SIMCAT: SISTEMA DE MODELIZACIÓN DE MOVILIDAD Y TRÁFICO EN CATALUNYA. INTEGRACIÓN AL MODELO EVALUAMET

RAQUEL LÓPEZ ACEÑA, RAMON CATALÀ POU Y ANDREU ESQUIUS
RAFAT

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y
Entorno [en línea]. 2012, Año 7, núm. 19 Junio. P. 187-216

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.18866/1886-4805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n19/articles_pdf/ACE_19_SE_25.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/12351>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

ACE 19

Electronic offprint

Separata electrónica

SIMCAT: SYSTEM OF MOBILITY AND TRAFFIC MODELIZATION IN CATALONIA INTEGRATION TO THE EVALUAMET MODEL

Key words: mobility, demand forecast.

Abstract

The purpose of this paper is to present the Information System and Modelization for the Evaluation of Territorial Policies of Catalonia (SIMCAT). SIMCAT includes a model for forecasting demand for mobility and traffic that allows to develop future travel matrices (models of generation, distribution and modal share) and then to obtain traffic on the road network (traffic assignment model), being also in charge of calculating consumption and emissions associated with the use of private cars. Within EVALUAMET system, have been integrated models of trip distribution and traffic assignment SIMCAT, providing traffic information, consumption and emissions needed for the evaluation of environmental impacts caused by the implementation of new road infrastructure and major urban projects. SIMCAT also provides time matrices at rush hours supplying information to the Econógraf-Demógraf sub-model.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

SIMCAT: Sistema de Modelización de movilidad y tráfico en Catalunya. Integración al modelo EVALUAMET

**LÓPEZ ACEÑA, Raquel,
CATALÀ POU, Ramon
ESQUIUS RAFAT, Andreu**

Remisión inicial: 15-3-2012

Remisión definitiva: 10-6-2012

Palabras Clave: movilidad, previsión de demanda

Resumen

El objetivo del presente documento es presentar el Sistema de Información y Modelización para la Evaluación de Políticas Territoriales de Cataluña (SIMCAT¹). SIMCAT incluye un modelo de previsión de demanda de movilidad y de tráfico que permite elaborar matrices de viajes futuras (modelos de generación, distribución y reparto modal) y posteriormente obtener los tráficos en la red viaria (modelo de asignación de tráfico) y se encarga también del cálculo de consumo y emisiones asociados a la movilidad en vehículo privado. Dentro del sistema EVALUAMET, se han integrado los modelos de distribución de viajes y de asignación de tráfico de SIMCAT, proporcionándole la información de tráfico, consumo y emisiones necesaria para la evaluación de los impactos ambientales producidos por la implementación de nuevas infraestructuras viarias y de grandes proyectos urbanísticos. Asimismo, el SIMCAT proporciona las matrices de tiempo en hora punta que alimenta el sub-modelo Demógraf-Econógraf.

1. El encaje general del modelo

El Sistema de Información y Modelización para la Evaluación de Políticas Territoriales en Cataluña (SIMCAT) incluye un modelo de previsión de demanda de movilidad y de tráfico, que ha sido integrado dentro del sistema global EVALUAMET para el análisis de los impactos ambientales producidos por las infraestructuras viarias de transporte y los grandes proyectos urbanísticos. Concretamente, se han incorporado a Evaluamet los submodelos de distribución y de asignación de viajes, así como el cálculo de consumo y emisiones asociado a la movilidad en vehículo privado.

La primera versión de SIMCAT fue implementada en 2002 sobre tecnología BridgesNIS, desarrollada por MCRIT dentro del 4.º Programa Marco de la Unión Europea, Esquius y López

¹ Propiedad del *Departament de Territori i Sostenibilitat* (TES) de la *Generalitat de Catalunya*. Su desarrollo ha sido dirigido por Santi Ribas Domingo, jefe del servicio de planeamiento de la *Direcció General de Transports i Mobilitat*.

(2002). En 2005 se realizó una actualización, migrando sobre Geomedia (con la extensión Geomedia Transportation versión 5.2) y se ha efectuado recientemente una actualización con datos de 2008, sobre Geomedia versión 6.1. Contiene, además del modelo de previsión de tráfico, utilidades de gestión y análisis de redes de transportes, un gestor de bases de datos, herramientas de análisis estadístico y de mapificación, así como herramientas que posibilitan salidas gráficas.

El objetivo del presente documento es, en primer lugar, realizar un resumen técnico del modelo de previsión de demanda de tráfico del sistema SIMCAT y, finalmente, exponer los resultados que se derivan de su aplicación en un proyecto concreto en el marco del proyecto EVALUAMET.

2. EI SIMCAT

2.1 Modelización de la red viaria y zonificación del modelo

El modelo de previsión de tráfico trabaja sobre un grafo de transportes que incluye todas las infraestructuras viarias y ferroviarias de Cataluña, así como los servicios de transporte colectivo interurbanos, tanto los actuales como los previstos por el Plan de Infraestructuras de Transporte de Cataluña (PITC). El grafo de infraestructura está creado a partir de cartografía 1:50.000 del ICC. La red actual corresponde a 2008, año para el que el modelo de tráfico está calibrado, y el grafo contiene todos los proyectos del Plan de Infraestructuras de Transporte de Cataluña (PITC).

La red viaria consta de 15.569 arcos y 15.805 nodos. Incluye todas las carreteras de Cataluña (red básica, comarcal y local), así como un nivel de red viaria urbana coherente con el nivel de detalle de la zonificación del modelo. La siguiente figura muestra el detalle del grafo viario del SIMCAT. Las carreteras están representadas por su eje, que incluye los dos sentidos de circulación.

Figura 1 Detalle del grafo viario

Fuente: SIMCAT

La red viaria modelada (grafo viario) dispone de información básica sobre las características de las vías (en base al mapa oficial de carreteras de Cataluña, editado por el ICC) y del tráfico que soportan. A continuación se presentan las distintas características de la red:

Clasificación funcional: Red Básica, Red Comarcal y Red Local.

Clasificación tipológica: Autopistas, Vía Preferente de doble calzada, Vía preferente de calzada única, Carreteras de calzada única y Carreteras de doble calzada. Se han definido también travesías urbanas a partir de Planimetría de ICC 1:50.000.

La clasificación funcional y tipológica de la red viaria de 2008 se presenta en la siguiente figura.

Figura 2 Clasificación funcional y tipológica de la red viaria actual (2008)

Fuente: SIMCAT

Velocidades: Se han definido unas velocidades de flujo libre para los vehículos ligeros y pesados a partir de las clasificaciones tipológica y funcional, que se han precisado utilizando un programa que calcula la velocidad de un tramo de carretera a partir de la velocidad de proyecto y de las características del trazado.

Capacidad de las vías: Se ha definido la capacidad de las vías en función de las características físicas de las mismas como número de carriles, anchura de la plataforma, y del tipo del terreno por el que discurren.

Peaje kilométrico: Se ha incorporado el peaje kilométrico para vehículos pesados y ligeros expresado en €/km promedio de cada tramo.

Tráfico real: El grafo dispone de información sobre el tráfico real de las carreteras, tanto para vehículos ligeros como para pesados de 2006 a 2008 para toda Cataluña y 2009-2010 para la Región Metropolitana de Barcelona (RMB). Se presenta el tráfico de 2008 en la siguiente figura.

Figura 3 Mapa de tráfico 2008. Detalle RMB

Fuente: SIMCAT

La zonificación del modelo corresponde a la más detallada en función de la información disponible: zonas EMO. En total, 1.562 zonas interiores en Cataluña representadas por un centroide conectado a la red viaria mediante conectores tal y como se muestra en la siguiente figura. La zonificación exterior en Cataluña está formada por NUTS 3 para las regiones vecinas de España y Francia, comunidades autónomas para el resto de España, y países para el resto de Europa.

Figura 4 Detalle del grafo viario y de la zonificación

Fuente: SIMCAT

2.2 Matrices de viajes

Vehículos ligeros

La matriz de viajes del modelo de previsión SIMCAT corresponde a la hora punta de un día medio laborable. Fue creada inicialmente a partir de la encuesta de movilidad obligada (EMO) de 2001 y de la Encuesta de Mobilitat Quotidiana (EMQ) de 2001, aplicando una serie de factores que se resumen a continuación. Posteriormente se actualizó la matriz para 2008 utilizando el modelo de previsión explicado en el siguiente capítulo.

- **Movilidad por trabajo:** se consideran el 14,5% de los viajes intermunicipales por trabajo del día laborable. Se toma un coeficiente de ocupación de los vehículos privados de 1,14 y un factor de expansión día medio / día laborable de 0,95.
- **Movilidad por estudio:** se considera el 16,1% de los viajes intermunicipales por estudio del día laborable. Se toma un coeficiente de ocupación de los vehículos privados de 2,05 y un factor de expansión día medio / día laborable de 0,95.
- **Movilidad no obligada:** representa el 7,2% de los viajes de la matriz de trabajo en el período punta del día laborable.

De esta matriz base se considera el 100% de los viajes con distancias inferiores a 130 km. y 4/7 partes de las relaciones de largo recorrido (relaciones a más de 130 km).

La EMO también contiene información sobre los viajes de Cataluña hacia España y hacia Europa y por lo tanto permite crear una matriz de viajes interfronteriza que se completa con el fin de ajustar el tráfico en las vías de conexión con España y Europa.

Finalmente, a la matriz de viajes con distancias inferiores a 130 km se añade una matriz específica para el aeropuerto de Barcelona creada a partir del tráfico de pasajeros y otra para la Plataforma Logística del Delta (PLD), creada a partir de encuestas efectuadas a las puertas del puerto del año 2005.

Vehículos pesados

La matriz de vehículos pesados del SIMCAT se ha construido a partir de la "Encuesta permanente del transporte de Mercancías por carretera" del Ministerio de Fomento (2008), que contiene matrices origen/destino de movimiento de mercancías por carretera entre municipios de España y el resto de Europa.

La Encuesta está dirigida a los titulares de vehículos pesados autorizados por la "Dirección General de Ferrocarriles y Transporte por carretera (Ministerio de Fomento)" para realizar

transporte de mercancías por carretera, con una carga útil superior a 3,5 Tn y con un peso máximo autorizado superior a 6 Tn.

Para completar la matriz, se incorpora una matriz de vehículos pesados generados y atraídos por la PLD, correspondiente al año 2005, que se ha actualizado a 2008 a partir de la evolución del tráfico en los accesos al Puerto y al resto de actividades del Delta del Llobregat.

Los movimientos de mercancías por carretera del resto de camiones (camiones extranjeros) se han estimado a partir de los datos complementarios disponibles en el Mapa de tráfico (IMD) que edita el Ministerio de Fomento. En base a las IMD que cruzan la frontera, suponiendo distribuciones de viajes iguales a las que la Encuesta atribuye a los vehículos españoles, y conociendo la relación de vehículos españoles y extranjeros se completa la matriz.

Finalmente, la matriz obtenida se divide en dos:

- Relaciones entre el Maresme y el Puerto de Barcelona: estos vehículos pesados pueden circular por la Ronda Litoral.
- Resto de la matriz que no pueden circular por las rondas de Barcelona.

Matriz total

Las matrices que se asignan a la red viaria corresponden a la hora punta de la mañana de un día medio laborable de 2008, y el peso de cada una en la movilidad total es el siguiente:

Tabla 1 Matriz base de viajes por carretera (2008)

Matriz de viajes	%
Vehículos ligeros corto y medio recorrido	91,4%
Vehículos ligeros de largo recorrido	1,4%
Vehículos ligeros interfronterizos	0,9%
Vehículos pesados	6,3%

Fuente: SIMCAT

2.3 El modelo de previsión de la movilidad cotidiana de pasajeros

El modelo de previsión SIMCAT permite elaborar matrices de viajes futuras a partir de la prognosis de variables socioeconómicas básicas y de la variación en los costes de los diferentes modos de transporte para cada relación OD (modelos de generación, distribución y reparto modal), para posteriormente obtener tráficos en la red viaria (modelo de asignación de tráfico). A continuación se explica de manera genérica el modelo secuencial de 4 etapas incorporado en el SIMCAT (Figura 5) y de manera específica los modelos utilizados en el proyecto EVALUAMET.

Figura 5 Esquema general del modelo de previsión

Fuente: elaboración propia

Modelo de generación/atracción de viajes

En el modelo SIMCAT, los viajes por trabajo generados por el municipio (i) se determinan mediante la Población Ocupada Residente (POR):

$$O_i = POR_i \quad (1)$$

Los viajes por trabajo atraídos por el municipio (j) son los puestos de trabajo:

$$D_j = LTL_j \quad (2)$$

A continuación debe determinarse el % de viajes intermunicipales de cada municipio (%INT) y obtener así los viajes intermunicipales originados por cada municipio:

$$O_{_Intermunicipal_i} = POR_i \cdot \%INT \quad (3)$$

Los viajes intermunicipales atraídos por el municipio serán:

$$D_Intermunicipal_j = D_j - POR_j(1 - \%INT) \quad (4)$$

Para los viajes por estudio se sigue la misma metodología a partir de las variables de la población estudiante y de las plazas de estudio.

Dado que el sub-modelo demográfico y de localización de actividades calcula los factores de crecimiento de origen y destino para cada municipio, el modelo de generación/atracción incorporado en el SIMCAT no ha sido integrado en EVALUAMET.

Modelo de distribución viajes

El modelo de distribución trata de estimar el número de viajes de cada pareja origen/destino de la matriz de viajes. Existen diversos modelos de distribución de viajes, aunque se pueden clasificar en dos grandes grupos: modelos de factor de crecimiento y modelo gravitacional. En este caso se aplica el método del factor de crecimiento promedio doblemente acotado que distribuye los viajes futuros aplicando a la distribución actual la media del crecimiento esperado para el origen y para el destino del viaje, según la siguiente ecuación:

$$T_{ij} = \left(\frac{F_i + F_j}{2} \right) \cdot V_{ij} \quad (5)$$

Donde:

T_{ij} : Total de viajes entre las zonas i, j (flujos futuros)

F_i : Factor de crecimiento del municipio origen

F_j : Factor de crecimiento del municipio destino

V_{ij} : Viajes actuales con origen i y destino j

Los factores de crecimiento tanto para el origen como para el destino, vienen dados por el sub-modelo demográfico y de localización de actividades por lo que se trata de un proceso doblemente acotado y se deben cumplir las siguientes restricciones:

$$\sum_i T_{ij} = O_i \quad \text{y/o} \quad \sum_j T_{ij} = D_j \quad (6)$$

Donde:

O_i : Orígenes

D_j : Destinos

Modelo de reparto modal de viajes

El sistema SIMCAT dispone de un modelo de reparto modal LOGIT jerárquico calibrado en los corredores de acceso a Barcelona que disponen de ferrocarril. El modelo determina, a partir de variaciones en los costes generalizados de los diferentes modos de transporte, las nuevas cuotas de reparto modal.

La formulación adoptada para determinar el reparto modal entra cada pareja de modos de transporte es el siguiente:

$$P_1 = \frac{\exp(-\lambda \cdot CG_1)}{\exp(-\lambda \cdot CG_1) + \exp(-\lambda \cdot (CG_2 + \delta))} \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{\exp(-\lambda \cdot (CG_2 + \delta))}{\exp(-\lambda \cdot CG_1) + \exp(-\lambda \cdot (CG_2 + \delta))} \quad (8)$$

Operando:

$$\ln\left(\frac{P_1}{1 - P_1}\right) = \lambda \cdot (CG_2 - CG_1) + \lambda \cdot \delta \quad (9)$$

Donde:

CG_i : es la función de coste generalizado para el modo de transporte i

λ y δ son los parámetros calibrados mediante una regresión lineal del modelo de reparto modal.

La función de coste generalizado adoptada por cada uno de los modos de transporte es la siguiente:

Carretera

$$CG = (T_v \cdot VT \cdot F_v) + (C_g \cdot F_g + C_r \cdot F_r) + C_a \cdot F_a + P \cdot F_p \quad (10)$$

Donde:

T_v : Tiempo de viaje por carretera en hora punta mañana (considera pues, las velocidades en este periodo, inferiores a las de flujo libre). Se calcula utilizando el grafo viario.

VT : Valor del tiempo.

C_g : Coste del carburante.

C_r : Resto de costes operativos.

C_a : Coste de aparcamiento. Se adoptan valores proporcionales al peso demográfico de los municipios.

P : peaje. Se calcula el peaje de cada relación.

F_i : Factores que toman valores de 0 a 1 y que consideran la percepción del usuario para cada uno de los parámetros calculados.

Ferrocarril

$$CG = (T_o \cdot F_o + T_d \cdot F_d + T_e \cdot F_e + T_v \cdot F_v) \cdot VT + K \cdot F_k \quad (11)$$

Donde:

T_o : Tiempo de acceso a la estación de origen: en Barcelona se adopta un tiempo medio de acceso a la terminal céntrica de cada operador. En el resto de municipios se calcula el tiempo medio de acceso a la estación, ponderado por la población de cada sección censal.

T_d : Tiempo de acceso desde la estación final hasta el destino (calculado como T_o).

T_e : Tiempo de espera. Se calcula en función del intervalo de paso en hora punta. Es la mitad del intervalo de paso y se adopta un valor máximo, que suele ser de 10 minutos.

T_v : Tiempo de viaje según los horarios publicados por los operadores.

VT : Valor del tiempo.

K : Tarifa.

F_i : Factores que adoptan valores entre 0 y 1 y que consideran la percepción del usuario para cada uno de los parámetros calculados.

Figura 6 Modelo de reparto modal

Fuente: SIMCAT

Del resultado del modelo mostrado en la figura anterior se desprenden las siguientes ideas principales:

- El vehículo privado parte con € 6,45 de ventaja de coste percibido respecto al ferrocarril.
- El tiempo de espera del ferrocarril es penalizado por el usuario 3 veces más que el de viaje.
- El peaje percibido es 1,5 veces más caro que su precio real.
- La tarifa no tiene ninguna influencia en la decisión del usuario entre el transporte público y el privado.

El modelo de reparto modal se aplica de forma incremental para absorber los errores de calibración, que globalmente son aceptables pero relación a relación pueden producir distorsiones:

$$\%C_{fr} = \%C_{ar} + \left(\frac{\%C_{fm} - \%C_{am}}{1 - \%C_{am}} \right) \cdot (1 - \%C_{ar}) \quad \text{si } \%C_{fm} - \%C_{am} > 0 \quad (12)$$

$$\%C_{fr} = \%C_{ar} + \left(\frac{\%C_{fm} - \%C_{am}}{\%C_{am}} \right) \cdot \%C_{ar} \quad \text{si } \%C_{fm} - \%C_{am} < 0 \quad (13)$$

Donde:

$\%C_{fr}$: % de coche futuro real

$\%C_{ar}$: % de coche actual real

$\%C_{fm}$: % de coche futuro según modelo

$\%C_{am}$: % de coche actual según modelo

En el proyecto EVALUAMET no se ha utilizado el modelo de reparto modal (se consideran las cuotas modales actuales en todos los escenarios analizados).

2.4 Metodología de previsión para el resto de viajes

Para el resto de componentes de la matriz de viajes se han adoptado crecimientos de factor uniforme:

- Interfronteriza: Se adopta el crecimiento medio obtenido para la matriz de viajes de corto y medio recorrido.
- Aeropuerto y PLD: se considera la caída en el número de pasajeros y en las toneladas que mueve la PLD entre 2008 y 2010 y se considera que empieza la recuperación en el año 2011, aplicando unas tasas de crecimiento del 2% en los primeros años, que se estabilizan hasta el 1,5%.
- Mercancías: Se considera una caída de las mercancías por carretera del 10% entre 2008 y 2010 y se considera que empieza la recuperación en el año 2011, aplicando unas tasas de crecimiento del 2,0% en los primeros años, que se estabilizan hasta el 1,5% en el año 2026 por efecto de un desacoplamiento progresivo.

2.5 Modelo de asignación viaria

El modelo de asignación vial utiliza un algoritmo de equilibrio de usuario (DUE) con el algoritmo convencional de convergencia MSA, método de medias sucesivas, Ortúzar y Willumsen (1996) optimizado por Frank-Wolfe. En la primera iteración del modelo de asignación ($n=1$), entre cada pareja origen-destino se asigna el flujo V_{ij} por el camino de coste mínimo (flujo libre).

Todos los arcos utilizados en este camino mínimo quedan cargados con un flujo V_a^n que se calcula a partir del flujo total F_a :

$$V_a^n = (1 - \Phi) \cdot V_a^{n-1} + \Phi \cdot F_a \quad (14)$$

Es decir, en la primera iteración ($n=1$), $V_a^n = F_a$. Una vez efectuada la primera iteración de la asignación, se recalculan los costes de la red cargada con V_a^n . Con estos nuevos costes se recalcula el camino de coste mínimo, se asigna la matriz de flujos y se repite el proceso hasta que el coste total de todos los arcos de la red de transporte tiende a minimizarse.

La expresión de coste generalizado adoptada es la siguiente:

$$CG = T \cdot VT + CO \cdot L + P \quad (15)$$

Donde,

CG : Coste generalizado del viaje

VT : Valor o coste del tiempo de viaje expresado en Euros/hora (€/hora)

T : Tiempo de viaje (horas)

P : Tarifa kilométrica de peaje (€/km)

CO : Coste de operación por kilómetro recorrido (€/km)

L : Distancia recorrida en el viaje (km)

El efecto de la capacidad en el tiempo de viaje se determina mediante una función que relaciona el tiempo de viaje (t_0) con el volumen de tráfico ($f(x)$):

$$t = t_0 \cdot f(x) \quad (16)$$

La función más utilizada es la función BPR (Bureau of Public Roads) que tiene la siguiente expresión:

$$f(x) = 1 + \beta \cdot x^\alpha \quad (17)$$

Donde,

$$x = \frac{v}{c} \quad (18)$$

v : Volumen de carga del arco

c : Capacidad del arco

α y β : son los parámetros de la función que hay que ajustar.

Aunque las funciones BPR son sencillas y que por cualquier valor de α , $f(1) = 2$, (cuando la intensidad es igual a la capacidad, la velocidad se reduce a la mitad), presenta una serie de inconvenientes sobre todo con valores de α altos que son los siguientes:

- Para valores I/C grandes (por ejemplo durante la primera asignación se pueden dar valores de I/C alrededor de 3), la función $f(x)$ crece mucho. Para una $\alpha = 12$ y $I/C = 3$, el valor del tiempo sería $t = t_0 \cdot (1 + 3^{12})$.
- Cuando la intensidad es inferior a la capacidad, con la función BPR no hay variaciones significativas de la velocidad hasta llegar a valores de I/C superiores a 0,5.

Se utiliza la siguiente función $f(x)$:

$$f(x) = 2 + \sqrt{\alpha^2 \cdot (1-x)^2 + \beta^2} - \alpha \cdot (1-x) - \beta \quad (19)$$

Donde,

$$\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2} \quad (20)$$

$$x = \frac{v}{c} \quad (21)$$

v : Volumen de carga del arco

c : Capacidad del arco

α : es el parámetro de la función que hay que ajustar (12 por autopistas, 10 por vías desdobladas y 4 o 6 por carreteras convencionales)

En el gráfico siguiente, se comparan las funciones BPR y cónica para valores de I/C elevados cuando es 12.

Figura 7 Comparación de las funciones BPR y cónica para valores elevados de I/C

Fuente: elaboración propia

A continuación se comparan las dos funciones cuando la intensidad es inferior a la capacidad

Figura 8 Comparación de las funciones BPR y cónica para I/C < 1

Fuente: elaboración propia

Los parámetros de valor del tiempo y de costes operativos para cada usuario utilizados en la calibración son los siguientes:

Tabla 2 Parámetros de asignación

Matriz de viajes	CO (€/km)	VT (€/km)
Vehículos ligeros corto y medio recorrido	0,09	9,85
Vehículos ligeros de largo recorrido	0,09	17,90
Vehículos pesados	0,27	15,00

Fuente: elaboración propia en base a estudios previos

Los valores adoptados para los vehículos ligeros se basan en las encuestas de preferencias declaradas realizadas en el marco del "Estudio de tráfico de la autopista de la Conrería" de Julio 2008 de TABASA. Para los vehículos pesados se adoptan los valores utilizados en el análisis coste-beneficio del estudio "La autovía orbital B-40: un cuarto cinturón, una variante de la N-II o un eje perimetral?" De junio de 2004 de la Cámara de Comercio de Barcelona, hasta 2008.

2.6 Cálculo de los factores de consumo y emisión

En el marco del proyecto EVALUAMET, se ha incorporado en el sistema SIMCAT el cálculo de consumo y emisiones vinculado al tráfico. El cálculo de los factores de consumo y emisiones se ha realizado a partir de la metodología establecida por la Agencia Europea del Medio Ambiente a través de la publicación EMEP/EEA Corinair. Las expresiones de cada contaminante varían entre tipología de vehículo, cilindrada y tipo de combustible, y dependen de la velocidad a la que se circula. Las curvas de consumo y emisiones que se utilizan (de la Figura 9 a Figura 12) corresponden a medias elaboradas a partir de las curvas CORINAIR de 2009, ponderadas con el parque de vehículos de Cataluña elaboradas por el Institut Cerdà y que han sido utilizadas para el cálculo de las emisiones debidas a la movilidad de la Generalitat de Catalunya y la Autoritat del Transport Metropolità (2010).

Figura 9. Curva de consumo de carburante (g/veh-km)

Fuente: elaboración propia a partir de Generalitat de Catalunya, ATM (2010)

Figura 10. Curva de emisión de CO₂ (g/veh-km)

Fuente: elaboración propia a partir de Generalitat de Catalunya, ATM (2010)

Figura 11. Curva de emisión de NO_x (g/veh-km)

Fuente: elaboración propia a partir de Generalitat de Catalunya, ATM (2010)

Figura 12. Curva de emisión de PM (g/veh·km)

Fuente: elaboración propia a partir de Generalitat de Catalunya, ATM (2010)

3. Calibración del modelo de previsión de tráfico para 2008

En este capítulo se revisa la calibración del modelo para el año 2008, especialmente en la red básica de carreteras. Se asigna la matriz base de 2008 (creada aplicando el modelo de previsión del SIMCAT) sobre la red viaria existente en el mismo año y se compara el tráfico modelado con el tráfico real de los diferentes puntos de aforo. La calibración se ha realizado fundamentalmente en los puntos de aforo permanentes de la red básica de carreteras. A continuación se muestra el resultado de la calibración en diferentes niveles de agregación²:

- Global por red básica y comarcal
- Agrupando por ejes

Resultados globales

Se muestra a continuación el resultado de la calibración en las redes básica y comarcal.

² No se muestra en este documento el resultado de la calibración disponible para todos los puntos de aforo permanentes de la red básica de carreteras

Tabla 3 Resultado de la calibración

Red	Veh-km VT Real	Veh-km VT Model	Error
Red Básica	80.428.972	79.390.888	-1,3%
Red Comarcal	11.655.049	10.692.483	-8,3%
Total	92.084.020	90.072.371	-2,2%

Fuente: SIMCAT

El error global de calibración en estas dos redes es del -2,2% (0,6% en vehículos pesados). En la red básica, el error es de -1,3% (0,8% en vehículos pesados) y la comarcal de -8,3% (-2,7% en vehículos pesados). En la siguiente figura se muestra el resultado de la calibración en el ámbito de Barcelona comparando el tráfico real y el modelado.

Figura 13 Resultado de la calibración. Ámbito de Barcelona

Fuente: SIMCAT

Resultados en la red básica agrupando por ejes

Agrupando por ejes y considerando la red básica se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente figura:

Figura 14. Calibración de la red básica para ejes

Fuente: elaboración propia

El error global de los ejes representados en la figura anterior, que corresponden a 3.591 km de carreteras, es del -2,5%. Las vías de la red básica con volúmenes de tráfico más elevados (superior a 10.000 veh./diarios), presentan globalmente un error del -1,9%.

4. Resultados de la integración del modelo de transporte SIMCAT a EVALUAMET

A continuación se muestran los principales resultados que proporciona el SIMCAT al proyecto EVALUAMET para la evaluación de los impactos ambientales producidos por la implementación de nuevas infraestructuras viarias y de grandes proyectos urbanísticos.

Dado el espacio de este formato de divulgación se presentan de manera sintética las hipótesis consideradas en cada caso (escenarios de transporte, horizontes temporales de análisis,...) y los resultados obtenidos.

4.1 Principales hipótesis de partida

Escenario temporal de prospección

Los escenarios temporales considerados son el 2020 y el 2026 y para cada uno de ellos ha sido necesario definir el escenario de transporte utilizado en cada caso.

Escenarios de transporte: red de infraestructura

Para el año 2020 se adoptan las infraestructuras definidas en la Fase I del PITC y, para el 2026 se considera que el PITC está totalmente implementado. La Figura 15 muestra la propuesta de infraestructuras viarias previstas para 2026.

En la RMB, las principales diferencias entre los dos escenarios temporales son:

- Tramo de la A-7 entre Vilafranca del Penedès y Abrera
- Nueva vía exclusiva para vehículos pesados de acceso al puerto de Barcelona
- Conexión entre el eje del Llobregat y la C-16
- Ronda Este de Sabadell
- Vía preferente del Margen izquierdo del Besos

Figura 15. Propuesta de red viaria del PITC

Fuente: SIMCAT

La evolución de la red de infraestructuras en los tres escenarios temporales analizados se presenta en la siguiente tabla. La red pasa de 14.002³ km a 14.599 km en 2020 (incremento del 4,3% respecto 2008) y a 15.382 km en 2026 (incremento del 5,4% respecto 2020).

Tabla 4 Longitud de la red por tipología funcional

Red	2008	2020	2026
Red Básica	4.035	4.228	4.372
Red Comarcal	3.153	3.218	3.295
Red Local	6.814	7.153	7.715
Total	14.002	14.599	15.382

Fuente: SIMCAT

Es importante el incremento de las vías de alta capacidad de la red básica, pasando de 1.309 km de autopistas, vías preferentes de doble calzada y carreteras desdobladas en 2008 a 2.158 en 2020 (crecimiento del 64,8% respecto 2008) y a 2.597 km en 2026 (crecimiento del 20,3%

³ No se considera la red urbana

respecto 2020). En la siguiente tabla se presenta la distribución de la red básica por tipología de red.

Tabla 5 Longitud de la red básica por clasificación tipológica

Red	2008	2020	2026
Autopista	805	973	979
Vía Preferente de doble calzada	477	1.087	1.409
Carretera desdoblada	27	98	208
Vía Preferente de calzada única	222	229	287
Carretera convencional	2.504	1.841	1.489
Total	4.035	4.228	4.372

Fuente: SIMCAT

Escenarios de transporte: políticas de peaje

Ante la incertidumbre sobre cómo evolucionará la tarificación de la red viaria en Cataluña, se ha optado por mantener, para todas las vías y por todos los escenarios, las tarifas de peaje actuales. No se ha considerado, por tanto, la implantación de la Euroviñeta. Sólo se adopta un nuevo peaje directo para el Túnel viario de La Conrería (0,5 euros, en base a estudios disponibles).

Escenarios de cálculo y movilidad

El proyecto tiene como finalidad la evaluación de los impactos ambientales de las infraestructuras viarias y de proyectos urbanísticos. Se ha escogido como infraestructura viaria a evaluar la B-40 entre Abrera y Granollers y como proyecto urbanístico el 22@.

Se definen los siguientes escenarios de cálculo:

- Escenario BASE: matriz de movilidad base + red base
- Escenario B-40: matriz de movilidad B-40 + red base con B-40
- Escenario 22@: matriz de movilidad considerando el proyecto urbanístico 22@ + red base

El esquema de trabajo (véase Figura 16), es el siguiente:

- El SIMCAT proporciona al modelo Demógraf-Econógraf las matrices de tiempo en flujo libre y en hora punta (con la velocidad en hora punta calculada a partir de la carga de tráfico de los arcos que se obtiene del modelo de asignación)
- El modelo Demógraf-Econógraf calcula los factores de crecimiento de los orígenes y de los destinos para cada municipio

- Se aplica el modelo de distribución del SIMCAT para obtener las matrices de viajes
- Se asignan las matrices sobre la red de infraestructuras correspondiente y se obtiene el tráfico, la velocidad en hora punta y los factores de consumo y emisión en hora punta y en flujo libre.

Figura 16. Esquema de trabajo

Fuente: elaboración propia

4.2 Resultados

En este apartado se muestran los resultados de movilidad y de tráfico para el escenario base en los diferentes horizontes temporales considerados, 2008, 2020 y 2026. Los resultados relativos al impacto de la implementación de la infraestructura viaria y de la actuación urbanística se presentan en el artículo referente a la aplicación del modelo EVALUAMET.

Movilidad

La siguiente figura muestra la evolución de la movilidad interurbana en vehículo privado en el escenario base en los tres horizontes temporales considerados. Entre 2008 y 2020, el crecimiento es del 10,9% (equivale a una tasa de crecimiento anual del 0,43%). Entre 2020 y 2026 el crecimiento es del 6,2% (equivale a una tasa media anual del 1,07%).

Tabla 6 Evolución de la movilidad interurbana en vehículo privado en el escenario base (vehículos por hora punta mañana de un día medio laborable)

Tipo de vehículo	2008	2020	2026
Ligeros de corto y medio recorrido	294.067	308.759	329.332
Ligeros de largo recorrido	4.369	4.403	4.514
Ligeros interfronterizos	2.919	3.141	3.334

Tipo de vehículo	2008	2020	2026
Pesados	20.236	22.444	23.825
Total	321.591	338.747	361.005

Fuente: SIMCAT

Mapas de tráfico

En este apartado se muestran los resultados de tráfico para el escenario base en los diferentes cortes temporales, 2008 (Figura 17), 2020 (Figura 18) y 2026 (Figura 19).

Figura 17. Resultado de la asignación 2008 en el escenario base

Fuente: SIMCAT

Figura 18. Resultado de la asignación 2020 en el escenario base

Fuente: SIMCAT

Figura 19. Resultado de la asignación 2026 en el escenario base

Fuente: SIMCAT

Síntesis de resultados

Las siguientes tablas muestran la variación de los principales resultados obtenidos en el escenario base.

La variación de la movilidad interurbana en vehículo privado en hora punta mañana de un día medio laborable se resume en la Tabla 7. La matriz de viajes que se asigna a la red aumenta un 5,3% entre 2008 y 2020 y un 6,6% entre 2020 y 2026.

Tabla 7 Variación acumulada de la movilidad (matrices de viajes) en el escenario base

	Variación 2008-2020	Variación 2020-2026
Vehículos ligeros ^(*)	5,0%	6,6%
Vehículos pesados ^(**)	10,9%	6,2%
Vehículos totales	5,3%	6,6%

Fuente: elaboración propia a partir de datos de: ^(*) CPSV / ^(**) SIMCAT

La variación acumulada de veh-km entre 2008 y 2020 es del 6,0% y pasa a ser el 4,1% en el periodo 2020-2026(Tabla 9).

Tabla 8 Variación acumulada de veh-km en el escenario base

	Variación 2008-2020	Variación 2020-2026
Veh-km ligeros	6,0%	3,6%
Veh-km pesados	6,3%	8,0%
Veh-km totales	6,0%	4,1%

Fuente: Elaboración propia

Se han considerando los mismos factores de emisión en los tres horizontes temporales. En la siguiente tabla, se presenta la variación del consumo y de las emisiones para los vehículos ligeros en hora punta de la mañana de un día medio laborable. En este caso, el consumo de combustible aumenta un 5,5% entre 2008 y 2020 y un 4,5% entre 2020 y 2026. Las emisiones crecen entre un 5,2% y un 5,7% entre 2008 y 2020 y entre un 4,5% y un 6,5% entre 2020 y 2026.

Tabla 9 Variación acumulada de consumo y emisiones (vehículos ligeros en hora punta)

	Variación 2008-2020	Variación 2020-2026
Consumo de combustible	5,5%	4,5%
Emisión de CO ₂	5,5%	4,5%
Emisión de NO _x	5,7%	6,5%
Emisión de PM	5,2%	5,1%

Fuente: Elaboración propia

Agradecimientos

A Santi Ribas, jefe de servicio de planeamiento de la Direcció General de Transports i Mobilitat del Departament de Territori i Sostenibilitat (Generalitat de Catalunya) por su impulso al desarrollo del modelo SIMCAT.

Bibliografía

Esquiús, A; Font, Meritxell; López, Raquel; Ulied, Andreu (2002) *El model de demanda de transit del sistema SIMCAT*, Barcelona

Generalitat de Catalunya, Autoritat del Transport Metropolità (2010) *Emissions de gasos d'efecte hivernacle i la qualitat de l'aire de la mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona*, Barcelona

Ministerio de Fomento (2008) *Encuesta permanente del transporte de mercancías por carretera*, Madrid.

Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. (1996) *Modelling Transport*. Chichester: Wiley & Sons Ltd. Second Edition