

ANEJO I

La congestión en  
los corredores de  
acceso a Valencia

METODOLOGÍA

Abril 2011

**RACC**

## **INDICE**

---

<b>1</b>	<b>DEFINICIÓN DE CONGESTIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>PROCESO METODOLÓGICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CRITERIOS DE ESTABLECIMIENTO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES .....</b>	<b>23</b>

## 1 DEFINICIÓN DE CONGESTIÓN

---

El término congestión, tal como se considera en este trabajo, se define como “la acumulación de pérdidas de tiempo de transporte derivadas de la reducción de velocidad resultado de una demanda de tráfico superior a la capacidad del viario de acceso”.

La condición de “pérdida de tiempo” en relación a dos velocidades determina la relatividad del término. Así, se han establecido dos tipologías de congestión:

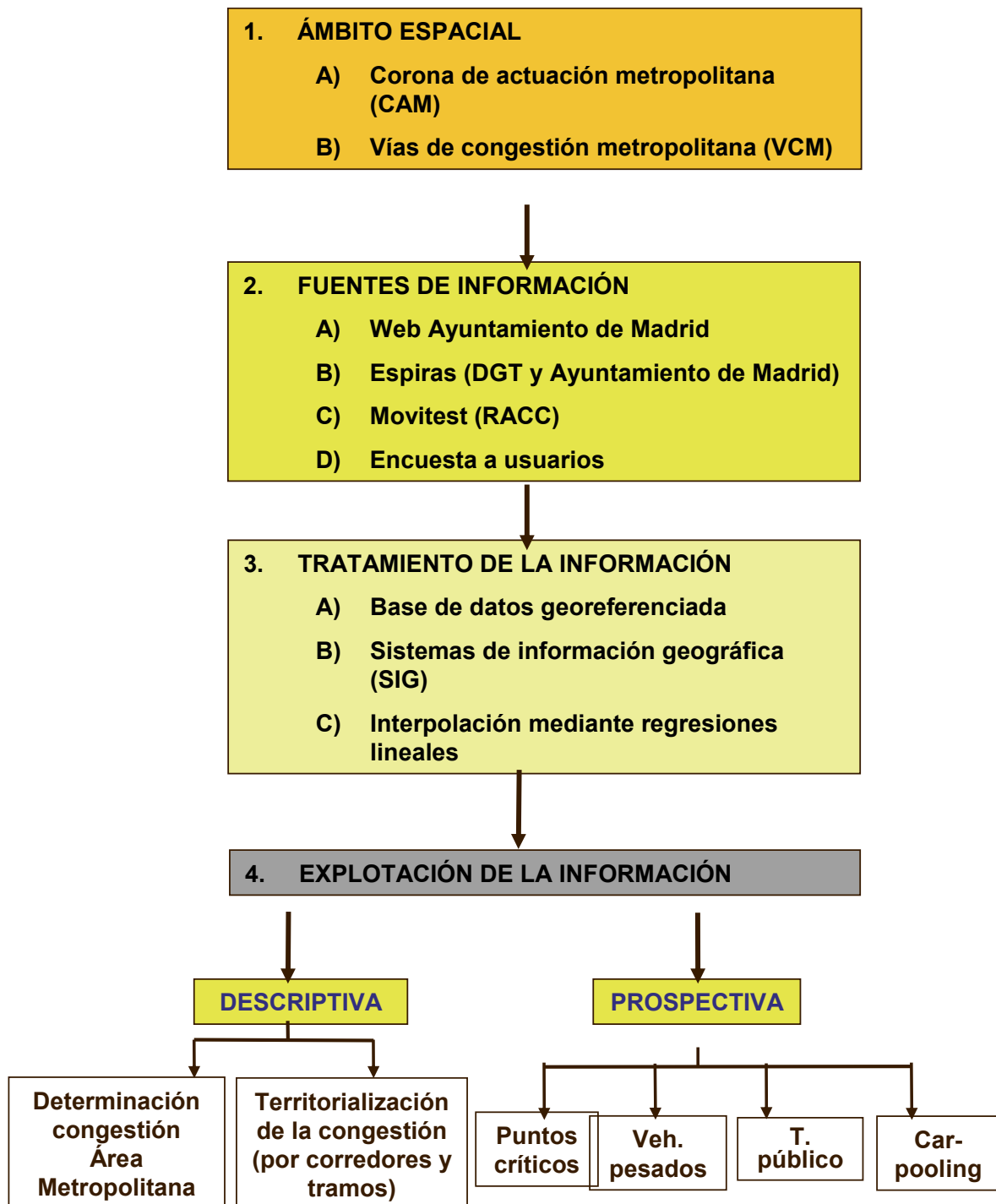
- **Congestión Efectiva:** Es el tiempo de demora resultante de la diferencia entre las duraciones de recorrido reales (en cada periodo del día considerado) y las que se producirían circulando a las seis de la mañana (supuesto de circulación a flujo libre).
- **Congestión Percibida:** Es el tiempo de demora resultante de la diferencia entre las duraciones de recorrido reales y las que el conductor considera como asumibles. Esta percepción del conductor, en términos de velocidad<sup>1</sup>, supone que éste identifica como congestión grave la reducción de velocidad que no supere el 50% de la velocidad de recorrido máxima en la vía correspondiente.

---

<sup>1</sup> En función de los resultados de la encuesta realizada a 1.600 conductores de la Región Metropolitana de Bilbao

## 2 PROCESO METODOLÓGICO

El proceso metodológico a desarrollar para alcanzar los anteriores objetivos, que se describe en los siguientes capítulos, se concreta en el siguiente organigrama:





### 3 CRITERIOS DE ESTABLECIMIENTO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

---

Para establecer el ámbito de análisis se considera la conjunción de dos ámbitos de afectación:

- ✓ El ámbito en que residen o trabajan la gran mayoría de los ciudadanos que se ven afectados recurrentemente por la congestión: **Corona de Afectación Metropolitana (CAM)**.
- ✓ Los tramos de vía donde se presumiblemente se produce congestión de forma reiterada: **Vías Metropolitanas de Congestión (VMC)**. Se trata del ámbito territorial de afectación en que se producen reducciones de la velocidad debidas a la congestión.

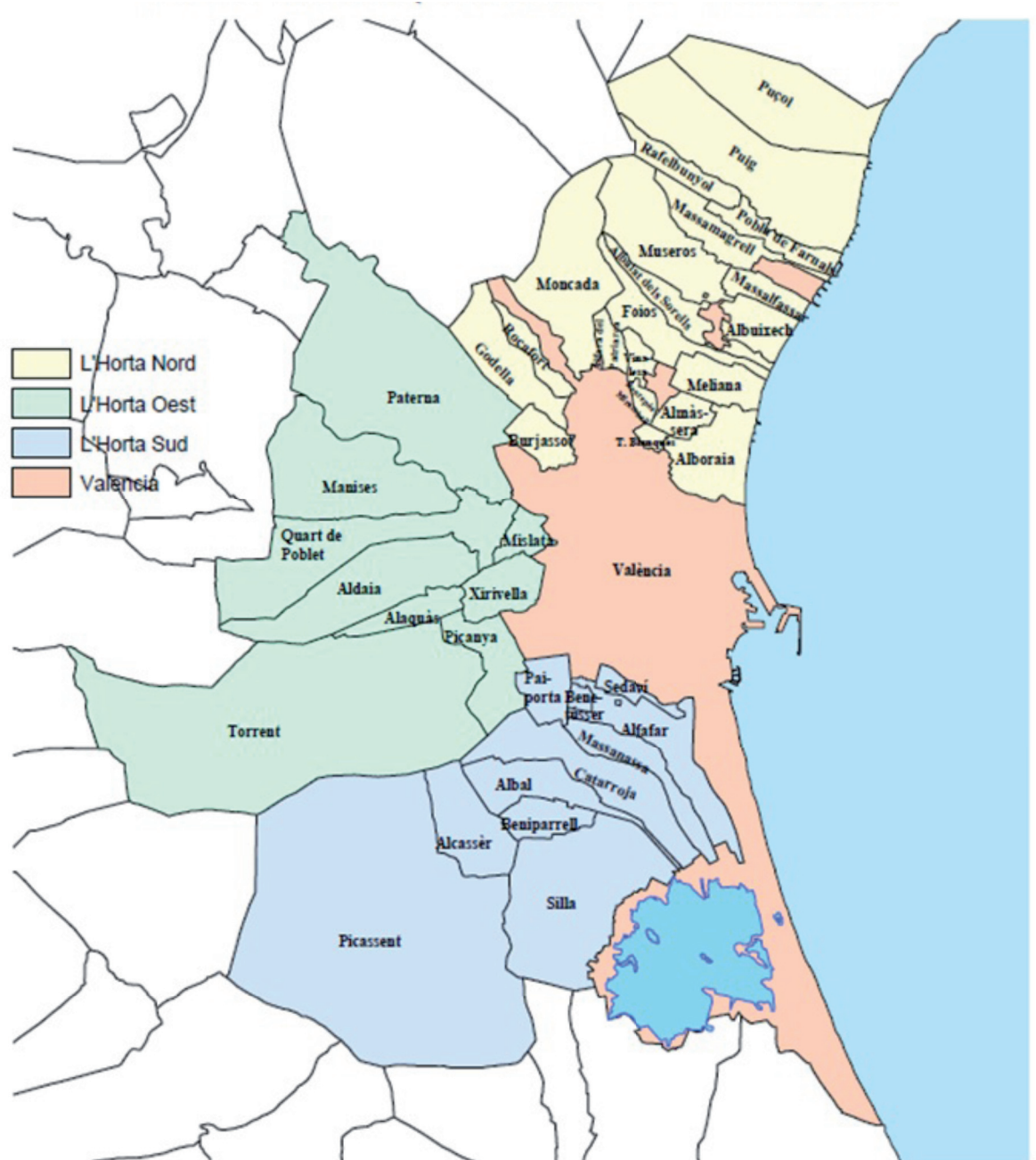
#### a) Corona de Afectación Metropolitana (CAM)

El ámbito definido como CAM incluye el área territorial en la que se insertan **los principales itinerarios del ámbito metropolitano, tanto los radiales** (viajes de acceso al centro metropolitano), **como los transversales/concéntricos y de paso** (de conexión entre las principales ciudades de la periferia). En el caso que nos ocupa se ha considerado como ámbito el delimitado por la A7 y el mar alrededor de la ciudad de Valencia, en el que la mayoría de los desplazamientos que en ella se producen tienen origen y destino en el mismo ámbito.

**Los itinerarios se agrupan en corredores de movilidad**, a los cuales pertenecen aquellos municipios que utilizan los mismos itinerarios radiales. Para determinar los corredores se han

considerado agrupaciones municipales y sus principales vías de comunicación.

**Ilustración 1. Corona de actuación metropolitana (CAM)**



**Ilustración 2. Datos demográficos del ámbito de estudio**

València			L'Horta Sud		
250	València	738.441	007	Albal	12.652
L'Horta Oest			015	Alcàsser	7.557
190	Paterna	46.974	022	Alfafar	18.622
005	Alaquàs	27.733	054	Benetússer	13.425
021	Aldaia	24.800	065	Beniparrell	1.680
159	Manises	25.685	094	Catarroja	20.990
169	Mislata	40.548	152	Lugar Nuevo de la Corona	109
193	Picanya	9.024	165	Massanassa	7.370
102	Quart de Poblet	25.305	186	Païporta	18.860
244	Torrent	65.417	194	Picassent	16.333
110	Xirivella	26.710	223	Sedaví	8.457
			230	Silla	16.208

Font: Cens de Població i Habitatge 2001. INE.

L'Horta Nord			L'Horta Nord (cont.)		
009	Albalat dels Sorells	3.499	166	Meliana	8.988
013	Alboraya	18.201	171	Moncada	18.631
014	Albuixech	3.076	177	Museros	4.167
025	Alfara del Patriarca	2.623	199	Pobla de Farnals (la)	5.287
032	Almàssera	5.931	205	Puçol	14.965
074	Bonrepòs i Mirambell	2.231	204	Puig	7.352
078	Burjassot	35.330	207	Rafelbunol/Rafelbunyol	5.727
117	Emperador	205	216	Rocafort	5.341
126	Foios	5.540	237	Tavernes Blanques	8.653
135	Godella	11.080	260	Vinalesa	2.431
163	Massalfassar	1.412			
164	Massamagrell	13.131			
<b>Total Àrea Metropolitana València</b>					<b>1.356.701</b>

### **b) Vías Metropolitanas de Congestión (VMC)**

Se definen como el conjunto de los tramos de los itinerarios incluidos en la CAM en los cuales de forma recurrente se detecta congestión. Para ello se recoge, durante un período superior a 15 días, la información cualitativa de congestión que la administración proporciona mediante su página web.

El **límite interior** de la CAM se corresponde con el límite urbano semaforizado, donde la velocidad máxima permitida es de **50 Km/h**. Del mismo modo, quedan excluidas deliberadamente del análisis las vías urbanas, es decir, las que tienen velocidades de diseño inferiores a 50 km/h. En el caso de Valencia se ha decidido mantener el tramo norte de la CV-30 el cual aún ser de carácter urbano, forma parte de la red que circunvala el municipio de Valencia.

En cada corredor se identifican aquellos itinerarios que de forma continua **soportan al menos el 80 % de los vehículos por kilómetro** que discurren dentro del corredor, considerando siempre el itinerario completo. La población comprendida dentro de la CAM, se utilizará para referenciar los datos de congestión obtenidos.

Se consideran los itinerarios tanto de acceso al centro metropolitano, como de conexión con el corredor vecino (vías transversales). En este caso, el límite entre uno u otro corredor será el término municipal. Dentro de estos itinerarios transversales, se consideran las vías de circunvalación de la ciudad.

La red resultante de la aplicación de metodología desarrollada se muestra en el plano siguiente.

### ***Ilustración 3. Vías de congestión metropolitana (VMC)***





### **Fuentes de información para obtener la CAM y el VMC**

- **Para la definición de la CAM:**
  - Datos de población por municipio
  
- **Para la definición de los itinerarios:**
  - Intensidades de tráfico de las vías de acceso y de paso (Datos de aforos de diferentes administraciones).
  - Datos de congestión recogidos en la web de la administración correspondiente.

### **Ilustración 3. Vías de alta capacidad incluidas en las VCM**

Corredor	Identificador	Denominación	Titularidad	Velocidad de diseño
Valencia	CV-30	Ronda Norte de Valencia	Generalitat Valenciana / Ayuntamiento de Valencia	100 / 50
	V -30 (km 10 – km 0)	Circunvalación de Valencia	Ministerio de Fomento	100
Horta Norte	V-21		Ministerio de Fomento	100
	CV-35	Autovía del Turia	Generalitat Valenciana	100
	A-7 (pk-479 – pk -498)	Autovía del Mediterráneo	Ministerio de Fomento	120
Horta Oeste	A-7 (pk-498 – pk-515)	Autovía del Mediterráneo	Ministerio de Fomento	120
	A-3	Carretera de Valencia	Ministerio de Fomento	120
	V-30 (km 10 – km 16)	Circunvalación de Valencia	Ministerio de Fomento	100
Horta Sur	A7 (pk 515- pk 529)	Autovía del Mediterráneo	Ministerio de Fomento	120
	V-31	Pista de Silla	Ministerio de Fomento	100

## 4 FUENTES DE INFORMACIÓN

---

### Información de tráfico

En la Comunidad Valenciana, la administración competente que proporciona la información de tráfico es la delegación Autonómica de la DGT. El Gobierno Valenciano también ha ofrecido datos por las vías de su responsabilidad.

La información abierta al público, puntualmente mediante servicios de información (radio, televisión..) pero de forma continua a través de Internet ([www.dgt.es](http://www.dgt.es)) es básicamente de **tipo cualitativo**.

Una base de datos en continua actualización identifica los episodios de congestión en diferentes vías que no se encuentran relacionados con la saturación propia o natural de la vía, es decir, lo que se conoce como **incidencias**, como por ejemplo accidentes, averías o causas meteorológicas. Constituye un procedimiento importante para descartar episodios derivados de la congestión de otros con origen esporádico y así determinar correctamente las VMC.

También se dispone de un Mapa continuo de tráfico donde los colores determinan el nivel de velocidad cualitativo de la vía (fluido, denso, congestión, etc.).



### **Aforos permanentes**

Sin embargo, la información base para el estudio la constituye la proporcionada por las estaciones de aforo permanente, ya que se trata de **información cuantitativa**. Más conocidas como **espiras**, se trata de aparatos conectados a unos filamentos metálicos situados debajo de la calzada que por inducción magnética son capaces de contabilizar el paso de un vehículo, su velocidad e incluso su tamaño. De este modo, a lo largo de las vías, se ubican estas estaciones a distancias más o menos regulares o en puntos estratégicos, situando en cada estación una espira por vía y carril.

La estación puede proporcionar de forma agregada el número de vehículos que pasan (denominada Intensidad Media de vehículos cuando se calcula para determinados períodos de tiempo), su velocidad media o la proporción de vehículos pesados. Esta información puede agregarse para períodos determinados de 15 minutos (utilizado en este estudio) como de hora o de un día completo.

El origen de estas espiras procede de la Dirección General de Tráfico, de la Comunidad Valenciana o obtenidas del Mapa de Tráfico

A continuación se detallan las espiras consideradas

### Ilustración 6. Plano ubicación espiras



Los datos facilitados corresponden a los siguientes periodos:

- Del 1 al 30 de abril de 2010
- Del 3 al 31 de Mayo del 2010

### **Movitest (Información de campo)**

El Movitest es un vehículo-laboratorio especialmente creado por la Fundación RACC para registrar datos de tráfico, medio ambiente y estado del pavimento. Permite recoger con facilidad la información de velocidades por tramo mediante la técnica del vehículo flotante (vehículo que circula dentro de la corriente de tráfico a una velocidad media de circulación). Estas mediciones empíricas se contrastan con los datos extraídos de las espiras sobre el terreno, con el doble objetivo de calibrar esa información y de permitir la interpolación en puntos en donde no existen espiras, o donde, simplemente, por cualquier motivo no funcionan correctamente.

Los itinerarios del *Movitest* se han iniciado con una antelación mínima de tres Km. desde donde se detectan evidencias de congestión (VCM). Se han controlado todas las vías comprendidas del ámbito VCM.

Los itinerarios se han realizado tanto de entrada como de salida, (ida y vuelta) con una duración aproximada de 1h, entre lunes y viernes en periodos de mañana y tarde.

El procedimiento para la toma de datos incluye las siguientes fases:

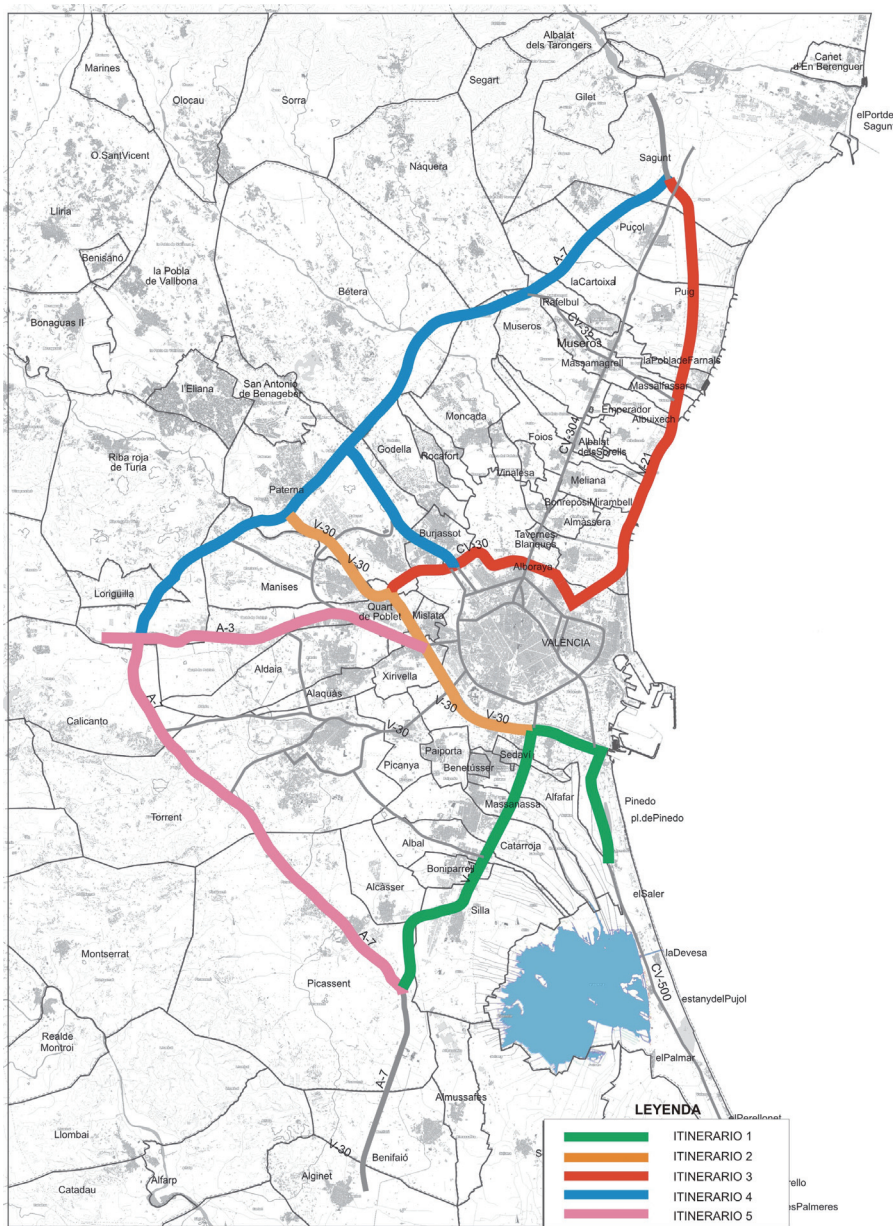
- Inventario vial: En la primera pasada se completa el inventario vial con objeto de determinar las especificaciones de velocidad autorizadas y las características morfológicas (número de carriles, existencia de arcén, etc.).
  
- Inventario de control: Para cada tramo definido se controla el tiempo trayecto (cada 1 km.) así como el número de paradas



mediante un cinemómetro instalado en el vehículo que vía GPS transmitía la información a un ordenador central.

El periodo de recogida de información del *Movitest* se realizó entre las 7h. y las 10h. y entre las 17h. y las 20 h, durante la 1ª quincena de octubre.

### **Ilustración 7. Relación de itinerarios movitest**



### **Encuesta telefónica**

Se realiza una encuesta telefónica a usuarios regulares y cotidianos de la red viaria metropolitana que habitan dentro del ámbito de análisis (CAM) con intención de disponer de un valor aproximado de la congestión percibida por estos así como de su grado de aceptación de determinadas actuaciones o propuestas.

Es por este motivo que, la encuesta se diseñó para captar las opiniones de los conductores sobre determinados aspectos conflictivos del tráfico al que se enfrentan diariamente en los diversos corredores de Bilbao.

Los resultados que contiene este informe se refieren a los cuatro corredores considerados.

Los principales objetivos que cubre la información recogida a partir de las entrevistas telefónicas a conductores habituales del corredor son los siguientes:

- ✓ Principales características socioeconómicas de los conductores
- ✓ Accesos y uso de vías para llegar a Bilbao
- ✓ Determinar a partir de qué momento el usuario percibe que hay congestión
- ✓ Averiguar porque no utiliza el transporte público
- ✓ Recoger las propuestas de nuevas infraestructuras para el corredor

## 5 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

---

### **Creación de un sistema georeferenciado de información: Sistema de Información Geográfica (SIG) de la red viaria a analizar**

La información cuantitativa de tráfico recogida por los Aforos permanentes o **espiras**, o cualquier otro dato geométrico referido a la vía, conforma una *Base de Datos alfanumérica*, cuyos registros deben corresponderse de forma biunívoca con elementos de una *Base de datos gráfica*, es decir, con fragmentos de la representación gráfica referenciada geográficamente de la red viaria.

La asociación de ambas bases constituye lo que se denomina un Sistema de Información Geográfica (SIG). La representación gráfica se obtiene de cartografía ya existente a la cual se le pueden crear o añadir modificaciones pertinentes para ajustar ambas bases de datos. Tanto los registros numéricos como los gráficos deben tener un elemento en común para poder ser correlacionados.

### **La base de datos gráfica**

En general se puede comenzar ya trabajando sobre una base georeferenciada ya existente de la red viaria metropolitana, al cual se le realizan las siguientes modificaciones.

- ✓ Se realiza una segmentación de la red en unidades de análisis correspondiente a **tramos de 1 km**, coincidente cada extremo del tramo con puntos kilométricos oficiales (denominados *PK*). En el caso de que alguna vía tuviera un doble kilometraje como consecuencia de una doble terminología de la vía se considera la que se refleja sobre el terreno. Cada tramo se codifica de forma única con el nombre de la vía y PK según el sentido de circulación.

- ✓ La conexión entre las diferentes vías, especialmente en los enlaces múltiples se simplifica considerando el enlace como un solo tramo.
- ✓ En cada tramo queda desagregado el sentido de circulación de **entrada** o **salida** del corredor hacia la población centro de la corona de actuación metropolitana (CAM). En **las vías transversales** se diferencian en base a los puntos cardinales.

### **Creación de la Base de Datos del SIG**

La base de datos numérica está formada por registros cuyos distintivos identificadores esenciales están formados por un código mixto constituido por la denominación de la vía y los PK de inicio y final según el sentido de circulación, correspondiente a cada tramo de vía de 1km.

El periodo temporal para evaluar la congestión se circunscribe a los días laborables de lunes a viernes<sup>2</sup>, durante el periodo diurno comprendido entre las 6h y 22h, es decir, la congestión evaluada es la correspondiente a un día laborable en periodo lectivo. Por lo que se refiere a las unidades temporales, se establece como unidad de análisis el periodo de 15 minutos.

Como campos adicionales de cada tramo definido aparecen las variables de información de **velocidad (km/h)** y **la intensidad (vehículos por cuarto de hora) para cada cuarto de hora**, lo cual obliga a disponer dos archivos de valores por cuarto de hora durante un total de 18 horas, uno para cada variable de información.

---

<sup>2</sup> En el caso del viernes se considera únicamente el periodo de mañana.

Archivo de intensidades de vehículos por tramo y períodos de 15 minutos. Los campos introducidos son los siguientes:

**Archivo 1** *Intensidad media de tráfico cada 15'*

TRAMOS	H/6:00	H/6:15	H/...	H/22:00
A8-pk <sub>i</sub>	Num. Vehíc(*)			
A8-pk <sub>(i+1)</sub>				
....				
A8-pk <sub>f</sub>				

**Archivo 2** *Velocidad media de circulación*

TRAMOS	H/6:00	H/6:15	H/...	H/22:00
A8-pk <sub>i</sub>	Velocidad media (*)			
A8-pk <sub>(i+1)</sub>				
....				
A8-pk <sub>f</sub>				

(\*) Se registra la media de los días considerados, descartando aquellas incidencias recogidas de la información de tráfico ya que modificarían las medias reales de un día tipo.

*En el proceso de selección de datos se desestiman los errores en la información recogida por las espiras, los datos con valor negativo y los estadísticamente desviados (superiores a la desviación estándar del periodo comprendido).*

**Ilustración 12. Creación codificación de tramos para la vía A-1 (Bilbao)**



### Interpolación de datos

Una de los aspectos fundamentales para viabilizar la cuantificación del fenómeno de congestión es la recopilación estratégica de los datos de velocidad de circulación y la adecuada interpolación en los tramos y franjas temporales en que no se disponen datos de espiras o del información de campo (Movitest).

El proceso de interpolación recomendado es lineal, en base al siguiente protocolo:

- Se consideran las mediciones medias proporcionadas por las *Espiras* en periodos de 15 minutos, por cada tramo kilométrico sobre el que se dispone de información. Ello genera matrices de 65 periodos horarios por día: segmentos de 15 minutos durante 16 horas. (ver anejo VII)
- Se utilizan los datos recogidos por el vehículo *Movitest* como calibrador del sistema, descartando aquellas espiras en que tras una doble medición del *Movitest* se obtienen diferencias acusadas. El valor de referencia será el obtenido por el *Movitest*. Este valor también es el que se considera para los enlaces, al no disponer de información de las espiras.
- En concreto para la interpolación de los datos se utiliza:

$$V_{tn} = V_{Te} \cdot F_m$$

(1)

Donde:

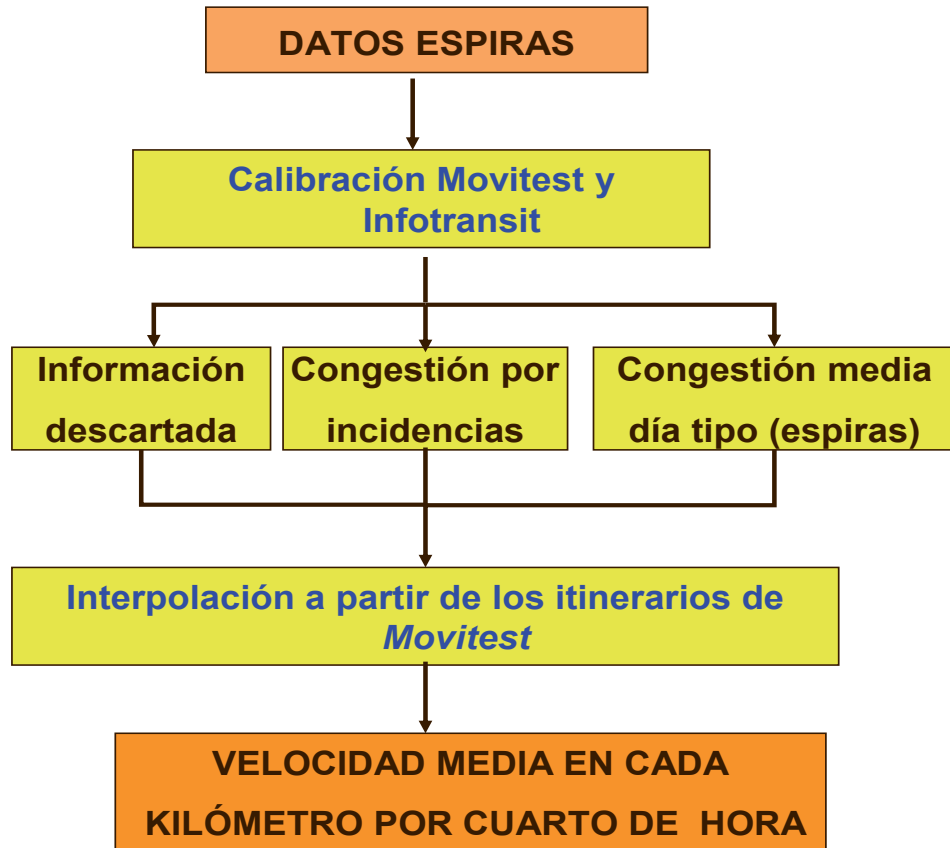
$V_{tn}$ : Velocidad en el tramo en que no se dispone de información de espiras

$V_{Te}$ : Velocidad de la espira más próxima

$F_m$ : Factor Movitest: Porcentaje de variación de la velocidad del Movitest del tramo objeto de estudio ( $V_{Tn}$ ) respecto a la velocidad del Movitest del tramo de que se dispone de información de espiras ( $V_{Te}$ ). Si no se dispone de información del periodo concreto, se aplica el porcentaje de variación del periodo horario más próximo.

- Por lo que se refiere a las interpolaciones de intensidades de tráfico, se aplica la misma **IMD** de la sección más próxima, siempre y cuando no haya salidas o incorporaciones. Si las hubiera, se aplicará la media de los datos de espiras disponibles, anteriores y posteriores.

Una vez calibrados, se construye la base de datos que conforma la parte alfanumérica del sistema de información geográfica (GIS), como se detalla en el esquema siguiente:

**Ilustración 8 Proceso de tratamiento de la información**

## 6 DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES

---

Un objetivo fundamental es la definición de un conjunto de Indicadores capaces de describir de forma sintética el estado de la congestión de una red viaria determinada, en un determinado momento y sus consecuencias sobre los usuarios o sobre el entorno.

Los Indicadores deben constituir valores cuantitativos (con unidades o normalizados como índices) contruidos a partir de las variables de intensidad y velocidad media pero cuya interpretación permite realizar conclusiones cualitativas.

El SIG permite realizar agregaciones geográficas específicas de los indicadores, constituyendo así una herramienta muy eficaz de análisis o evaluación para diferentes escalas. Por ejemplo pueden realizarse valoraciones por tramo de vía, para una vía específica completa, para un conjunto de vías que conforman un corredor, para varios corredores o para el conjunto del ámbito metropolitano.

Así, los indicadores se definen geográficamente utilizando como unidad básica cada tramo de la vía. Su agregación permite Indicadores de mayor alcance territorial. Por otra parte su contenido atiende a los parámetros principales de **Tiempo** perdido y **Coste**, tanto en **términos absolutos geográficos (tramos, vías, corredores...)** para el conjunto de la red, como en términos individuales, es decir, relativos además cada usuario o vehículo que utiliza la red de determinada parte de esta.

### **Definición de variables básicas:**

- ✓ **Intensidad Media de vehículos por 15' (IM15):** Núm. de vehículos que circulan por un tramo determinado de vía de longitud  $l$  durante un período de 15 minutos (15')

- ✓ **Velocidad media por tramo a 15' (vt):** velocidad media detectada por espiras del núm. de vehículos que circulan por un tramo determinado de vía de longitud  $l$  durante un período de 15 minutos (15')
- ✓ **Velocidad de referencia (vm):** velocidad media registrada en una vía determinada a las 6:00 (flujo libre, sin congestión) para el caso de considerar congestión efectiva. El caso de congestión percibida sería la mitad de la anterior.

A partir de las variables básicas y su relación con el territorio (donde) con el tiempo (cuando) y con el usuario que se ve afectado (quien) permite configurar la relación de indicadores que permiten analizar el fenómeno de la congestión en un área determinada.

Parámetros considerados para crear los Indicadores

ÁMBITO (donde)	PERIODO (cuando)	CAMPO (de quien)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red total</li> <li>• Corredor</li> <li>• Vía</li> <li>• Funcional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Franja horaria</li> <li>• Día</li> <li>• Año</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehículos</li> <li>• Usuarios</li> <li>• Habitantes</li> </ul>

#### A) POR TRAMO

(A1)  $T_{pt}$  : **Tiempo medio perdido por franja horaria (por vehículo en un tramo determinado y por periodo (i) de 15' )**

$$T_{pt} = (l/V_{ti} - l/V_{mi}); \equiv V_m > V_t \quad (2)$$

$$T_{pt} = 0; \equiv V_m \geq V_t \quad (3)$$

Donde:

$l$  = Longitud del tramo  $j$

$V_m$  = Velocidad de referencia <sup>3</sup> (km/h)

$V_t$  = Velocidad media de circulación registrada en espiras (km/h)

$i$  = Número de periodos o intervalos de tiempo de 15' ( $i= 1,2,\dots,65$ ),  
correspondiendo  $i=1$  a las 6:00;  $i=65$  a las 22:00

$j$  = Número de tramo de cada vía ( $j= 1, 2,\dots,n$ )

**(A2)  $T_{ptm}$  : Tiempo perdido por franja horaria y tramo (al día)**

$$T_{ptm} = \sum_{i=1}^{65} (T_{pt_i} \cdot V_{h_i}) \quad (4)$$

Donde:

$i$  = Número de periodos o intervalos de tiempo de 15' ( $i= 1,2,\dots,65$ ),  
correspondiendo  $i=1$  a las 6:00;  $i=65$  a las 22:00

$V_h(IM15)$  = Vehículos que circulan por un determinado tramo de vía durante 15'

**(A3)  $T_{ptd}$  : Tiempo total perdido al día, en un determinado tramo.**

$$T_{ptd} = \sum_{i=1}^{65} (T_{pt_i} \cdot V_{h_i}) \cdot Omv \quad (5)$$

Donde:

$i$  = Número de periodos o intervalos de tiempo de 15' ( $i= 1,2,\dots,65$ ),  
correspondiendo  $i=1$  a las 6:00;  $i=65$  a las 22:00

$V_h(IM15)$  = Vehículos que circulan por un determinado tramo de vía durante 15'

$Omv$  = Ocupación media del vehículo

<sup>3</sup> Está dependerá en función de considerar la congestión efectiva (velocidad media registrada en la vía a las 6h.) o la congestión percibida (velocidad media registrada en la vía a las 6h. x 0,5)

**B) POR CORREDOR****(B1)  $H_{pc}$  : Horas perdidas al día por corredor**

$$T_{pt} = \sum_{i=a}^n (T_{pt_a} + T_{pt_b+\dots+n} + T_{pt_n}) \quad (6)$$

Donde:

a,b,...n.= Números de tramos

**(B2)  $V_{ac}$  : Vehículos afectados por la congestión**

$$V_{ac} = V_{h_e} + V_{h_t} \quad (7)$$

Donde:

 $V_h$  = Vehículos que a lo largo del día sufren congestión percibida en un tramo determinado. $e$  = Tramo en que un mayor número de vehículos sufre congestión de cada uno de los itinerarios de entrada a la ciudad $t$  = Tramo en que un mayor número de vehículos sufre congestión en el itinerario transversal de conexión con otros corredores.**(B2)  $V_{acp}$  : Vehículos afectados por la congestión en hora punta**

$$V_{acp} = V_{hp_e} + V_{hp_t} \quad (7)$$

Donde:

 $V_{hp}$  = Vehículos que de 8h. a 9h. circulan por un tramo determinado. $e$  = Tramo en que un mayor número de vehículos sufre congestión de cada uno de los itinerarios de entrada a la ciudad $t$  = Tramo en que un mayor número de vehículos sufre congestión en el itinerario transversal de conexión con otros corredores.**(B3)  $V_{bc}$  : % de coches afectados por la congestión**

$$Vbc = \frac{Vac}{(Ct_e + Ct_t)} \quad (8)$$

Donde:

$Ct$  = Vehículos que circulan entre las 6h. y las 22 h.

**(B4)  $Tpc$  : Tiempo medio perdido por conductor afectado por la congestión**

$$Tpc = \frac{Hpc \cdot f}{Vac} \quad (9)$$

Donde:

$f$  = % de factor de corrección para determinar las horas pérdidas efectivas de los usuarios afectados por la congestión percibida.

**(B5)  $Tpcp$  : Tiempo medio perdido por conductor afectado por la congestión en hora punta**

$$Tpcp = \frac{Hpm + Hpt}{Vacp} \quad (9)$$

Donde:

$Hpm$  = Horas perdidas por la congestión de 8h. a 9h en el sentido de entrada.

$Hpt$  = Horas perdidas por la congestión de 18h. a 19h en el sentido de salida.

**(B6)  $ICV$  : Índice de congestión viaria**

$$ICV = \sum_{i=1}^{65} (T40 / Tt) \quad (9)$$

Donde:



$T40$  = Tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana) en que la velocidad media de circulación es inferior a 40 km/h.

$Tt$  = Total de tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana)

**(B7)  $IES$  : Índice de eficiencia social**

$$IES = \sum_{i=1}^{65} (T40 - 80 / Tt) \quad (9)$$

Donde:

$T40 - 80$  = Tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana) en que se circula entre 40 km/h y 80 km/h

$Tt$  = Total de tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana)

**(B8)  $IES$  : Índice de eficiencia individual**

$$IES = \sum_{i=1}^{65} (T80 / Tt) \quad (9)$$

Donde:

$T80$  = Tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana) en que se circula a más de 80 km/h

$Tt$  = Total de tramos de la VCM (vías de congestión metropolitana)

### C) globales

**(C1)  $Hpg$  : Horas perdidas en el acceso a la ciudad X**

$$Hpg = \sum_{i=1}^n (Hpc_1 + Hpc_{2+\dots} + Hpc_n) \quad (10)$$

Donde:

1,2.....n= Número del corredor

(C2)  $H_{pgh}$  : **Horas perdidas por habitante**

$$H_{pgh} = \frac{H_{pg}}{H_m} \quad (11)$$

Donde:

$H_m$  = Número habitantes de la CAM

(C3)  $V_{agc}$  : **Vehículos totales afectados por la congestión**

$$V_{agc} = \sum_{i=1}^n (V_{ac_1} + V_{ac_2+\dots} + V_{ac_n}) \quad (12)$$

Donde:

1,2.....n= Número del corredor

(C4)  $V_{bgc}$  : **% de Vehículos afectados por la congestión**

$$V_{bgc} = \frac{V_{agc}}{(Ct_1 + Ct_2 + \dots Ct_n)} \quad (13)$$

(C5)  $T_{pg}$  : **Tiempo medio perdido por conductor afectado por la congestión**

$$T_{pg} = \frac{(H_{pg} / O_{mv})}{V_{agc}} \quad (14)$$

Donde:

$O_{mv}$  = Ocupación media del vehículo

#### D) ÍNDICES DE CONGESTIÓN

El **Índice de Congestión Metropolitano (ICM)** es un indicador que permite evaluar el nivel de congestión dentro de la corona de actuación metropolitana (CAM) y que orienta sobre la eficiencia del sistema viario relacionando costes y número de habitantes de la zona en estudio.

**D1 (ICM) Índice de Congestión Metropolitano (€/habitante)**

$$ICM = \frac{Tp_v + Ac + Co^2 + Tpt}{Hm} \quad (15)$$

Donde:

$Tp_v$  : Coste por tiempo perdido en vehículo privado; (€)

$Ac$  : Coste por aumento del consumo de combustible; (€)

$Co^2$  : Coste contaminación por emisiones de CO<sub>2</sub>; (€)

$Tpt$  : Coste por tiempo perdido en transporte público (€)

Para el coste del tiempo perdido, tanto en vehículo privado como en transporte público se ha aplicado un valor de 9,36 €/hora, de acuerdo con los resultados de las encuestas a conductores (2.400) sobre preferencias declaradas (**Opinómetro, Diciembre 2006**) realizada por la Fundación RACC. Este coste hora se ha de multiplicar por el número de ocupantes de cada tipología de vehículo.

**Además del coste de tiempo perdido por la congestión se han considerado:**

- Los costes derivados del incremento en los consumos de carburante,
- La generación de gases de efecto invernadero (mayor emisiones de CO<sub>2</sub>).

Los costes más indirectos producidos por el incremento de ruido, siniestralidad y afectación del paisaje no se han tenido en cuenta.

### **Incremento del consumo de carburante debido a la congestión**

Se utiliza el criterio de cuantificación aprobado por la Autoridad Metropolitana de Transporte (ATM) de Barcelona, desarrollado en el marco de la redacción del Plan Director Metropolitano (PdM) de la Región Metropolitana de Barcelona, con respecto al consumo variable en función de la velocidad y con un valor medio de combustible de 1 euro por litro. (ICAEN). Por lo que se refiere al consumo se ha considerado el siguiente algoritmo:

$$C_c = \left( \frac{8,65 \cdot (0,804 + 12,66/V_c)}{100} \right) * P_c \quad (16)$$

Donde:

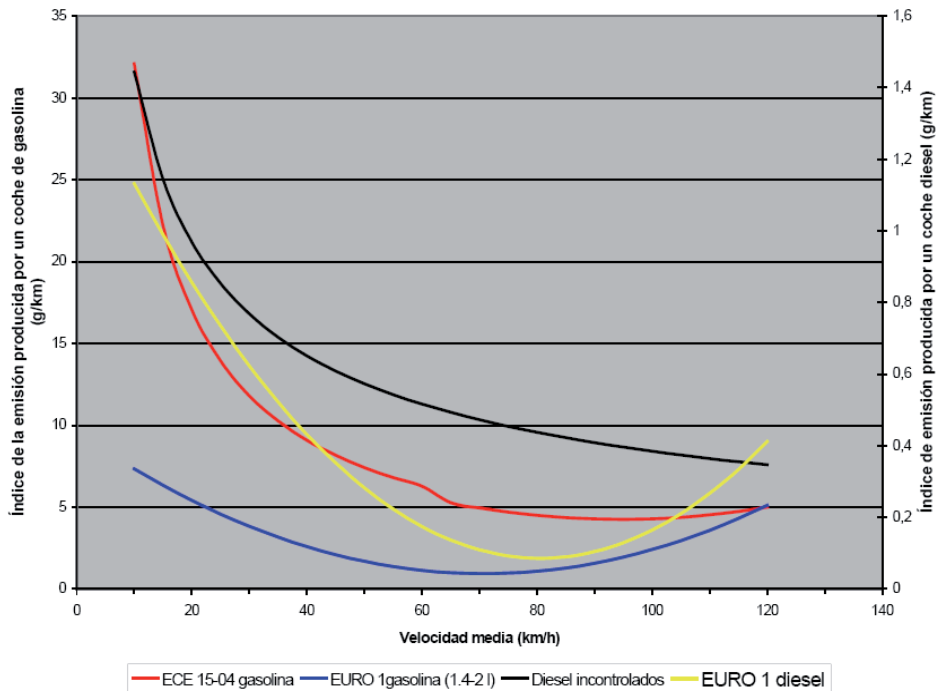
$C_c$ : Coste de carburante (€)

$V_c$ : Velocidad media circulación (Km/h)

$P_c$ : Precio Combustibles (€/litro)

#### **- Gases de efecto invernadero-CO<sub>2</sub>**

Se establece el valor de 140 euros por tonelada por emisiones de CO<sub>2</sub> como efecto en los aumentos en la generación de gases de efecto invernadero. Este valor es obtenido del informe de INFRAS/IWW sobre los costes externos del transporte en la Unión Europea,. Asimismo para establecer la relación entre velocidad y emisiones de CO<sub>2</sub> se ha utilizado como referencia la información del informe de *Research for Sustainable Mobility*, para la UE del año 2003 (vid gráfica), estableciéndose una curva media de los diferentes tipologías de vehículos.

**Ilustración 8. Relación entre velocidad y emisiones de CO2**

**Fuente:** *Research for Sustainable Mobility*, para la UE del año 2003

La fórmula para calcular el **coste de las emisiones de CO2** es la siguiente:

$$Cco^2 = (157,88 \cdot e^{((-0,005 \cdot Vc)/1000)}) \cdot Pt \quad (17)$$

$Cco^2$ : Coste de generación de emisiones de  $CO^2$

$Vc$ : Velocidad media de circulación (Km/h)

$Pt$ : Precio de tonelada de  $CO^2$  (140 € por Ton.)

La relación de coste de congestión con otros parámetros, permite establecer los siguientes indicadores:

- **Índice de Congestión Metropolitano Usuario (ICCMu).** Relaciona el coste de congestión con el número de usuarios afectados por esta.
- **Índice de Coste Congestión Metropolitano territorial (ICCMkm).** Relaciona el coste de congestión con la longitud de la red viaria analizada.

Los indicadores de congestión descritos se han centrado básicamente en la afectación de este fenómeno, en tiempo y dinero, al usuario afectado. Para determinar el grado de congestión de una red se ha considerado otro indicador, **nivel de eficiencia**, que es objeto de un análisis especial en el anejo correspondiente.

Tabla 1. Sintética de denominaciones

<b>POR TRAMO</b>	
<i>Tpt</i>	<b>Tiempo medio perdido por franja horaria</b>
<i>Tptm</i>	<b>Tiempo medio perdido por tramo y franja horaria</b>
<i>Tptd</i>	<b>Tiempo total perdido al día</b>
<b>POR CORREDOR / VIA</b>	
<i>Hpc</i>	<b>Horas perdidas al día</b>
<i>Vac</i>	<b>Número vehículos afectados por la congestión</b>
<i>Vbc</i>	<b>% Número vehículos afectados por la congestión</b>
<i>Tpc</i>	<b>Tiempo medio perdido por conductor afectado por la congestión</b>
<b>GLOBAL-TERRITORIAL</b>	
<i>Hpg</i>	<b>Horas perdidas en el acceso a la ciudad X</b>
<i>Hpgh</i>	<b>Horas perdidas en el acceso a la ciudad por habitante</b>
<i>Vagc</i>	<b>Vehículos totales afectados por la congestión</b>
<i>Vbgc</i>	<b>% Vehículos totales afectados por la congestión</b>
<i>Tpg</i>	<b>Tiempo medio perdido por conductor afectado por la congestión</b>
<b>CONGESTIÓN</b>	
<i>ICM</i>	<b>Índice de congestión metropolitana (€/año)</b>
<i>ICM<sub>h</sub></i>	<b>Índice de Congestión Metropolitano por habitante (€/año/hab.)</b>
<i>ICM<sub>u</sub></i>	<b>Índice de Congestión Metropolitano por usuario (€/año/usuario afectado por la congestión)</b>
<i>ICM<sub>km</sub></i>	<b>Índice de Congestión Metropolitano Territorial (€/año por km de vía analizada)</b>

