.
- Distintos puntos de vista.
- Computadora dedicada.
- Acceso vía red.
- Autentificación de usuarios.
- Visualización tridimensional.

Análisis

- Implementación de códigos para modelar diversas intersecciones existentes o propuestas. Ampliación a regiones interactuantes.
- Implementación de códigos para modelar distintas estrategias de control de tráfico.
- Simulaciones largas no-interactivas con acumulación de datos.
- Análisis estadísticos.
- Recomendaciones.

Ciencia del tráfico

- Tráfico vehicular: sistema complejo, sensibilidad a fluctuaciones, transiciones de fase, consecuencias económicas (tiempos muertos no productivos) y ecológicas (emisiones excesivas).

Prueba *doble ciego*: capacitación vía juego

- Medir y comparar el dessempeño de agentes capacitados vía juego vs. grupo de control.
- Doble ciego: Agentes no sabrían de la medición. Monitores no sabrían de los grupos de agentes.
- Análisis estadístico, correlaciones y conclusiones.

Campaña de concientización

- Letreros y anuncios *Permita salir* **antes** *de entrar*
- Juegos en red para la ciudadanía.
- Análisis de efectividad.

¿Qué pasaría si. . . ?

- Evaluar de forma interactiva el impacto en el tráfico de variantes a
  - Número de agentes,
  - Su colocación,
  - Estrategias de control.
  - Número de carriles,
  - Posición de las paradas,
  - Vehículos estacionados,
  - Circulación.
  - . . .

¿Qué pasaría si. . . ?

- Evaluar de forma interactiva el impacto en el tráfico de variantes a
  - Número de agentes,
  - Su colocación,
  - Estrategias de control.
  - Número de carriles,
  - Posición de las paradas,
  - Vehículos estacionados,
  - Circulación.
  - . . .

¿Qué pasaría si. . . ?

- Evaluar de forma interactiva el impacto en el tráfico de variantes a
  - Número de agentes,
  - Su colocación,
  - Estrategias de control.
  - Número de carriles,
  - Posición de las paradas,
  - Vehículos estacionados,
  - Circulación.
  - . . .

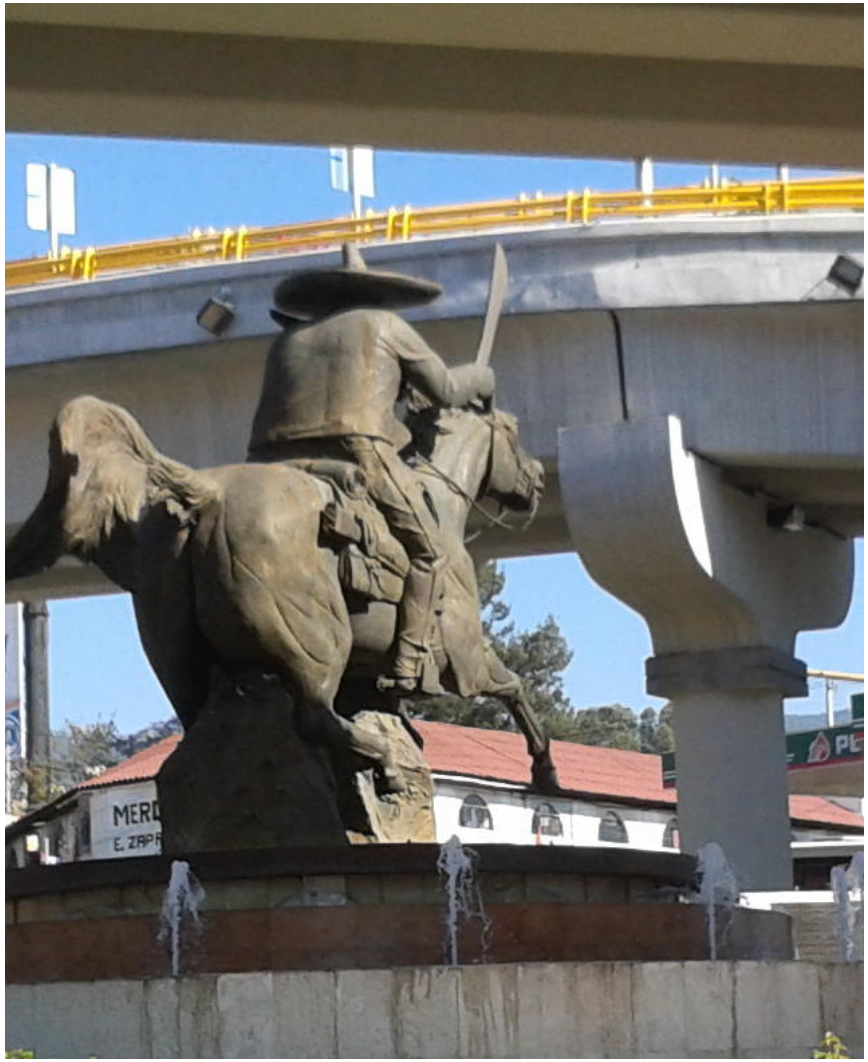
¿Qué pasaría si. . . ?

- Evaluar de forma interactiva el impacto en el tráfico de variantes a
  - Número de agentes,
  - Su colocación,
  - Estrategias de control.
  - Número de carriles,
  - Posición de las paradas,
  - Vehículos estacionados,
  - Circulación.
  - . . .

Acmor-Ayuntamiento

- Acuerdo de colaboración.
- Reunión en abril, 2009
  - Secretario General
  - Secretario de Desarrollo Urbano y Obras Públicas
  - Secretario de Seguridad
  - Compañía que puso el sistema
  - Director de Tránsito
  - Tres Policías.
  - Joaquín Sanchez (Presidente ACMOR en turno)
  - Toño del Río (simulador).
- La Compañía mostró su simulador. . . sin glorieta
- Luego. . . ¡estamos de acuerdo!
- No conocen sus algoritmos pues. . . no son científicos.

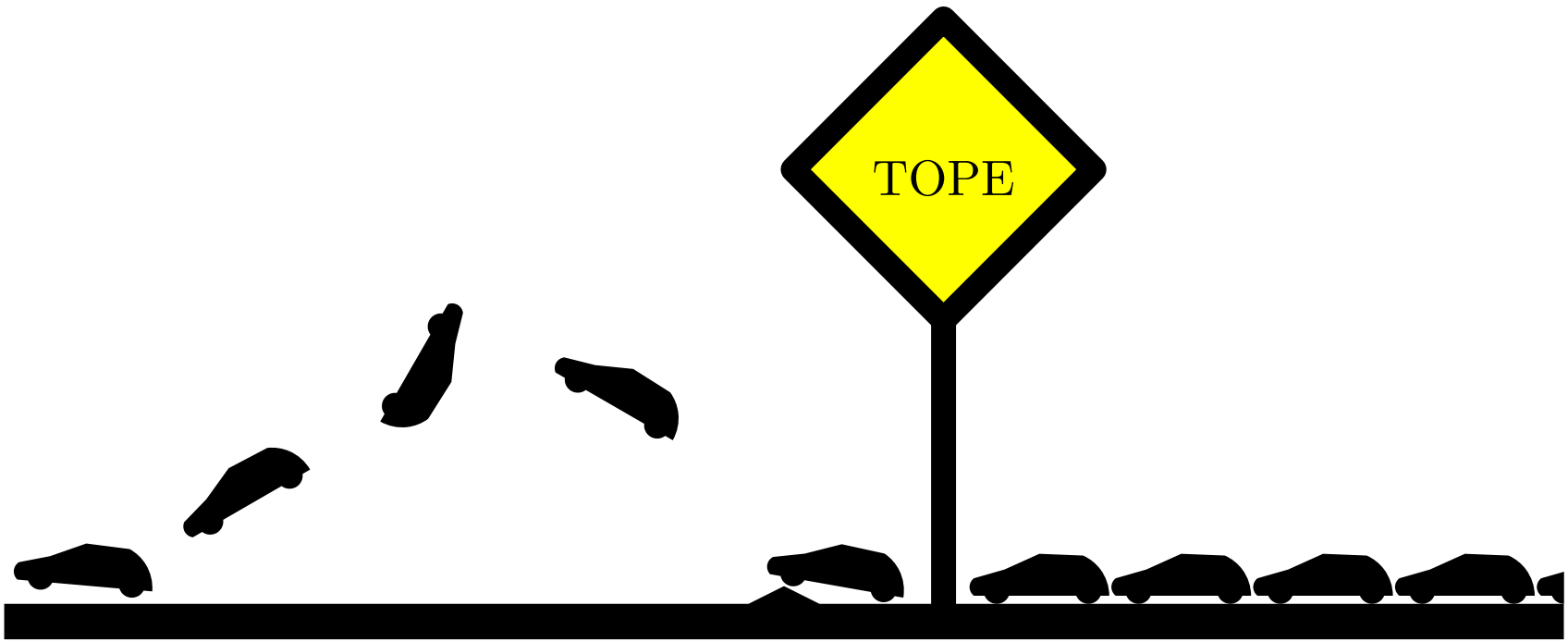
Situación Actual



Situación Actual

Situación Actual

¿Cuánto cuesta un tope?



Costos surtidos

- Fabricación
- Daño mecánico
- Salud
- Servicios de emergencia
- Tiempo en fila
- Costo laboral
- . . .

Costos energéticos y ambientales

- una tonelada y media $\times$ 72(km/h)^2/2 $\approx$300KJoules por vehículo por tope,
- = media barra de chocolate, 10 baterías alcalinas C, 10 mililitros de gasolina, cien metros a velocidad crucero.
- Poco, pero $\times$5 por ineficiencia, $\times$ número de topes $\times$ número de coches. . . .
- Ejemplo: Tramo Jojutla-Alpuyeca.
  - Cada día se desperdician 200,000 millones de Joules, 7,000 litros de gasolina, $70,000MN.
  - Alcanzaría para prender 1.5 millones de focos (ahorradores, 4hrs./día), o 3,500 refrigeradores, i.e., un pequeño poblado.
  - 6,000 toneladas de CO_2 al año $\Rightarrow$ 60,000 créditos de carbono = $750,000MN ¡en sólo 15 km!
  - $\Longrightarrow$ agentes, monitores, cámaras, educación vial y cívica. . .

Costos energéticos y ambientales

- una tonelada y media $\times$ 72(km/h)^2/2 $\approx$300KJoules por vehículo por tope,
- = media barra de chocolate, 10 baterías alcalinas C, 10 mililitros de gasolina, cien metros a velocidad crucero.
- Poco, pero $\times$5 por ineficiencia, $\times$ número de topes $\times$ número de coches. . . .
- Ejemplo: Tramo Jojutla-Alpuyeca.
  - Cada día se desperdician 200,000 millones de Joules, 7,000 litros de gasolina, $70,000MN.
  - Alcanzaría para prender 1.5 millones de focos (ahorradores, 4hrs./día), o 3,500 refrigeradores, i.e., un pequeño poblado.
  - 6,000 toneladas de CO_2 al año $\Rightarrow$ 60,000 créditos de carbono = $750,000MN ¡en sólo 15 km!
  - $\Longrightarrow$ agentes, monitores, cámaras, educación vial y cívica. . .

Costos energéticos y ambientales

- una tonelada y media $\times$ 72(km/h)^2/2 $\approx$300KJoules por vehículo por tope,
- = media barra de chocolate, 10 baterías alcalinas C, 10 mililitros de gasolina, cien metros a velocidad crucero.
- Poco, pero $\times$5 por ineficiencia, $\times$ número de topes $\times$ número de coches. . . .
- Ejemplo: Tramo Jojutla-Alpuyeca.
  - Cada día se desperdician 200,000 millones de Joules, 7,000 litros de gasolina, $70,000MN.
  - Alcanzaría para prender 1.5 millones de focos (ahorradores, 4hrs./día), o 3,500 refrigeradores, i.e., un pequeño poblado.
  - 6,000 toneladas de CO_2 al año $\Rightarrow$ 60,000 créditos de carbono = $750,000MN ¡en sólo 15 km!
  - $\Longrightarrow$ agentes, monitores, cámaras, educación vial y cívica. . .

Costos energéticos y ambientales

- una tonelada y media $\times$ 72(km/h)^2/2 $\approx$300KJoules por vehículo por tope,
- = media barra de chocolate, 10 baterías alcalinas C, 10 mililitros de gasolina, cien metros a velocidad crucero.
- Poco, pero $\times$5 por ineficiencia, $\times$ número de topes $\times$ número de coches. . . .
- Ejemplo: Tramo Jojutla-Alpuyeca.
  - Cada día se desperdician 200,000 millones de Joules, 7,000 litros de gasolina, $70,000MN.
  - Alcanzaría para prender 1.5 millones de focos (ahorradores, 4hrs./día), o 3,500 refrigeradores, i.e., un pequeño poblado.
  - 6,000 toneladas de CO_2 al año $\Rightarrow$ 60,000 créditos de carbono = $750,000MN ¡en sólo 15 km!
  - $\Longrightarrow$ agentes, monitores, cámaras, educación vial y cívica. . .

Geometría

- ¿Por que todas las coladeras son (eran) circulares?

- ¡No se caen!

Geometría

- ¿Por que todas las coladeras son (eran) circulares?

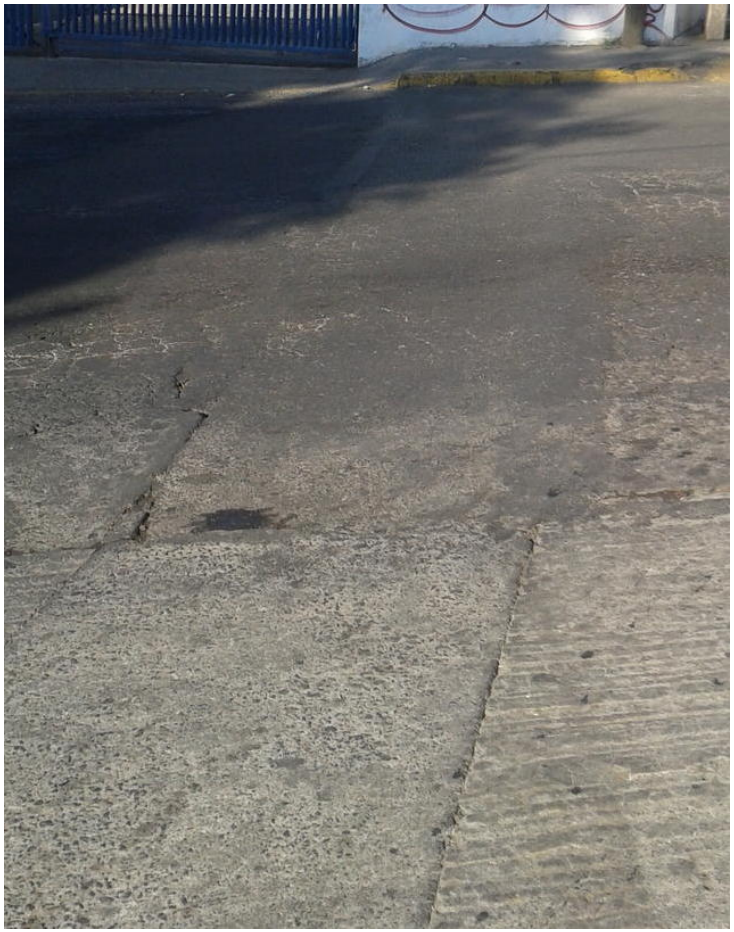
- ¡No se caen!

Galería de Coladeras

Galería de Coladeras

Galería de Coladeras

Galería de Coladeras



¿Participación Ciudadana?

- ¿A quién acudir para hacer sugerencias, señalar fallas,. . . ?
- Compraración con desarrollo de software libre.

¿Participación Ciudadana?

- ¿A quién acudir para hacer sugerencias, señalar fallas,. . . ?
- Compraración con desarrollo de software libre.

Compartir recursos

- El Club de la Paloma
- Compartir transporte reduce la huella ecológica mucho más que cualquier desarrollo tecnológico

Conclusiones

- El modelaje y simulación del tránsito y su control interactivo o a través de algoritmos establecidos permitiría:
  - Fortalecer la capacitación de los agentes.
  - Educar a la ciudadanía.
  - Coadyuvar en la toma de decisiones.
  - Generar nuevos conocimientos sobre sistemas complejos con relevancia social.
- La geometría y la física pueden servir para entender problemas en infraestructura.
- La tecnología informática podría fomentar mayor participación ciudadana y optimización de recursos.