

# **NUEVAS FORMAS DE SEMAFORIZACIÓN EN LAS CIUDADES**

**Beatriz Martín Rollón**

Universidad Politécnica de Valencia, España

**Tomás Ruiz Sánchez**

Profesor, Universidad Politécnica de Valencia, España

**Rosa Arroyo López**

Profesor, Universidad Politécnica de Valencia, España

## **RESUMEN**

Las ciudades aumentan, las formas de vida están cambiando y la población está en constante movimiento. Todo ello hace que para que una localidad desarrolle una mejora completa de su movilidad, se debe aplicar la Inter movilidad considerando todos los factores posibles como son las bicicletas, patinetes, car sharing, coches eléctricos, obras civiles, semáforos inteligentes, etc. que vayan a favorecer la movilidad en su conjunto.

Sin embargo, parece que, a día de hoy el cuello de botella parte del problema de los atascos que se producen en el centro de las grandes ciudades por los vehículos a motor, cuya cantidad diaria no sólo es difícil de disminuir, sino que sigue aumentando. Aun incluso cuando otros sistemas que se implanten logren reducir el número de vehículos en las calles de las ciudades, especialmente de las grandes, como por ejemplo la peatonalización o restricciones a los vehículos en las zonas más céntricas de las mismas, también seguirá siendo necesario minimizar los tiempos “improductivos” de los transportes que seguirán ocasionando acumulación no útil de los mismos en las calles.

Una forma de desbloqueo de los atascos, pasa por los sistemas de control de tráfico urbano (UTC) que permitirán el paso seguro y eficiente de los flujos de tráfico en intersecciones. Es decir, se trata de una comunicación en tiempo real entre el vehículo y la infraestructura bajo tres puntos de vigilancia: la densidad de tráfico, los espacios de aparcamientos y los llamados aparcamientos disuasorios, y el control de semáforos. Precisamente en este último punto, el control de semáforos, es en el que se pone el foco en esta ponencia. Se plantea y estudia en la misma un funcionamiento de semáforos, o bien sin semáforos físicos, o bien con semáforos inteligentes.

## **1. ANTECEDENTES Y DATOS ACTUALES DE LOS SEMÁFOROS**

Se tienen los primeros registros del primer semáforo, el que fue instalado en la ciudad de Londres en 1868 utilizando un sistema de ruidos-alarma, parecido a lo que hoy en día serían los sistemas de comunicación de los barcos. Sin embargo, fue hacia 1920 cuando se

instalaron en EEUU los primeros semáforos parecidos a los que hoy tenemos en las ciudades, utilizando el método de los tres colores (verdes, rojo y ámbar). Éstos aparecieron con la llegada de los vehículos motorizados pues hasta entonces ni las bicicletas, ni los carros tirados por caballos, ni los peatones necesitaban la señalización con semáforos para regular su paso en los cruces (SICE, 2019).

Por tanto, en la mayoría de los países desarrollados, la instalación del primer semáforo o ya ha cumplido o está a punto de cumplir el primer siglo de vida, y llevamos por tanto alrededor de cien años incrementando el número de semáforos en las ciudades proporcionalmente al mayor número de vehículos que hay cada día ocupando las calles.

Es el momento de empezar a disminuir su número hasta su desaparición y dejar sólo su imagen residual y simbólica, con la vista puesta en volver a disfrutar de ciudades del siglo XXI, pero sin semáforos.

Como ejemplos, se puede citar:

1. En la ciudad de Madrid, existen actualmente unas 130.000 Uds. de semáforos que regulan unas 2.200 intersecciones (Velloso, 2016).
2. Valencia es la ciudad de Europa con más semáforos por unidad de habitantes, con 1 Ud. por cada 750 ciudadanos (Landete, 2016).

## **2. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS SEMÁFOROS**

La instalación de semáforos supone una serie de características estructurales a tener en cuenta. En las ciudades, hoy en día no sobra precisamente espacio libre en las aceras y la visualización para los conductores resulta en muchas ocasiones demasiado densa. Mirando hacia el horizonte de muchas calles alargadas de las grandes ciudades, la vista alcanza en demasiadas ocasiones a una hilera continuada de semáforos.

La estructura de los semáforos debe cumplir la normativa vigente que exige una armadura para las partes luminosas y un soporte de tipo columna o forma de báculo. En general, hay que tener en cuenta que la distancia entre el suelo y la cabeza del semáforo suele ser de 450 cm, mientras que el brazo saliente sobre la vertical puede medir desde 350 a 550 cm dependiendo de la ubicación y del tipo de información que transmita. (software SABRE [Best Center, 2012]. En el Reporte NCHRP 796 (TRB, 2014), pág. 29 del documento)

Es decir, que cada semáforo ocupa un área visual aproximada de unos 16 m<sup>2</sup>. Por tanto, si nos fijamos en una ciudad como Madrid, con más de 2.200 intersecciones reguladas por unos 130.000 semáforos, estaremos ocupando un área visual de 2.080.000 m<sup>2</sup> = 2 km<sup>2</sup>.

Sin la presencia de semáforos, las ciudades quedarían más despejadas, con más espacios libres para peatones y también con una mayor visibilidad para los transportes. Además del ahorro que supondría su fabricación, mantenimiento y sustitución.

### **3. PROPUESTAS DE SUSTITUCIÓN DE LOS SEMÁFOROS**

Dispuestos a eliminar los semáforos de las ciudades, ¿cómo los sustituimos? Aquí entrarían en juego los Sistemas de Control de tránsito Urbano que en cualquier caso deberán asegurar su funcionamiento ante fallos de la red eléctrica, cámaras, detectores-sensores, contadores, sistemas de bluetooth que conecten las vías con los propios vehículos en tiempo real, priorización de los transportes públicos de gran capacidad, y la implantación de leds sobre el asfalto, despejando así las infraestructuras.

El objetivo de las medidas a adoptar deberá consistir en sustituir el funcionamiento de los semáforos actuales consiguiendo los mismos objetivos funcionales de éstos, pero teniendo como finalidad que los flujos de tránsito sean más productivos y favorables.

La parada de los vehículos en las intersecciones incrementa además el gasto de combustible de los mismos al tener que arrancarlo desde parado, y esto produce una contaminación del lugar donde se encuentra, y además puede producir en algunos casos molestia a los vecinos con los ruidos ocasionados por los continuos movimientos de parada y arranque.

En el control de las señales de tránsito en las zonas urbanas, especialmente en las de mayor densidad de población, se debe tener en cuenta a todos los usuarios de la red, incluidos los peatones, los vehículos de motor de dos ruedas, el transporte público, los vehículos privados, bicis, patinetes, etc. Hoy día es cada vez mayor el número de dispositivos de movilidad que forman parte de la red viaria y que son por tanto susceptibles de coincidir en las distintas intersecciones. Es por ello que no sólo se puede configurar el sistema de circulación y de sustitución de los semáforos pensando en los vehículos de motor, sino que es absolutamente necesario contar con todos y cada uno de los usuarios, ya sean peatones o medios de transporte.

#### **3.1 Procedimiento de sustitución**

El procedimiento consiste en:

1. Se recogen los datos de flujos de tránsito en las intersecciones que estén interrelacionadas entre sí y que se quieran direccionar.
2. Se analizan los datos de estos flujos de tránsito por franjas horarias y días de la semana y del año. De modo que se pueda proceder a extrapolar sus datos.

3. Se recopilan los datos direccionales en las intersecciones, es decir, hacia dónde se producen en mayor y menor medida los movimientos de giro, cambios de dirección, etc.
4. Teniendo en cuenta los datos recopilados y analizados, se elaboran los planes de sustitución de semáforos mediante las propuestas que se indican en este documento más adelante.
5. Se elabora un plan de viabilidad medioambiental y también de viabilidad económica.
6. Se elabora también un plan de sensibilización con las propuestas tanto de los conductores como de los peatones, es decir, el grado de necesidad y satisfacción que puede proporcionar a los usuarios de la vía, sea cual sea su condición, en el caso de implantar estos nuevos métodos de gestión de la movilidad urbana.
7. Si los planes anteriormente citados, tanto los medioambientales, como los económicos y de satisfacción de los usuarios, son positivos, se hace uso de los modelos de simulación de los planes de sustitución de semáforos en programas informáticos y en vehículos modelo en tiempo real.
8. Se visualizan y se estudian los impactos y estrategias que hayan surgido de las simulaciones efectuadas.
9. Se corrigen los errores que hayan dado lugar y se vuelve a simular una vez corregidos.
10. Se implementan en la vía algunos de los sistemas propuestos de sustitución de los semáforos.
11. Pasado un tiempo de su instalación, se evalúa de nuevo su efectividad, el grado de satisfacción de los usuarios, y la forma en la que se han adaptado los usuarios al nuevo sistema implantado.

### **3.2 Instalación de semáforos en los vehículos.**

En cuanto a los sistemas de sustitución de semáforos, por un lado, se propone que los vehículos lleven incorporados en sus sistemas de control de velocidad o también llamados velocímetros, un propio semáforo en sí, el cual, indique al conductor, que, en función de la dirección que lleven o hacia la que se vayan a dirigir, controlada por sistemas de GPS que ya se utilizan en la actualidad, les vaya informando previamente si su velocidad es la adecuada para que cuando lleguen al cruce en cuestión, éste lo puedan pasar en verde o por el contrario, que su velocímetro marque un color rojo si la velocidad que llevan no es la adecuada para llegar a la intersección con posibilidad de paso en verde.

De este modo se evita que los vehículos tengan que quedarse parados en una intersección, y, por el contrario, se proporciona la regularización de la velocidad en los metros previos a alcanzar dicho semáforo. Así, existirá una circulación en movimiento continuo sin paradas de vehículos proporcionando una mayor inter movilidad y flujo de tráfico.

Aquí hay que tener claro que, en la mayoría de los casos, el tiempo que los automóviles ganan circulando a alta velocidad, lo pierden cuando se detienen en los semáforos. Llegarían por tanto antes a su destino circulando de forma continua a una menor velocidad, no necesariamente siempre baja, sino la adecuada, y utilizando la comunicación que les transmitan los sistemas incorporados en su vehículo y en la red de calles y carreteras.

¿Cuántas veces se ve un semáforo verde y/o amarillo a lo lejos y se pisa el acelerador para evitar llegar a la altura del semáforo en rojo y de esta forma se pone en peligro la seguridad del propio conductor y del resto de usuarios? Con este sistema se evitaría precisamente que los vehículos acelerasen en los metros previos al paso por el semáforo y regulasen su velocidad durante todo su trayecto. Si se diera el caso de que no existe la posibilidad de llegar a la intersección con paso en verde, se podría mostrar una cuenta atrás de los segundos restantes para la siguiente fase en verde, de tal modo, que el conductor pueda regular el ritmo de circulación y evitar igualmente tener que detenerse antes del semáforo.

Para ello, es necesario, no solo que todos los vehículos, cualquiera que sea su formato y sus características, incorporen un pack de GPS + cámara de reconocimiento de señales de tráfico, sino que también, todos los semáforos estén conectados y que dispongan cada uno de ellos de un dispositivo sensor que reaccione en función del tráfico real en cada momento. De este modo, la comunicación de los vehículos con los semáforos y viceversa, facilitará el flujo de la movilidad urbana. Que los semáforos de una ciudad dispongan de dichos sensores, podría decirse que es decisión de un solo organismo. Sin embargo, esta propuesta no funcionará si no incorporan el pack todos los vehículos sin excepción y ello requiere de un compromiso y acuerdo de más partes y por tanto más tedioso.

Recordemos, además, que en la mejora de la movilidad y en todos los sistemas que se quieran implantar, no sólo tenemos que tener en cuenta a los automóviles, sino que también hay que contar con el resto de vehículos. ¿Cómo incorporamos este sistema a las bicis, patinetes, etc. que también forman parte de la movilidad urbana y cada vez con mayor intensidad? Este mismo pack de GPS + cámara deberá también ser incorporado a estos otros medios de transporte.

En este aspecto hay que apuntar que dos marcas tan destacadas del automóvil como Audi y Ford ya trabajan en proyectos que eliminarían de las ciudades los semáforos. Audi prueba en la ciudad alemana de Ingolstadt donde tiene su sede, un servicio de información de semáforos con tecnología V2I (vehículo a infraestructura). Los coches que formen parte del ensayo verán en la instrumentación la velocidad a la que deberían circular para llegar al siguiente semáforo estando abierto, lo que favorecerá incorporarse a lo que han llamado ola verde de la ciudad o Time To Green. Por su lado, Ford trabaja en su proyecto llamado Intersection Priority Management (IPM), se ha probado hace unos meses en las calles de Milton Keynes, en Reino Unido. Funciona básicamente así: conociendo la ubicación, dirección de viaje y velocidad de los coches, cada IPM de a bordo identifica un cruce

próximo y la trayectoria de cada vehículo que se acerca a él; a continuación, sugiere la velocidad óptima para cada uno de modo que todos puedan atravesarlo con seguridad (Pedro Urteaga, 2019).

### **3.3 Semáforos sobre el asfalto**

Si una de las propuestas de esta ponencia es precisamente eliminar los semáforos físicos de las vías, es decir, quitar sus estructuras metálicas en favor del espacio y la mayor visibilidad despejada en las ciudades, el sistema propuesto en el punto anterior, el 3.2., quedaría incompleto. Por eso es necesario ampliarlo con la siguiente propuesta.

Ésta consiste en trasladar la estructura del semáforo al asfalto. Se propone que la misma área de visibilidad del alcance de un semáforo actual, se traslade al suelo. De este modo, será el propio asfalto el que se ilumine en los colores que corresponda de verde, rojo y ámbar. El mismo sistema de control de semáforos se lleva al asfalto y se instalan tiras de luminarias led que estén permanentemente encendidas en cada uno de los tres colores con la misma base de funcionamiento actual. El conductor de cualquiera de los medios de transporte, divisará desde bastantes metros de antelación a su intersección, el color en el que está iluminada la vía por la que esté circulando. Por su parte, los peatones, identificarán directamente el color rojo de la vía, como el de permiso de paso para ellos. La alimentación de estas tiras led puede seguir siendo gestionada por las mismas tomas que ya alimentan a los semáforos actuales.

Esta propuesta del punto 3.3. es perfectamente compatible con la propuesta explicada en el punto 3.2. de modo que, con este nuevo formato de semáforos igualmente éstos estén conectados y dispongan cada uno de ellos también de un dispositivo sensor en combinación con los leds, que reaccione en función del tráfico real en cada momento.

## **4. VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LOS NUEVOS FORMATOS DE SEMÁFOROS**

Como se ha venido indicando en los puntos anteriores, la eliminación de los semáforos convencionales actuales y su sustitución por otros formatos, recoge una serie de beneficios que favorecen al conjunto de la movilidad urbana, y por tanto suponen una ventaja para todos los usuarios de las vías.

Se enumeran a continuación las ventajas identificadas:

1. Visibilidad más despejada para conductores y viandantes.
2. Más espacio físico libre en calles y aceras.
3. Ahorro de fabricación de estructura metálicas.
4. Reducción de los tiempos de trayectos.
5. Reducción y/o eliminación de tiempos de espera en las intersecciones.
6. Reducción del número de accidentes en cruces.

7. Mayor dinamismo del flujo de la movilidad.
8. Mayor información sobre velocidad, tiempos, y en definitiva conducción para los usuarios.
9. GPS mapeado para reducir las pérdidas en los trayectos desconocidos.

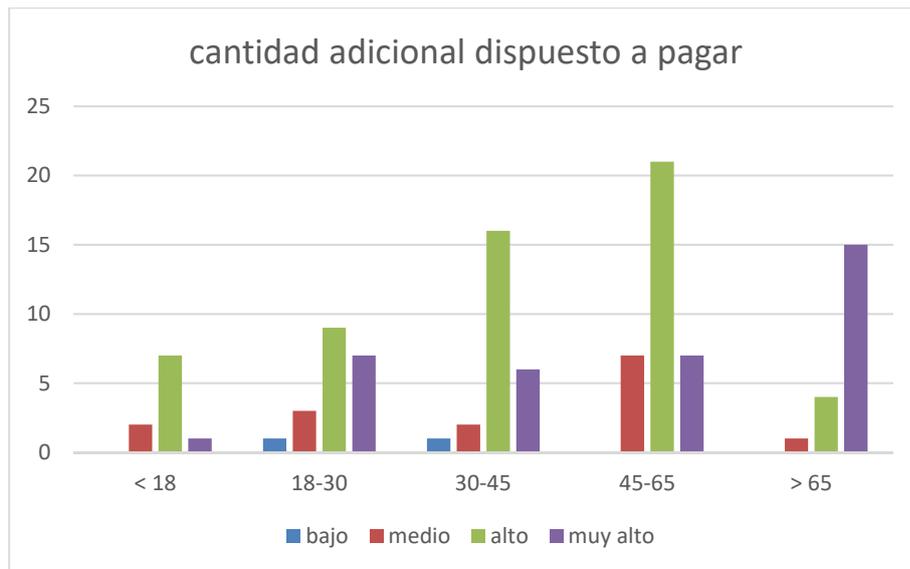
## 5. GRADO DE ACOGIDA DE ESTAS PROPUESTAS POR PARTE DE LOS USUARIOS

Se ha llevado a cabo una encuesta a usuarios de la vía, de cara a proporcionar y estudiar el grado de acogida de estas propuestas por parte de los mismos. La encuesta se ha realizado durante los meses de noviembre y diciembre de 2020, vía online, a través del portal de encuestas <https://www.onlineencuesta.com>, con el enlace <https://www.onlineencuesta.com/s/65bac8c>, el cuál ha sido distribuido a su vez por grupos de difusión y redes sociales de alcance variado con rango de visibilidad y acceso a la misma, no sólo en España sino también en varios puntos de Europa, como Alemania, países Balcánicos, Reino Unido y Sudamérica. El rango de alcance de esta encuesta encuadra diferentes franjas de edad, y, aunque no se puede determinar con claridad el perfil del encuestado, dada su distribución online y por lo tanto de alcance final desconocido, se trataría de personas de al menos clase social media con acceso a internet y sistemas informáticos.

1. ¿cuánta cantidad adicional estarías dispuesto a pagar por que tu vehículo incorporase estos sistemas de control?

nº de encuestados	franja edad	cantidad dispuesto a pagar			
		nada	50 € - 150 €	150 € - 350 €	> 350 €
10 personas	< 18	8	2	0	0
20 personas	18-30	6	13	1	0
25 personas	30-45	5	15	4	1
35 personas	45-65	12	16	5	2
20 personas	> 65	10	7	3	0

**Tabla 1. Rango de edad encuestados y cantidad adicional dispuesto a pagar**



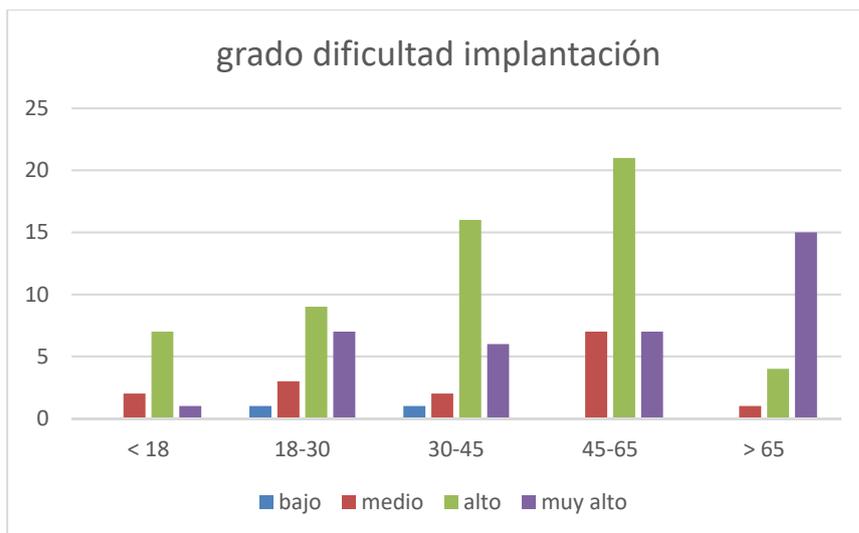
**Figura 1. Cantidad adicional dispuesto a pagar porque su vehículo incluya los sistemas de control propuestos**

La encuesta y/o gráfica refleja que hay un alto porcentaje de usuarios que no estaría dispuesto a pagar ninguna cantidad adicional al valor del vehículo por el hecho de que éste incorporase sistema de semaforización y sistemas de control de tráfico. Aun así, el porcentaje de los que sí estarían dispuestos a pagar hasta una cantidad máxima de 150 € adicionales es el más representativo.

- ¿qué grado de dificultad consideras que tiene implantar estas propuestas a medio plazo?

nº de encuestados	franja edad	grado dificultad implantación			
		bajo	medio	alto	muy alto
10 personas	< 18	0	2	7	1
20 personas	18-30	1	3	9	7
25 personas	30-45	1	2	16	6
35 personas	45-65	0	7	21	7
20 personas	> 65	0	1	4	15

**Tabla 2. Grado de dificultad que se considera para la implantación de las propuestas**



**Figura 2. Grado de dificultad que se considera para la implantación de las propuestas**

Los resultados de la encuesta reflejan que son los grupos de mayor rango de edad los que encuentran mayores dificultades a la hora de implantar estas nuevas propuestas en los vehículos. Siendo los jóvenes los más favorables a visualizar menos problemas en su puesta en marcha. Aun así, el grado de dificultad alto, es el más representativo en general.

## 6. CONCLUSIONES

Si la sociedad, en su globalidad, lleva alrededor de cien años incrementando el número de semáforos en las ciudades, resulta fácil entender que un cambio como el propuesto en esta ponencia, es una tarea tediosa. El grado de aceptación de la sociedad a un cambio, y más de este calibre, no suele ser ni fácil ni cómodo. En cualquier caso, la implantación de estos nuevos sistemas de control de tráfico requerirá de largos periodos de tiempo y tendrán que pasar años hasta que, no sólo se vayan implantando algunos de estos métodos en determinadas ciudades puntuales, sino que también los usuarios de la vía se familiaricen por completo con ello.

Como se ha dicho en un punto anterior de la ponencia, la implantación de estas propuestas, requiere de la implicación de variados organismos, como son los fabricantes de vehículos, de bicis, patines, etc. de organismos institucionales, de gobiernos y de los propios usuarios de las vías. Siendo el grupo de mayor aceptación a llevar a cabo estos cambios, el de las personas más jóvenes de la sociedad, tendrán que pasar décadas para que su implantación se convierta en una normalidad.

Sin embargo, está claro que todo cambio precisa de un inicio, y es ese punto de partida el que se debe poner en marcha cuanto antes, para que la cuenta atrás para su desarrollo e implantación, no se demore más en el tiempo.

---

## REFERENCIAS

- DGT (2013). Gestión técnica del tráfico. Tema 24. Regulación semafórica.
- HAMILTON, B. (2008). Road Safety. The Guardian.
- LANDETE MANCEBO, M. (2016). Historia y curiosidades CV.
- LÓPEZ, N. (2016). Así funcionan los semáforos inteligentes que evitan atascos. Autobild.
- MIT (ON GOING). DriveWave. Senseable City Lab
- NATIONAL GEOGRAPHIC. (2018). Los semáforos inteligentes.
- OSMAN, I. (2002). Eine Stadt ohne Ampel. Hamburger Abendblatt (Aus der Welt)
- PALOMO, A. (2015). Tráfico Urbano. Tráfico y Seguridad Vial.
- PEDRO URTEAGA (2019). Eldiario.es. Sección: Tecnología. ¿Veremos el final de los semáforos (y los atascos) en las ciudades?
- SICE (2019). Sistemas Inteligentes de Tráfico y Túneles, Tráfico Urbano, Medio Ambiente y Eficiencia Energética, Ciudades Inteligentes, Smart Mobility.
- SOFTWARE SABRE [BEST CENTER, 2012]. En el Reporte NCHRP 796 (TRB, 2014), pág. 29 del documento)
- VLASAK, D. (2009). Real Time Traveler Information for the Public. NCHRP Synthesis 20-05/Topic 39-08
- WELTER, M. (2019). Intelligente Ampeln für weniger Schadstoffe in der Stadt. Reset. Digital for good.