

# MODERNIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN EN COLOMBIA, UN RETO EN LOS PLANES DE MOVILIDAD

**Claudia Juliana Lucena Lizarazo<sup>1</sup>**  
**Universidad Pontificia Bolivariana**  
**Especialización Vías Terrestres**  
Bucaramanga, Colombia

## Resumen

En este documento se presentan los semáforos como instrumentos esenciales en la administración del tráfico y el mejoramiento de la movilidad. Dado el atraso de la semaforización en Colombia, se listan algunos modelos utilizados en la programación de los tiempos semafóricos, así como las problemáticas más frecuentes alrededor de su funcionamiento y su impacto en los flujos de los diferentes actores del tráfico, como son los peatones, discapacitados, ciclistas, vehículos y motos.

**Palabras claves:** Semaforización, movilidad, tráfico, semáforos.

## Abstract

Traffic lights as essential tools in the traffic management and improving mobility are presented in this document. Given the backlog of traffic lights in Colombia, some models used in scheduling of traffic light times are listed, and the most frequent problems about its operation and its impact on the flows of the several traffic actors, such as pedestrians, disabled people, cyclists, cars and motorbikes.

**Keywords:** Mobility transportation problems.

---

<sup>1</sup> C. Lucena, Ingeniera Civil, Especialista en Vías Terrestres.

## 1. Introducción

La urbanización acelerada de más del 50% de la población mundial y su crecimiento supone importantes cambios en las ciudades. En Colombia, la población urbana corresponde al 74% de la población nacional, y se prevé que llegará a alcanzar el 80% en los próximos 10 años, lo que representará un incremento del 30% respecto de la actual población urbana [1].

Las transformaciones de orden físico, económico, social y ambiental, afectan de varias formas la vida en las ciudades y sus habitantes. Es así como los planes de movilidad se formulan para favorecer, la determinación de soluciones y estrategias que permitan reducir los tiempos de desplazamiento y mejorar la movilidad del transporte público y privado, y reducir los puntos de conflicto que restringen la movilidad.

Uno de los instrumentos más influyentes en la consecución de dichos objetivos es el semáforo, que se usa para controlar el flujo vehicular y de peatones, ayudando también a garantizar la seguridad en las vías.

Aunque la semaforización en Colombia tiene mucho camino por recorrer en cuestión tecnológica y versatilidad en comparación con otros países, debido a que en algunos casos, su programación excluye grupos importantes de participantes no motorizados como peatones, ciclistas y discapacitados, al sobreestimar el flujo vehicular o la destinación limitada de recursos para este rubro, se han dado los primeros pasos en modernización sobre todo en las principales ciudades.

## 2. Planteamiento del problema

En los planes de movilidad es común encontrar objetivos como aumentar la conectividad y seguridad vial y disminuir los tiempos de viaje dentro de la ciudad. Para tal fin, se cuenta con diferentes metodologías y tecnologías, entre las cuales se encuentran los modelos de transporte que explican cómo se produce la demanda de control de tránsito, generalmente mediante el uso de expresiones matemáticas, en las que se apoya el conocimiento anticipado de la demanda futura para la programación de los flujos vehiculares.

Un elemento importante en esta tarea es el semáforo, ya que regula la circulación de vehículos, bicicletas y peatones en vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente. La semaforización pretende solucionar los conflictos entre vehículo – vehículo y vehículo – peatón en las intersecciones que alcanzan altos volúmenes de tránsito, de tal forma que se logre un equilibrio entre la movilidad, accesibilidad y la seguridad.

El reto actual consiste en implementar una red semaforica actualizada tecnológicamente, que permita la operación de manera óptima y eficiente, no sólo de flujo vehicular sino peatonal.

## 2.1 El peatón en la semaforización

En 2005 el mundo sobrepasó los 6.400 millones de habitantes. Naciones Unidas calcula que más de 2.860 millones viven en áreas urbanas, es decir, cerca del 48% de la población, y pronostican que la población mundial urbana alcanzará para el 2020, cerca del 55% del total. Entre estas cifras hay un hecho preocupante, la población mundial urbana aumenta claramente como la suma de dos funciones crecientes, una exponencial y una lineal; la lineal representa el crecimiento de la población urbana en los países desarrollados, y la exponencial representa el crecimiento de la misma en los países en desarrollo. Ante el crecimiento desmedido de la población urbana, algunos de los analistas estiman que el parque automotor seguirá creciendo [6].

En la definición de los planes de semaforización los peatones no han sido completamente involucrados, lo cual se evidencia en las tasas de accidentalidad y en la pérdida de tiempo en sus desplazamientos [7].

Actualmente la programación semafórica en Colombia está orientada fundamentalmente a los vehículos, en la medida que la optimización se basa principalmente en la reducción de tiempos de demora de los autos. El tratamiento a los peatones se basa en el aprovechamiento de los tiempos rojos vehiculares de los ciclos, ajustando únicamente los tiempos de seguridad para cruzar la vía. Los volúmenes peatonales no se consideran para la definición de las fases, sólo se tienen en cuenta para la determinación de los anchos de las cebras y de los separadores centrales, en caso que el paso peatonal se realice en dos ciclos. Por lo anterior, el tiempo de demora peatonal no forma parte de la optimización de los ciclos semafóricos [7].

El planteamiento de nuevos planes de señalización para intersecciones semaforizadas ya implementadas, en los cuales se incluyen mayores tiempos en las fases verdes peatonales, involucra costos asociados que generan beneficios o impactos a la sociedad, por ello, es necesario que las medidas propuestas se enfoquen en una buena operación y un mínimo de impactos negativos. Para medir dichos impactos, se puede utilizar el análisis Beneficio – Costo, el cual mide el impacto en el bienestar económico de la sociedad como resultado de las medidas tomadas [7].

En algunos países se han interesado en el estudio de los tiempos semafóricos para peatones en áreas urbanas, los cuales no dan tiempo suficiente para cruzar las calles con seguridad, especialmente a peatones mayores y/o discapacitados. Esto se produce no solo en países en los que no existen legislaciones en materia de accesibilidad, sino en los más favorables donde disponen una velocidad de cruce peatonal de 0.7 m/s.

La Encuesta de Salud, Envejecimiento y Jubilación en Europa midió la velocidad de ambulación normal de una muestra representativa de españoles de edad igual o superior a los 75 años. El estudio comparó la velocidad mediana de esta muestra con la velocidad de referencia de 0.7 m/s. La velocidad mediana de las mujeres fue de 0.40 m/s, y la de los hombres 0.60 m/s. El análisis de frecuencias mostró que el 75.2% (N=91) de las mujeres y el 66.7% (N=82) de los hombres

ambulaban a velocidades inferiores a 0.7 m/s. La velocidad de referencia que incluiría el 80% de mujeres y hombres de la muestra sería de 0.25 y 0.31 m/s, respectivamente. Por lo tanto, la velocidad de referencia de 0.7 m/s excluye una proporción importante de personas de edad avanzada. Se necesitan medidas para evitar la discriminación y garantizar la seguridad de este grupo creciente de la población [8].

Los esfuerzos por incluir a los peatones en la semaforización deben presentar un equilibrio entre la eficiencia en el manejo de los flujos vehiculares y los flujos peatonales, en los que las personas algunas veces no encuentran una oportunidad segura de paso y terminan cruzando con una clara exposición de su integridad física.

Actualmente existen múltiples tecnologías que permiten una atención de los flujos peatonales, reduciendo al máximo los impactos en la circulación vehicular. La más adecuada en zonas donde se presentan variaciones importantes del volumen de peatones entre una hora y otra, como las zonas escolares con alto volumen de peatones a la hora de ingreso a clases pero amplios períodos de baja demanda, es la tecnología de otorgar el derecho de paso a peatones al poner a su disposición un pulsador que envía la solicitud al controlador del semáforo. De esta forma cuando no se presenta un volumen de peatones considerable las detenciones al flujo vehicular se reduce [1].

Así mismo, este sistema en los semáforos peatonales, que debería ser apoyo a los peatones presenta falencias como la falta de visibilidad del semáforo por árboles, señales indicativas, farolas; la altura inadecuada del pulsador, inaccesible a veces para personas en silla de ruedas; el tiempo de paso es ocasionalmente insuficiente en calles anchas; y en algunos casos, falta de señales acústicas para personas invidentes [9].

## **2.2 Defectos en la programación y funcionamiento de los semáforos**

Se hace necesario administrar el flujo vehicular existente y en continuo aumento, ya sea debido a las facilidades de adquisición que el sector automotriz brinda o a la necesidad que tiene el ser humano de trasladarse. En la actualidad, según estadísticas del Ministerio de Transporte, y reportes del Instituto Nacional de Vías – Invías y la policía de carreteras, los vehículos detectados por peajes en el 2008 fueron 3.720.000 vehículos y en el 2009, 4.240.000. No obstante, las motocicletas no se incluyeron en la anterior cifra, en la que según Federación Nacional de Comerciantes – Fenalco, faltan más de dos millones de motos que circulan por las calles. Este reporte indica que en Colombia es un reto afrontar la administración del tráfico vehicular y de la movilidad [10].

La semaforización actual en Colombia es primitiva frente a sus funcionalidades ya que presenta fallas en los cortes de energía y los apagones esporádicos por falta de fuente propia,

adicionalmente se desprograman, pierden su lógica y propicia que los usuarios no respeten esta señal de tránsito tan importante [10].

Una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio es la intersección regulada por semáforos. El análisis de estas intersecciones debe considerar una gran variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico rodado, la composición del mismo, las características geométricas, y los detalles de la semaforización de la intersección [11].

Un elemento adicional en el concepto de capacidad es la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye el tiempo entre los movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio. La manera en que se distribuya el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección, en su capacidad y de sus accesos [11].

### **2.3 Caso Bucaramanga y su área metropolitana**

Según las cifras oficiales de 2012, prácticamente 785 semáforos y 250 postes se deben reponer por nuevos para lograr un mejoramiento en la operación de este tipo de sistema que tiene ya 35 años. Además requiere una inversión del orden de los \$35 mil millones de pesos. A esto se agrega la necesidad de semaforizar cerca de 40 cruces viales en sitios como las calles 41 y 42 con carreras 28 y 29, carreras 21 y 22 con calles 10 y 11, carreras 31 y 32 con Avenida Quebrada Seca, carreras 23 y 24 con calle 37, Avenida González Valencia con calle 48, y carrera 26 con calles 45 y 48, entre otras. Según las autoridades, en estos sitios el nivel de accidentalidad y riesgo al que se ven sometidos los ciudadanos suele incrementarse de una manera descontrolada [12].

Además de enfrentar esta problemática, la Dirección de Tránsito y Transporte de Bucaramanga – DTTB, ha tenido que superar varios retos. El primer reto fue la recuperación financiera de la DTTB, puesto que en la anterior administración municipal, presentó un déficit financiero de \$1.500 millones de pesos. En la actual administración, a finales del año 2012, reportó ingresos por \$250 mil millones de pesos y al final de 2013 aproximadamente de \$2 mil millones de pesos. Esto se ha dado gracias a la adopción de un nuevo reglamento de cartera. Además, desde el punto de vista operativo, en 2013 se sacaron 40 mil partes y este año la meta proyectada es de 60 mil, lo cual permite mejores ingresos en la Dirección de Tránsito [13].

En materia de comunicaciones, los agentes de tránsito y comandantes tienen una nueva central de comunicaciones, que de manera digital comunica y localiza a cada uno de ellos, lo cual es un paso importante hacia la modernización. Un reto importante para el año 2014, es la Central Inteligente e Integral de Tráfico, una central que abarca la modernización de la semaforización de Bucaramanga, que cuenta con 200 intersecciones y más de 30 años de uso, que amerita semáforos inteligentes, para obtener *Olas Verdes*, es decir, paso continuo de vehículos en luz verde [13].

En el Municipio de Girón, el cual hace parte del área Metropolitana de Bucaramanga, según lo anunciado en la Segunda Fase del Plan de Movilidad, ya se definieron los tres puntos de instalación de 26 nuevos semáforos en los sectores de la carrera 6 con calle 18, cruce de la calle 43 con carrera 23 y cruce de la carrera 19 con calle 18B, obras en las que el Municipio asignó 690 millones de pesos. Las tres intersecciones contarán con los dispositivos viales, ya que actualmente presentan un alto nivel de accidentalidad y congestión vehicular. De hecho, son consideradas como los puntos más neurálgicos de la localidad [14].

De manera simultánea, se llevarán a cabo otras obras por más de 1.460 millones de pesos relacionadas con pavimentos, reparcho flexible y en piedra; con lo que se busca complementar una estrategia para superar los traumatismos viales que registra la Villa de Los Caballeros [14].

### **3. Generalidades de los semáforos**

#### **3.1 Descripción de los semáforos**

Según el Manual de Señalización de la Administración de Medellín, *“los semáforos son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos, bicicletas y peatones en vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad electrónica de control”* [2].

Los semáforos se usan para controlar el flujo vehicular y de peatones, ayudando de esta manera a garantizar la seguridad en las vías. Por esta razón, antes de instalar un semáforo, es de suma importancia realizar un estudio del sitio y sus condiciones de tránsito, ya que predetermina el derecho de vía para los movimientos del lugar [2].

#### **3.2 Funciones de los semáforos**

Los semáforos desempeñan las funciones de interrumpir periódicamente el tránsito de una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular, regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante, controlar la circulación por carriles, eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares y proporcionar un ordenamiento del tránsito [2].

#### **3.3 Historia del semáforo**

El semáforo, fue desarrollado por el ingeniero ferroviario J. P. Knight en 1868, para controlar el tráfico de la Avenida Principal y la Calle 105 en la Ciudad de Westminster – Inglaterra. Era similar a los situados en las vías férreas; al principio sólo tenía luces rojas y verdes, emitía un sonido para indicar el cambio de color, y era operado por un policía las 24 horas del día [3].

Sin embargo, el aumento del parque vehicular indujo a que el Oficial de Policía William L. Potts mejorara el aparato de Knight, cambiando el sonido por la luz de color ámbar. Instaló el primer dispositivo en la esquina de las Avenidas Woodward y Michigan en 1920, Detroit, Estados Unidos [3].

Inicialmente, se controlaban en forma manual, pero a medida que mejoraba la tecnología se empezaron a colocar en una calle completa sincronizándolos en cascada.

#### **4. Semáforos para el control del tránsito**

##### **4.1 Clasificación**

Los semáforos para el control del tránsito de vehículos se clasifican de la siguiente forma según el Código de tránsito colombiano [15]:

- Semáforos para control de vehículos.
- Semáforos para peatones.
- Semáforos especiales.
- Semáforos de aproximación a cruces de transporte masivo, trenes y guardarrieles.
- Semáforos direccionales, intermitentes y otros.

##### **4.2 Elementos del semáforo**

El semáforo consta de una serie de elementos físicos, como la cabeza, soportes, cara, lentes, visera y placa de contraste [2]. Sus definiciones y características se enumeran a continuación:

- Cabeza: Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.
- Soportes: Son las estructuras que se usan para sujetar la cabeza del semáforo y tienen como función situar los elementos luminosos del semáforo en la posición en donde el conductor y el peatón tengan la mejor visibilidad y puedan observar sus indicaciones. Algunos elementos de soporte deben permitir ajustes angulares, verticales y horizontales de las caras de los semáforos. Por su ubicación en la intersección, los soportes se clasifican así: ubicación a un lado de la vía: postes o ménsulas cortas; ubicados en la vía: ménsulas largas sujetas a postes laterales, cables de suspensión, postes y pedestales en islas.
- Cara: Es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara o bombillo y portalámpara) que están orientadas en la misma dirección para regular uno o más movimientos de circulación.
- Lente: Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada.
- Visera: Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado.
- Placa de contraste: Elemento utilizado para incrementar la visibilidad del semáforo y evitar que otras fuentes lumínicas confundan al conductor.

### **4.3 Estudios necesarios**

Antes de la instalación de semáforos se debe efectuar una investigación de las condiciones del tránsito y de las características físicas de la intersección, para determinar si se justifica y para proporcionar los datos necesarios para el diseño y la operación apropiada de un semáforo [2].

Los principales datos a recopilar son número de vehículos que ingresan a la intersección y por cada vía de acceso, volumen de vehículos clasificado por tipo, volumen peatonal, velocidad de los vehículos, plano de la intersección, estadística de accidentes y datos adicionales como número y distribución de intervalos o espaciamientos entre grupos de vehículos en la calle principal que permitan al tránsito de la calle secundaria cruzar la intersección en condiciones de seguridad.

## **5. Modelación de problemas de tránsito**

Los modelos de transporte explican cómo se produce la demanda actual de control de tránsito, generalmente mediante el uso de expresiones matemáticas, en las que se apoyará el conocimiento anticipado de la demanda futura [4].

Existen diferentes tipos de modelos, los cuales pueden ajustarse a un problema de tránsito específico, algunos tipos de modelos se comentan a continuación.

### **5.1 Distribución de los tiempos semafóricos**

Para calcular los tiempos semafóricos se utilizan diversos modelos. Los más conocidos son el Modelo de Webster, el cual basándose en observaciones de campo y simulación de un amplio rango de condiciones de tránsito demuestra que la demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforo, se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo; el Modelo Americano, que usa el tiempo total empleado en el arranque del verde y el flujo de saturación que se expresa en vehículos mixtos o equivalentes por hora de verde por carril; el Método Simultáneo (ALLSOP) que aborda el problema de determinar el ciclo y repartos de un semáforo aislado usando programación lineal; y el Modelo Secuencial (AKCELIK) cuyo enfoque tradicional se basa en la minimización de las demoras a los vehículos de los movimientos críticos basados en el Modelo Webster.

### **5.2 Coordinación de semáforos**

Dentro de la simulación de redes se observan distintos conflictos, el primero se refiere a que confluyen trayectorias iguales pero con velocidades distintas. Los distintos conflictos se representan por relaciones velocidad – flujo, en los que a medida que crece el flujo, los grados de libertad de los conductores se reducen. La relación velocidad – flujo trae implícita la capacidad. La velocidad media se reduce con el aumento del flujo.



El segundo de los conflictos se presenta cuando se cruzan trayectorias en caminos (en las intersecciones) dando origen a detenciones, colas y demoras.

Un tercer tipo de conflicto son los funcionales, es decir, los que aparecen entre vehículos que están interesados en el desplazamiento o el acceso. La función de acceso (accesibilidad) está relacionada con la acción de detenerse y la función de desplazamiento (movilidad) con la de movimiento y ambas pueden darse en la misma vía con diferentes grados.

El siguiente paso es integrar a una red y luego transformar todos estos conflictos dentro de la red en impactos (consumo de combustible, accidentes, demoras) que derivan de las características físicas de la red.

Una red incorpora la descripción de tres componentes con el objetivo de replicar la realidad (Ver Fig. 1):

- La infraestructura: Son las vías, terminales, parqueaderos, etc. Esta se simboliza a través de arcos con dirección que representan tramos de vías y de nodos (intersecciones, terminales, estrangulamientos).
- La regulación de la circulación: considera la conexidad (que dos puntos estén conectados), leyes de funcionamiento del tránsito definidas sobre los nodos (por ejemplo, intersecciones semaforizadas), otros parámetros que se definen sobre la red.
- Los usuarios: Se especifican a través de una matriz origen – destino referenciada con un centroide, y parámetros característicos de la red.

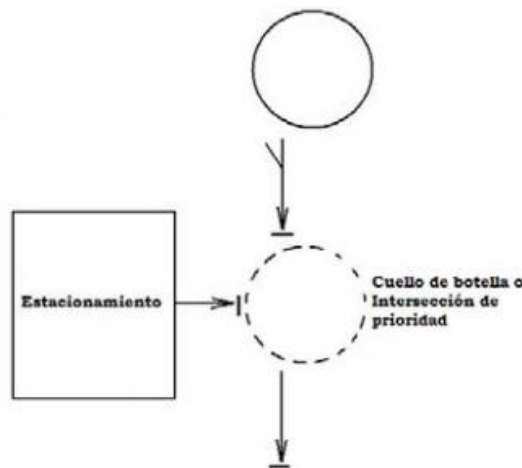


Fig. 1. Representación del fenómeno de vehículos que entran a un estacionamiento especificado en el sitio dentro del arco correspondiente una intersección con una vía prioritaria o también una de "cuello de botella" dependiendo del fenómeno [4].

### **5.3 Giro a la izquierda**

La Distribución de Poisson se utiliza para describir cierto tipo de procesos entre los que se encuentran la distribución de llamadas que llegan a un conmutador, la demanda de pacientes que quieren un servicio en una institución de salud, el número de accidentes registrados en una cierta intersección de calles y la bahía de giro a la izquierda, lo cuales tienen en común que pueden ser escritos mediante una variable aleatoria discreta que toma valores enteros (0, 1, 2, 3, 4,...).

Aplicando la Probabilidad de Poisson, se puede calcular el promedio de vehículos que llegan a una bahía en una intersección semaforizada en un tiempo determinado y las dimensiones de la bahía en términos de la distancia de recorrido durante el tiempo, percepción, reacción y distancia de frenado, velocidad de aproximación, superficie y pendiente.

## **6 Pasado, presente y futuro de los semáforos**

Inicialmente, los semáforos tenían interruptores automáticos que cambiaban de color de acuerdo al temporizador que llevaban, sin tener en cuenta otras variables, razón por la que siempre estaban la misma cantidad de tiempo en verde y en rojo respectivamente [16].

Después, se agregó la posibilidad de que los semáforos integraran sistemas más complejos, aunque fijos, que permitieran definir el color a mostrar en cada momento del año, ajustando los cambios conforme a las fechas, y al tráfico observado.

En la actualidad, el temporizador de los semáforos es controlado dinámicamente por el centro de control del tráfico, que tiene en cuenta el flujo vehicular existente en cada zona y el análisis del tráfico global para ajustar dinámicamente los cambios de color, obteniendo un tráfico más fluido; sin embargo, ya se están dando los primeros pasos hacia la semaforización inteligente.

Se consideran semáforos inteligentes a aquellos que pueden tomar decisiones de acuerdo a una serie de parámetros de entrada, como velocidad media y flujo vehicular. Existen diferentes tecnologías implementadas pero aún no se encuentra la mejor solución para la congestión vehicular, lo cual supone el reto para la semaforización del futuro [17].

### **6.1 Semaforización inteligente en el presente**

El sistema de semaforización inteligente que controla los tiempos de iluminación verde, roja y amarilla de los semáforos, tiene como objetivo de minimizar la congestión vehicular de la ciudad. Este sistema aprende cómo se comporta el tráfico y sabe cómo condicionarlo con base en los algoritmos genéticos. Para esto realiza un seguimiento continuo del flujo vehicular y con esta información crea las primeras generaciones de tiempos para los semáforos. Luego revisa cuáles tiempos se adaptaron mejor al sistema, es decir, aquellos que minimizaron el tráfico, y, finalmente, a través del cruce y la mutación que provee el método de aprendizaje de los algoritmos genéticos que simulan un proceso evolutivo, controla el tráfico de la ciudad y ayuda a minimizar los tiempos de recorrido de sistemas de transporte masivo [5].

El proceso de control inteligente se describe en [5] y comienza con la captura de la longitud de cola vehicular, es decir, la cantidad de vehículos que tiene un semáforo en cola. Esto se realiza por medio de un sensor ubicado en cada semáforo. Actualmente se han implementado en Bogotá dos tipos de sensores: uno de presión, que es ubicado debajo del asfalto, y uno de cámara, que es ubicado en la parte superior del semáforo (fig. 2). Se recomienda el sensor de cámara, no solo por ser el más económico, sino también porque tiene un rango de visión más amplio.

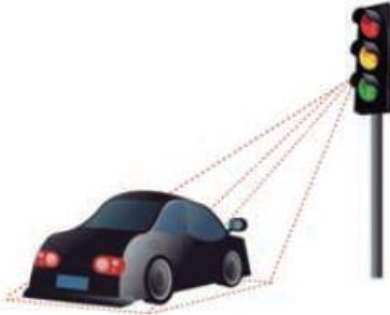


Fig. 2. Sensor semafórico [5].

Luego de recorrer todas las intersecciones y de capturar la cantidad de vehículos por cada semáforo, se organizan de mayor a menor, siendo las intersecciones prioritarias las que mayor cantidad de vehículos tengan. De esta manera, se crea la primera generación de tiempos de los ciclos verde y rojo, y el tiempo de ciclo amarillo se ha determinado como una constante con un valor de un segundo. Esta primera generación creada se realiza a partir de la demanda de vehículos; se establecen unos límites para esta evitar que un punto del sistema sea sobrecargado.

En la función de adaptación, con los tiempos de los ciclos que se crearon en la primera generación, se calcula el impacto en el sistema, es decir, se evalúa cuáles de los tiempos generados se adaptaron al sistema de tráfico de manera positiva, cuáles ayudaron a minimizar el tráfico y cuáles contaron con el menor tiempo del ciclo. Esto se hace comparando el flujo vehicular y los tiempos de ciclo, y el resultado es guardado para las siguientes generaciones de ese semáforo.

Los algoritmos genéticos proveen un método de aprendizaje al simular un proceso evolutivo que es sometido a cruces y a la mutación de los tiempos de ciclo rojo y verde de los semáforos, además de una selección de los tiempos que mejor se adaptan al sistema de tráfico. Se toman las dos mejores opciones adaptadas de un semáforo y son cruzadas, de manera que el tiempo resultante del cruce, a su vez, es mutado; luego es actualizado en el sistema de semaforización y posteriormente es pasado por la función de adaptación para determinar si se acomoda positivamente en el sistema.

Los métodos de selección y adaptación para cada tiempo de ciclo aplicado en un semáforo determinan si continúa en el algoritmo y si es cruzado o es desechado. De esta forma se crean nuevos tiempos de ciclo a partir de los operadores genéticos dentro de una población y por eso el cruce y la mutación son tan importantes en el algoritmo.

## **6.2 Semaforización del futuro**

Un modelo informático de científicos norteamericanos y rumanos, toma información real acerca de la posición y de la velocidad de todos los vehículos de las calles cercanas de Bucarest, y programa los semáforos para calcular con dicha información cómo organizar los cambios de color de sus luces, con el fin de agilizar el tráfico.

Las mediciones de la reducción del tiempo que pasaban los vehículos en el cruce, realizadas en comparación con el tiempo de recorrido calculado en ausencia de un mecanismo de control, se acompañaron con mediciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mismo lugar y periodo. Estas emisiones disminuyeron un 6,5% gracias al sistema, a la vez que el tiempo de espera en los cruces de la ciudad en horas de máxima afluencia de tráfico se redujo hasta un 28% [18].

En el futuro, tanto los tiempos de los recorridos como el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, podrían disminuirse en el mundo real con una gestión inteligente del tráfico realizada desde los semáforos. Además, surge la posibilidad de que los autos incorporen un software específico que indique a los conductores las velocidades recomendables en función de las luces de los semáforos y la cantidad de vehículos que se pueden encontrar en los sitios de mayor congestión. Esta aplicación también podría enviar información al sistema para mejorar la regulación del tráfico mediante los semáforos.

Para que esto último fuera viable, sin embargo, los vehículos deberían estar conectados con el sistema informático que controla los semáforos de cualquier ciudad. Aunque actualmente esto no es posible, diferentes empresas y grupos de investigación de todo el mundo trabajan ya en el desarrollo de sistemas de comunicación entre coches que puedan adaptarse a este propósito.

## **7. Conclusiones**

Los semáforos se usan para controlar el flujo vehicular y de peatones, ayudando de esta manera a garantizar la seguridad en las vías. Por esta razón, la responsabilidad en la administración de la movilidad no solo recae en la programación de los equipos sino también en la supervisión por parte de las autoridades competentes.

Antes de la instalación de semáforos se debe efectuar una investigación de las condiciones del tránsito y de las características físicas de la intersección, para determinar si se justifica y para proporcionar los datos necesarios para su diseño y operación apropiada.

Dentro de los sistemas de semaforización se destaca el sistema de semaforización inteligente

que controla los tiempos semafóricos, mediante un proceso evolutivo en el que selecciona la información del tráfico que minimiza los tiempos de recorrido de sistemas de transporte de acuerdo a una hora determinada.

La semaforización en Colombia tiene mucho camino por recorrer en cuestión tecnológica y versatilidad, sin embargo, se están presentando iniciativas de modernización en las principales ciudades que pueden constituir el primer paso hacia la movilidad sostenible.

Bucaramanga y su área metropolitana, después de más de 30 años, invierte en la modernización de la semaforización asignando importancia a la manera en que se distribuye el tiempo para generar un impacto significativo en el funcionamiento de las intersecciones, su capacidad y de sus accesos.

## 8. Agradecimientos

El autor agradece a su familia, especialmente a su esposo quien una vez más la acompañó en esta etapa de estudio, a sus hijos Julián Fernando y Sarita Gabriela por la paciencia y la comprensión que tuvieron durante el tiempo que no estuvo presente para acompañarlos.

## 9. Referencias

- [1] AE Arquitectos. (2009, Junio). Propuesta de Plan de Movilidad para la ciudad de Guadalajara de Buga. *Estudios de movilidad y tránsito con centros históricos. Informe 4. Medellín*. pp. 146. [En línea]. Disponible en: <http://www.sociedadcolombianadearquitectos.org/site/images/stories/buga/ANEXO9-Plandemovilidad.pdf> Consultado Febrero 05 de 2014.
- [2] D. Jaramillo. (2005). Simulación y control de tráfico vehicular por semaforización. *Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín*. [En línea]. Disponible en: <http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/TesisSIMULACIONTRAFICO.pdf> Consultado Febrero 04 de 2014.
- [3] D. Cuevas. (2006). Verificación de criterios de semaforización desde el punto de vista peatonal. *Universidad de los Andes, Bogotá*. [En línea]. pp. 1-9. Disponible en: [http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/721/MI\\_ICYA\\_2004\\_038.pdf?sequence=1](http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/721/MI_ICYA_2004_038.pdf?sequence=1) Consultado Febrero 01 de 2014.
- [4] R. Romero. (2010, Agosto). La regulación de los semáforos peatonales en España: ¿Tienen las personas mayores tiempo suficiente para cruzar? *Revista de Geriatría y Gerontología*. Vol. 45. Issue. 2. [En línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/consultaremota.upb.edu.co/science/article/pii/S0211139X10000880> Consultado Febrero 04 de 2014.
- [5] Grupo Fundosa. (2008). Plan especial de mejora de cruces, vados y semaforización. [En línea]. pp. 5-15. Disponible en: [http://www.donostia.org/info/bienestarsocial/masinfo.nsf/vowebContenidosId/4395F702917BA39CC1257279003C8C87/\\$File/5vados.pdf](http://www.donostia.org/info/bienestarsocial/masinfo.nsf/vowebContenidosId/4395F702917BA39CC1257279003C8C87/$File/5vados.pdf) Consultado Febrero 5 de 2014.
- [6] E. Lugo. A. Martínez. (2011). Prototipo de semaforización para las intersecciones en vías rápidas. *Fundación universitario Minuto de Dios. Girardot*. [En línea]. Disponible en: [http://repository.uniminuto.edu:8080/jspui/bitstream/10656/1299/1/TE\\_LugoMendozaEduin\\_2011.pdf](http://repository.uniminuto.edu:8080/jspui/bitstream/10656/1299/1/TE_LugoMendozaEduin_2011.pdf) Consultado Febrero 05 de 2014.

- [7] E. Correa. S. Valencia. (2005). Planteamiento de soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo comprendido en la carrera 7 entre calles 39 y 45. *Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá*. [En línea]. pp. 23-24. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis110.pdf> Consultado Febrero 5 de 2014.
- [8] Albis. (2010). Hay que reponer el 63% de los semáforos de la ciudad. *Vanguardia.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/152984-hay-que-reponer-el-63-de-los-semaforos-de-la-ciudad>. Consultado Febrero 5 de 2014.
- [9] O. Rey. (2014). Dirección de Tránsito de Bucaramanga se moderniza para mejorar la movilidad. *Elfrente.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.elfrente.com.co/direccion-de-transito-de-bucaramanga-se-moderniza-para-mejorar-la-movilidad/> Consultado Febrero 6 de 2014.
- [10] Albis. (2013, Noviembre 17). Comenzó la semaforización para tres sectores en Girón. *Vanguardia.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/santander/area-metropolitana/234209-comenzo-la-semaforizacion-para-tres-sectores-en-giron> Consultado Febrero 6 de 2014.
- [11] Dirección de tránsito de Medellín. (2012, Agosto). Manual de señalización. *Semáforos*. [En línea]. Capítulo 7, pp. 243-321. Disponible en: [http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/tecnica/senalizacion/manual\\_senalizacion/cap7\\_semaforos.pdf](http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/tecnica/senalizacion/manual_senalizacion/cap7_semaforos.pdf). Consultado Enero 29 de 2014.
- [12] S. Bejarano. (2010, Junio). Tiempos de enfoque. *Los semáforos y su historia*. [En línea]. Disponible en: <http://tiemposdeenfoque.wordpress.com/2010/06/21/los-semaforos-y-su-historia/> Consultado Enero 29 de 2014.
- [13] Código de tránsito de Colombia. (2010). *Colombia.com*. [En línea]. Disponible en: <http://www.colombia.com/noticias/codigotransito/t3c13.asp> Consultado Febrero 12 de 2014.
- [14] A. Gómez. (2005, Diciembre). Estado del arte en la modelación de problemas de tránsito. *Monografía Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales*. [En línea]. pp. 12-87. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1973/1/alejandrogomezrestrepo.2005.pdf> Consultado Enero 31 de 2014.
- [15] Los semáforos, un poco de historia y funcionamiento. (2011, Noviembre 7). *Tecnocarreteras*. [En línea]. Disponible en: <http://www.tecnocarreteras.es/web/items/1/231/los-semaforos-un-poco-de-historia-y-funcionamiento-1-3> Consultado Febrero 12 de 2014.
- [16] M. Martínez. (2013). Proyecto de investigación en semáforos inteligentes. *Universidad Católica Nuestra Señora de Asunción. Paraguay*. [En línea]. Disponible en: [http://www.jeuazarru.com/docs/semaforos\\_inteligentes.pdf](http://www.jeuazarru.com/docs/semaforos_inteligentes.pdf) Consultado Febrero 12 de 2014.
- [17] F. Rogelez. (2013). Sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Bogotá para mejorar los tiempos de recorrido del sistema Transmilenio. *Traza*, 4 (7), pp. 10-29. [En línea]. pp. 23-24. Disponible en: [http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CDOQFjAE&url=http%3A%2F%2Frevistas.lasalle.edu.co%2Findex.php%2Ftr%2Farticle%2Fdownload%2F2556%2F2202&ei=G4nzUofcMlamygG5iIH0Cw&usg=AFQjCNFktVPvkJUnLXL2mWp\\_sR32Y0dw&bvm=bv.60799247,d.eW0](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CDOQFjAE&url=http%3A%2F%2Frevistas.lasalle.edu.co%2Findex.php%2Ftr%2Farticle%2Fdownload%2F2556%2F2202&ei=G4nzUofcMlamygG5iIH0Cw&usg=AFQjCNFktVPvkJUnLXL2mWp_sR32Y0dw&bvm=bv.60799247,d.eW0) Consultado Febrero 6 de 2014.

- [18] Y. Martínez. (2008, Febrero 15). Semáforos inteligentes reducen la contaminación y agilizan el tráfico. *Tendencias 21*. [En línea]. Disponible en: [http://www.tendencias21.net/Semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico\\_a2074.html](http://www.tendencias21.net/Semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico_a2074.html) Consultado Febrero 12 de 2014.

## 10. Biografía



Claudia Juliana Lucena Lizarazo. Candidata a Especialista en Vías Terrestres de la Universidad Pontificia Bolivariana (2014). M. Sc. en Informática (2006); Especialista en Sistemas de Información (2004); e Ingeniera Civil (1999) de la Universidad Industrial de Santander. Se ha desempeñado como investigadora asociada en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander; consultora, contratista e interventora de obras civiles en diferentes departamentos y municipios de Colombia. Actualmente se desempeña como Supervisora de Interventoría de

Obra para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de la malla vial urbana del Municipio de Bucaramanga.