ACE 19

Electronic offprint

Separata electrónica

MODELO EVALÚAIMPACT, SOBRE LA EVALUACIÓN DE PLANES Y PROYECTOS EN LA DIMENSIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL DEL MODELO EVALÚAMET

JORGE CERDA TRONCOSO, YRAIDA ROMANO GRULLÓN, MANUEL RUIZ
LINEROS, CLAUDIA PÉREZ PRIETO Y JOSEP ROCA CLADERA

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y
Entorno [en línea]. 2012, Año 7, núm. 19 Junio. P. 217-254

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_26.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/12352>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

EVALÚAIMPACT MODEL ON THE ASSESSMENT OF PLANS AND PROJECTS IN THE DIMENSION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN THE MAYOR MODEL EVALÚAMET

Key words: Environmental and energetic efficiency, activities and transport project.

Abstract

The paper is the latest in a series of four articles of the different stages of development and application of the Evalúamet model. The sub-models included in the platform Evalúaimpact are described, and the results of its calibration. Also is present the results of the application of the Evalúamet model to the metropolitan region of Barcelona, considering two relevant projects (Orbital B-40, and 22 @).

The calibrated models shown good adjustment, and a clear conceptual consistency with the phenomena that shape.

The first application of Evalúamet model is conditioned by a significant amount of modeling assumptions, in shaping the baseline scenario of evolution of the RMB. Despite the above, the results prove relatively valid, with particular results that are being reviewed.

The evaluation process of the projects shows consistent values, and also singular values, which are now reviewed. However, the evaluation showed flexibility, delivering a systemic dimension of the effects produced by the projects.

Finally, the research group believe that this is the first step to improve the system, which meets all the objectives originally proposed, and which provides the basis to evaluate indirect effects in specific territories in terms of the inefficiencies that occur, and the equitable distribution of this social, energy, and environmental externalities.

MODELO EVALÚAIMPACT, SOBRE LA EVALUACIÓN DE PLANES Y PROYECTOS EN LA DIMENSIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL DEL MODELO EVALÚAMET

CERDA TRONCOSO, Jorge¹
ROMANO GRULLÓN, Yraida
RUIZ LINEROS, Manuel
PÉREZ PRIETO, Claudia
ROCA CLADERA, Josep

Remisión inicial: 15-4-2012

Remisión definitiva: 18-6-2012

Palabras clave: Eficiencia, ambiental, energética, actividades/movilidad.

Resumen

El presente artículo es el último de una secuencia de cuatro artículos que presentan las distintas etapas de desarrollo y aplicación del modelo Evalúamet. Es por esto que se presenta la descripción de los sub-modelos incluidos en la plataforma Evalúaimpact y los resultados de su calibración. Además se presenta los resultados de la aplicación del modelo Evalúamet a la Región Metropolitana de Barcelona, considerando dos proyectos, la orbital B-40 y el 22@.

Los modelos calibrados en el contexto de Evalúaimpact muestran buenos indicadores de ajuste, además de una clara coherencia conceptual con los fenómenos que modelan.

Se reporta la primera aplicación del modelo Evalúamet, la que está condicionada por una cantidad significativa de supuestos de modelación, en la conformación del escenario base de evolución de la Región Metropolitana de Barcelona. A pesar de lo anterior, los resultados resultan ser relativamente válidos, con algunos comportamientos particulares que se encuentran en etapa de revisión.

El proceso de evaluación de los proyectos muestra algunos valores bastante coherentes y también otros que aún requieren una revisión ulterior. La revisión mencionada es posible gracias a la flexibilidad mostrada por el procedimiento, y sobre todo por la dimensión sistémica de los efectos que producen los proyectos. Al manejar distintas dimensiones, se puede seguir la traza del efecto del proyecto y buscar la explicación en cada indicador de estado.

¹ **Jorge Cerda Troncoso:** Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña. Av. Diagonal 649, cuarta planta, 08028 Barcelona España. Email de contacto: jorge.francisco.cerda@upc.edu.

Finalmente, como grupo de investigación creemos que este es el primer avance para perfeccionar el sistema, que cumple con todos los objetivos propuestos inicialmente y que sienta las bases para evaluar efectos indirectos, que potencialmente pueden ser incorporados en las evaluaciones económicas tradicionales vía la disposición a pagar de la sociedad por evitar o compensar a territorios específicos en términos de las ineficiencias que se producen, logrando así una equidad distributiva de las externalidades energéticas y ambientales.

1. La evaluación de la eficiencia energética y ambiental en el modelo Evalúamet

El modelo Evalúamet se desarrolló bajo un enfoque de *sistema territorial/urbano*, en el cual el transporte se entiende como un elemento más del sistema territorial de actividades. Así planteado, el transporte (o interacción) está condicionado e inducido por los otros elementos tales como las actividades no residenciales, las residencias y el comportamiento de las personas. Ahora, cada uno de estos elementos tiene distintas implicancias ambientales, sociales y económicas.

Por lo expuesto, la filosofía del modelo es evaluar la eficiencia ambiental y social de la funcionalidad de áreas metropolitanas, basado en un modelo integrado de transporte y uso del suelo, que permita evaluar explícitamente la eficiencia social y, sobre todo, ambiental del funcionamiento de las ciudades en relación a las actividades instaladas en el territorio y a los flujos que éstas generan.

Una de las utilidades principales del modelo es permitir evaluar los impactos derivados de planes y programas de carácter urbanístico y/o de transporte, de acuerdo con lo estipulado en las correspondientes Directivas Europeas.

Desde la perspectiva teórica, el modelo busca evidenciar y visualizar los *trade offs* que se generan en el consumo energético y el gasto ambiental de la movilidad en relación a las actividades instaladas en el territorio. Conocer con claridad esta relación es fundamental para el diseño de políticas urbanas, en tanto que el transporte y el uso del suelo son en conjunto la mejor estrategia para combatir el cambio climático.

El modelo conceptual surge de la revisión del estado del arte, incorporando conceptos y criterios de lo ya realizado, pero con la premisa de la integración funcional del los procedimientos más que con la exactitud o complejidad de los últimos desarrollos científicos en cada tema.

Cuatro son las áreas temáticas que componen el modelo microterritorial, que son: el modelo de localización de actividades, el modelo de transporte, el modelo de consumo de suelo y el modelo de externalidades ambientales (energía y emisiones). Así, los enfoques de evaluación que plantea el modelo son tres: a) la cuantificación del consumo energético ambiental; b) la cuantificación del consumo del suelo; y c) la evaluación social de la equidad en el acceso al territorio.

Para lo anterior, el primer paso es determinar la localización de actividades (tanto económicas como residenciales). El resultado de este procedimiento es el total de población, viviendas y empleos para cada unidad territorial de análisis, en cada momento de tiempo evaluado.

En el segundo paso es modelar la estructura de interacciones (transporte) inducida por el ordenamiento de las actividades residenciales y económicas.

El tercer paso tiene que ver con la estimación de los consumos generados por el sistema territorial de actividades y sus interacciones. Los consumos que se consideran en este estudio se refieren al consumo de suelo (suelo artificializado) y al consumo energético (específicamente eléctrico) generado por las distintas actividades localizadas. También se consideran los generados por la interacción espacial (transporte).

El cuarto paso se relaciona a la estimación de los consumos energéticos y emisiones ambientales generadas, tanto por las actividades localizadas como por los flujos de interacción.

El quinto y último paso es la evaluación de la eficiencia energética y ambiental del sistema territorial de actividades y sus interacciones, frente a un nuevo plan o proyecto. Para esto, el modelo evalúa la situación ambiental (energética y de emisiones) de un ordenamiento e interacciones de una situación base del territorio, la que contempla la evolución temporal, es decir, la evaluación temporal-espacial de las actividades y el transporte.

El medir la eficiencia de un sistema territorial con un plan, en relación a la situación sin plan, no es un tema simple (Pozueta, 2000; Rueda, 2001). En el presente estudio se ha adoptado la estrategia de evaluación diferencial del efecto de un plan y su efecto en los indicadores de eficiencia social y ambiental. Los indicadores de eficiencia son esencialmente espaciales, por lo que permiten concluir respecto de la eficiencia espacial del sistema, identificando las zonas que se ven favorecidas y perjudicadas por el plan o proyecto a ser evaluado. Así se tiene una visión espacial de la disparidad o de la equidad en la distribución de las externalidades ambientales.

La secuencia de cálculo del modelo Evalúamet se presenta en la Figura 1, en la que se aprecia la secuencia específica de cálculos y de interacción entre distintos sub-modelos matemático/estadísticos.

Figura 1. Modelo operacional de evaluación de la eficiencia energética ambiental

Fuente: Elaboración propia.

En el modelo se genera un proceso iterativo entre el modelo de transporte y el modelo de localización de actividades, que va generando las distintas conformaciones locativas de las actividades, así como de la situación del sistema de transporte para los distintos años de corte analizados. Una vez que este proceso termina, se evalúan para cada año lo que se entiende por externalidad ambiental, que comprende la superficie construida, el consumo de suelo, el consumo energético y las emisiones ambientales.

El modelo EVALÚAMET se ha hecho operativo en un procedimiento que relaciona tres plataformas computacionales. Esto es, a SIMCAT (plataforma ya existente para Cataluña) se ha asociado la plataforma DEMÓGRAF-ECONÓGRAF (que comprende el modelo de proyección demográfica y localización de actividades) y la plataforma EVALÚAIMPACT (que comprende el modelo de externalidades ambientales y sociales).

La evaluación de la eficiencia no es parte de la Figura 1, ya que surge del análisis diferencial antes mencionado sobre los indicadores de estado ambiental y social.

El presente artículo es el último de una secuencia de cuatro artículos que presentan las distintas etapas de desarrollo y aplicación del modelo Evalúamet. Este artículo contiene tres apartados, de los cuales el segundo es la descripción de los sub-modelos incluidos en la plataforma Evalúaimpact. En el tercer apartado se expone los resultados de la aplicación del modelo Evalúamet para dos proyectos específicos en la Región Metropolitana de Barcelona (en adelante, RMB).

2. Metodología específica del modelo Evalúaimpact

El modelo Evalúaimpact comprende los sub-modelos de superficie construida, consumo de suelo, de consumo energético y de emisiones ambientales, además de la construcción de indicadores sintéticos (de estado del sistema), para posteriormente poder evaluar la eficiencia de un plan o proyecto.

A continuación se presentan las metodologías específicas construidas (y calibradas) para cada uno de los procedimientos que componen el sub-modelo Evalúaimpact.

2.1 Sub-modelo de superficie construida por actividad económica

Este proceso intermedio se justifica en el sentido que representa el nexo entre el modelo de localización de actividades y los sub-modelos de externalidades ambientales.

La problemática que enfrenta es transformar los lugares de trabajo localizados (en adelante, LTL) en superficie de suelo construida. La forma de resolver este problema fue a través del cálculo de tasas de suelo construido por trabajador. El enfoque netamente empírico de este proceso no estuvo lejos de complicaciones, dado que fue necesario unir dos fuentes de información de distinto origen y también con finalidades distintas. Así se perseguía determinar a qué tipo de categoría catastral de uso se debe asignar qué tipo de actividad de los LTL.

La metodología utilizada consistió en una primera etapa de revisión exhaustiva de los tipos de clasificaciones existentes de los LTL, que permitían poner en relación la actividad económica y la ocupación de los empleados. Para esto, se revisó la clasificación nacional de actividades económicas CNAE 93 rev.1, los datos de ocupación procedente de la clasificación nacional de la ocupación CNO 93 y los usos del catastro provenientes de la normativa de valoración catastral 1020/93.

Para esto se procedió a realizar un análisis de las principales clasificaciones existentes referidas tanto a las actividades económicas, a la ocupación y a los usos catastrales. Para las dos primeras actividades se utilizó información del Instituto Nacional de Estadística (en adelante, INE). Una vez realizada la evaluación de cada una de las clasificaciones disponibles, de acuerdo con las necesidades del proyecto, se procedió a optar por trabajar por una parte con la CNAE 93, Rev.1, desagregada a 1 dígito para las 17 secciones que la conforman, con lo que se obtuvieron 69 actividades económicas. Por otro lado, para el caso de la ocupación se procedió a utilizar los denominados grupos principales de actividad, los que consideran 19 rúbricas totales de actividad.

Esta información permitió la confección de una matriz (Tabla 1), la cual en su primera etapa permite obtener el cruce de actividad/ocupación más lógico, es decir, permite evaluar las relaciones que se producen entre estos dos grandes grupos (filas y columnas). Para así, en una segunda etapa, asignarle una categoría catastral de actividad (el código que aparece en cada celda) de acuerdo a la clasificación de la norma catastral (la normativa catastral RD1020/93 clasifica los bienes de naturaleza urbana en 10 grandes usos, 31 clases y 70 modalidades de desagregación de actividades).

Para esta etapa de asignación de los usos, se decidió trabajar con los usos catastrales de la forma más desagregada posible, es decir, se trabajó a 3 dígitos con un total de 70 modalidades tipológicas.

Tabla 1. Matriz de asignación de usos catastrales

CNAE (1D) + oficina y comercio 3D (71 categorías)	A	B	C	D	E	F	G
A Agricultura, ganadería, caza y silvicultura							
B Pesca							
P Actividades de los hogares							
C Industrias extractivas	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
D Industria manufacturera	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
E Producción y distribución de energía eléctrica,	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
F Construcción	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
I Transporte, almacenamiento y comunicaciones	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	2.3.2	2.3.2
J Intermediación financiera	3.3	3.3	3.1/3.2	3.3	3.3	3.3	3.3
K 4.1/4.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Activitats immobiliàries per compte propi	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Lloguer de béns immobiliaris per compte propi	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Activitats immobiliàries per compte d'altri	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Lloguer d'automòbils	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Lloguer d'altres mitjans de transport	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Lloguer de maquinària i equips	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Lloguer d'efectes personals i estris domèstics	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Consulta d'equips informàtics	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Consulta d'aplicacions informàtiques i	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Processament de dades	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Activitats relacionades amb bases de dades	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2
K Manteniment i reparació de màquines d'oficina,	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2	3.1/3.2

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se obtienen de la aplicación de esta matriz de asignación generaron una base de datos a escala municipal, con las ratios de construcción de m² de techo por trabajador de cada una de las actividades definidas por el catastro (industria, oficinas, comercio, sanidad, espectáculos, ocio, deportes, etc.). En la Tabla 2 se muestran las ratios medias municipales para la RMB.

Tabla 2. Ratios de superficie construida por actividad

Actividad catastral	Ratio (m ² techo / Itl)	Desviación estándar y CV ²
Industria	135,69	1.905 - 14,0
Oficinas	21,90	22 - 1,0
Comercio	98,55	40 - 0,4
Deportes	668,02	3.183 - 4,8
Espectáculos	157,44	1.122 - 7,1
Ocio y hostelería	32,82	63 - 1,9
Sanidad	35,45	80 - 2,3
Culturales y religiosos	74,29	225 - 3,0
Singulares	16,34	55 - 3,4

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 2, los coeficientes de variación son en general mayores que uno, por lo que los valores municipales presentan una significativa variación. La conformación espacial de estos valores se muestran en la Figura 2, donde sólo se han incorporado los usos: industrial, oficinas, comercio, ocio y hostelería, y sanidad.

² Es el coeficiente de variación, que mide la dispersión relativa al valor medio. CV=Desviación estándar/Ratio

Figura 2. Distribución de las ratios (m²/LTL) por usos en la RMB

Fuente: Elaboración propia.

En este punto es necesario aclarar que el valor de la ratio depende de la superficie y del número de LTL, por lo que altos valores de ratio pueden deberse o a grandes superficies, o a bajo número de LTL. Dicho esto, las áreas consolidadas (altas densidades) tienden a presentar ratios menores, como lo predice la teoría económica urbana.

Al analizar las figuras se observa que la distribución de las superficies destinadas a oficinas en la RMB es bastante homogénea ($CV=1$), no obstante podemos observar una mayor concentración en las principales ciudades.

En la distribución de ratios de superficie destinada a comercio en locales comerciales, galerías y edificios exclusivos, se observa que los municipios con altos valores son los municipios más pequeños dentro de la RMB. Municipios como Barcelona aparecen bajo la media, esto puede ser explicado en parte por la mayor densidad comercial que existe en estos municipios.

Las ratios obtenidas para las actividades de ocio y hostelería muestran que los mayores valores se ubican en los municipios de la costa y en los municipios de la zona central de la RMB, el resto de los municipios presenta una distribución homogénea.

Son estos los valores finalmente utilizados en cuantificar la superficie construida por actividad, en función de las predicciones del modelo de actividad económica.

2.2 Sub-modelo de consumo de suelo

Este sub-modelo se enfrenta a la problemática de modelar el consumo de suelo artificializado o antropizado, en función de las actividades que se localizan en el territorio. A priori se podría pensar que cuantas más actividades se localizan en el territorio, mayor será el suelo artificializado ocupado por estas. Esta aseveración es trivial y poco analítica, en el sentido que no todas las actividades presentan una misma lógica en lo que se refiere a la necesidad de suelo artificializado para su funcionamiento.

Para resolver la problemática antes planteada se adoptaron dos estrategias, las que se reportan a continuación. La primera fue la calibración de un modelo econométrico para predecir el suelo artificializado en función de la superficie de techo por actividades. El segundo método es el cálculo y aplicación de ratios de suelo artificializado por vivienda y empleo, calculados a partir de la información de catastro.

Modelo econométrico de consumo de suelo

Se definieron y construyeron variables tanto de suelo artificializado como de suelo por actividad, para posteriormente calibrar el modelo econométrico. La metodología seguida es la tradicional en todo proceso de construcción y calibración de modelos econométricos, cuyas fases están relativamente consensuadas. Por lo que se presentarán en orden de la secuencia seguida.

A - Construcción de las variables independientes

La variable independiente, es decir, la variable encargada de explicar el suelo artificializado, en este caso es la superficie construida por actividad registrada en el catastro de bienes

inmuebles. A continuación (Tabla 3) se muestran las actividades consideradas para este modelo.

Tabla 3. **Categorías de suelo consideradas en el modelo**

Residencia	Colectiva
	Unifamiliar
	Rural
Industria	Naves y almacenamiento
	Garajes y aparcamientos
	Servicios de transporte
Oficinas	Edificios exclusivos y mixtos
	Banca y seguros
Comercio	Locales, galerías, y edificio exclusivo
	Mercados y supermercados
Deportivo	
Espectáculo	
Ocio y hostelería	
Sanidad	
Cultural y religioso	Cultural con y sin residencia
	Religioso
Singular	Oficial e histórico
	Especiales

Fuente: Elaboración propia.

Para cada una de las categorías mostradas en la Tabla 3 se contó con información de metros cuadrados construidos de techo. La unidad de análisis fue el municipio.

Al realizar un análisis exploratorio de dicha información, se detectó una alta correlación entre las superficies construidas de las distintas actividades. Esta situación genera un incumplimiento de los principios básicos del modelo econométrico, el que se refiere a la multicolinealidad en las variables. Por este motivo se decidió trabajar no con los valores absolutos de la superficie de techo, sino que con las proporciones por actividad. Con el fin de tener variables independientes ortogonales (no correlacionadas), se aplicó el método de análisis factorial a dichas proporciones, identificando cuatro factores principales. A continuación se muestran los reportes de este procedimiento y se presentan e interpretan los factores principales obtenidos.

Tabla 4. Reporte del análisis factorial

Comunalidades		Varianza total explicada									
Proporción	Extracción	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación			
		Componente	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
Viviendas colectivas	,873	1	3,478	31,619	31,619	3,478	31,619	31,619	2,716	24,691	24,691
Viviendas unifamiliares	,891	2	1,926	17,511	49,130	1,926	17,511	49,130	2,627	23,885	48,576
Industrias	,843	3	1,225	11,136	60,266	1,225	11,136	60,266	1,163	10,575	59,151
Oficinas	,683	4	1,022	9,294	69,560	1,022	9,294	69,560	1,145	10,410	69,560
Comercios	,784	5	,983	8,936	78,496						
Deportivo	,601	6	,655	5,950	84,446						
Espectáculo	,449	7	,584	5,305	89,751						
Ocio y hostelería	,604	8	,538	4,895	94,646						
Sanidad	,587	9	,368	3,350	97,995						
Cultural y religioso	,545	10	,221	2,005	100,000						
Singulares	,793	11	-8,378E-17	-7,617E-16	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4, en su extremo izquierdo, muestra las comunalidades que denotan un alto porcentaje de extracción por parte de los componentes, lo que se ratifica en el porcentaje explicado acumulado de la varianza total (69,6%). Las proporciones de las cuales se pierde mayor porcentaje de información son las de actividades de espectáculo y cultural religioso.

La conformación de los cuatro factores y su relación con las proporciones originales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Correlaciones parciales entre las variables originales y los componentes obtenidos

Matriz de componentes rotados				
	Componente			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
P-Comercio	,590	,615	,232	-,062
P-Cultural y religioso	,056	,712	-,185	-,019
P-Deportivos	-,751	,078	-,111	,135
P- Espectaculo	-,017	,050	,634	,210
P-Industrial	,533	-,715	-,179	,129
P-Ocio y hostelería	,046	-,026	,749	-,199
P-Oficinas	,717	,096	-,233	,325
P-Sanidad	,087	,680	,073	,334
P-Singular	,011	,001	,023	,890
P-Vivienda colectiva	,480	,790	,073	-,111
P-Vivienda unifamiliar	-,874	-,355	-,039	-,018

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 5 se puede interpretar cada uno de los componentes. Es así que:

- Factor 1 (24,6% varianza): El valor positivo de este factor se asocia con altas proporciones de oficinas, de comercios, de industrias y de vivienda colectiva. Mientras que un valor negativo se asocia con la alta proporción de vivienda unifamiliar y de usos deportivos. Por lo anterior, se puede clasificar este factor como un polarizador entre la situación de un tejido urbano denso y terciario, en contraposición a extensiones unifamiliares y deportivas.

- Factor 2 (23,9% varianza): El valor positivo de este factor se asocia con altas proporciones de vivienda colectiva, cultural y religioso, comercio y sanidad. Mientras que su valor negativo se asocia fuertemente a una alta proporción de uso industrial. Por lo anterior, se puede clasificar este factor como polarizador entre la situación de un tejido urbano denso y residencial, en contraposición a extensiones industriales.

- Factor 3 (10,6% varianza): El valor positivo de este factor se asocia con altas proporciones de usos de ocio y hostelería y espectáculos. El valor negativo no tiene una clara interpretación.

- Factor 4 (10,4% varianza): El valor positivo de este factor se asocia con una alta proporción de edificaciones singulares, mientras que un valor negativo no tiene una clara interpretación.

Con este procedimiento se crearon variables independientes, no correlacionadas entre sí, que dan cuenta de distintas estructuras de usos, perdiendo la mínima cantidad de información de la base original.

B - Construcción de la variable dependiente

La variable a explicar en este caso es la superficie de suelo artificializada. Esta superficie surge de un análisis y evaluación crítica de las fuentes de información disponible respecto a las coberturas de uso de suelo. Las fuentes analizadas fueron:

- Corine Land Cover (en adelante, CLC): Land Cover (Coordination of Information on the Environment).
- Proyecto EURMET: productos cartográficos.
- El mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (en adelante, CREAM).

Los análisis comparativos realizados concluyeron que la base CREAM es la fuente más adecuada para realizar los análisis de consumo de suelo, ya que los niveles de desagregación y la escala en las que ha sido desarrollada permiten obtener una información más completa y precisa del ámbito de estudio. No obstante, para definir las coberturas del suelo artificializado utilizadas, fue necesario realizar un proceso de homogenización entre las bases de datos de los tres años que comprenden las coberturas del CREAM, debido a que cada una de ellas fueron realizadas con niveles de desagregación diferentes.

El paso siguiente fue diferenciar el suelo artificializado, superponiendo el parcelario de catastro. Así el suelo artificial de la base CREAM se dividió en tres categorías: suelo artificial en parcela catastral, suelo artificial entre parcelas catastrales (asimilado a suelo de calles) y suelo artificial sin asociación a parcela catastral. En la Figura 3 se muestra el resultado de este proceso.

Figura 3. Diferenciación de suelo artificializado CREAM

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resultados agregados para la RMB del suelo artificial total, y por tipo

Suelo artificializado	Año		
	1990	2000	2006
Total RMB (Km2)	537,43	641,06	751,75
% en parcela catastral	68	66	63
% en calle	24	23	23
% no asociado a catastro	8	11	14

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de lo antes expuesto, valores que resultan ser coherentes entre sí, pues tradicionalmente se ha trabajado con aproximadamente un 30% de calles en los proyectos de urbanización, porcentaje que es muy cercano a los resultados para los distintos años.

Con esto se obtuvo la variable a explicar por municipio.

C - Definición de la estructura de modelación

Como ya se planteó en el apartado de la metodología general del estudio, el fenómeno del consumo de suelo natural se puede ver de forma inversa como una producción de suelo artificial. Al ser un modelo de producción, la estructura más general de este tipo de modelo es la que plantea la función de producción de *Cobb-Douglas*, que es quizás la más utilizada en economía, basada su popularidad en el cumplimiento de las propiedades básicas que se consideran deseables (es la función de producción neoclásica por excelencia).

De manera general, la función de producción es un modelo que se utiliza para analizar la relación entre los insumos empleados en un proceso productivo y el producto final, además describe la tasa a la cual los recursos son transformados en un producto. Se supone además, que la función es continua y unívoca, cuya primera y segunda derivadas existen y también son continuas.

La estructura econométrica más tradicional para esta función, considerando un solo factor de producción, está dada por la siguiente ecuación:

$$Y_i = \beta_0 * X^\alpha * e^{\mu_i} \quad (1)$$

Donde

Y : producción

X : los insumos considerados en el proceso de producción

β_0 : es un valor que viene determinado parcialmente por las unidades de medida de las variables consideradas (Y,X), y parcialmente por la eficiencia del proceso de producción. Es el factor de transformación del insumo en producto

α : es el parámetro que representan el cambio porcentual en la producción al variar en uno por ciento la cantidad del insumo considerado

μ_i : error del modelo econométrico

La función de producción de *Cobb-Douglas* es no lineal en los parámetros, por lo que a través de una transformación logarítmica se vuelve lineal y así es posible su calibración con mínimos cuadrados ordinarios.

Al utilizar la función de producción de *Cobb-Douglas* para modelar la producción de suelo artificializado, es necesario previamente conceptualizar todos los componentes propios de la fórmula general para lograr una coherencia con el fenómeno analizado. Esta búsqueda de coherencia temática originó la siguiente estructura de modelación de suelo artificializado:

$$A_i = e^{(\beta_0 + \sum_k \beta_k * F_{ki})} * T_i^\alpha * e^{\mu_i} \quad (2)$$

Donde

A_i : suelo artificializado "producido" en el municipio i

T_i : suelo de techo total (todas las actividades de catastro) en el municipio i

F_{ki} : componente principal k (1-4) del municipio i (estructura de actividades)

β_0 : término constante

β_k : coeficiente que acompaña a cada componente principal

α : parámetro que representan el cambio porcentual en la producción de suelo artificializado al variar en uno por ciento la cantidad del suelo de techo total

μ_i : error del modelo econométrico

El factor constante de transformación de insumo en producto del modelo original, se transformó en un término más complejo (ya no constante) que recoge las diferentes estructuras de actividades de cada municipio, a través de los factores principales antes presentados. Es así que el término $e^{(\beta_0 + \sum \beta_k * F_k)}$ se debe interpretar como la tasa de producción de suelo artificial (o consumo de suelo natural) por una unidad de superficie de techo. Así también los coeficientes β_k representan el efecto que tiene cada estructura de actividades en el factor de consumo, el que puede tener cualquier signo.

D - Calibración de modelo, análisis de significancia y ajuste

El modelo se calibró en el programa SPSS (pasos sucesivos) con los municipios que constituyen la RMB. Se consideró información tanto de variables independientes como dependientes para el año 2001.

Los resultados que a continuación se presentan son los resultados del proceso de calibración del modelo y la interpretación que se puede hacer de ellos, desde el punto de vista del fenómeno que se está analizando.

Tabla 7. Resultados del proceso de calibración del modelo de consumo de suelo

Coeficientes				
Variables		Coef. no estand.	Coef. Tipif.	t
		B	Beta	
(Constante)	β_0	-12,308		-30,145
LN_SUPCONST	α	,988	1,299	32,731
Factor 1	β_1	-,355	-,354	-11,234
Factor 2	β_2	-,380	-,379	-10,988

R cuadrado corregida	,901
Error tip. de la estimación	,316

Fuente: Elaboración propia.

En la primera parte de la Tabla 7 se muestra el resultado del proceso de calibración del modelo y el ajuste. En la segunda parte se presentan los gráficos que muestran las características de los componentes principales incluidos en el modelo final, con el fin de apoyar la interpretación de los coeficientes.

Lo primero que muestra la Tabla 7 es que sólo dos factores principales fueron incorporados al modelo definitivo, y que corresponden a aquellos que presentan mayor porcentaje de explicación de la varianza total.

Respecto de la significancia de los coeficientes calibrados, el método de pasos sucesivos genera el mejor modelo desde el punto de vista de lograr coeficientes estadísticamente significativos, maximizando el ajuste del modelo. Por lo anterior se puede concluir que todos los coeficientes finalmente incluidos en el modelo son estadísticamente distintos de cero.

Para comparar los coeficientes entre sí, es necesario analizar el valor de la columna *beta*, que corresponde a un coeficiente estandarizado. Haciendo esto, se aprecia la importancia que tiene la variable uso total de techo (y su coeficiente *alfa*) en la explicación del suelo artificializado (es la de mayor *beta* absoluto). A esta variable le siguen con igual importancia los dos factores principales incluidos, pero con un valor de explicación significativamente menor.

El ajuste del modelo calibrado es significativamente alto, explicando del orden del 90% de la variabilidad total del logaritmo natural del suelo artificializado. Si bien este número es importante, en modelos del tipo log-mixto o log-log es necesario hacer un post-análisis que consiste en calcular los valores predichos para la variable original, y con éstos hacer un análisis de explicación del modelo. Para este caso el error deslogaritmizado es en promedio un 25,5% (con un coeficiente de variación de CV=1).

Finalmente se pueden interpretar los valores obtenidos:

- Respecto del coeficiente *alfa*, su valor indica que una variación de un 1% del techo total en el municipio origina una variación de un 0,988% en el suelo artificializado, lo que denota el potencial expansivo del suelo de techo, es decir, el suelo de techo requiere casi su misma magnitud de suelo artificializado para lograr su funcionalidad territorial.
- El coeficiente del factor 1 (polarizador entre tejido denso terciario y extenso unifamiliar) tiene un signo negativo, lo que indica que esta dimensión disminuye la magnitud de la tasa de consumo de suelo natural, o mejor dicho, la tasa de producción del suelo artificializado. Cuando el factor 1 es positivo se *contiene* la artificialización del suelo natural, y esto ocurre cuando son predominantes las oficinas, comercios, industrias (del tipo talleres) y viviendas. Pero cuando el valor es negativo (predominancia de vivienda unifamiliar y deportivo) la tasa de producción aumenta, es decir, se requiere más suelo artificializado.
- El coeficiente del factor 2 (polarizador entre tejido denso residencial y extenso industrial) también presenta un signo negativo, lo que nuevamente indica que esta dimensión disminuye la magnitud de la tasa de consumo de suelo natural. Cuando el factor 2 es positivo se *contiene* la artificialización del suelo natural, y esto ocurre cuando son predominantes las viviendas colectivas, los usos culturales, de sanidad y comerciales. Pero cuando el valor es negativo (predominancia de uso industrial) la tasa de producción aumenta, es decir, se requiere más suelo artificializado.

Para finalizar, es interesante analizar el efecto que genera la superficie industrial, pues su participación en el modelo es doble, ya que su predominancia afecta preferentemente el componente 2, pero también afecta el componente 1. En el primer componente el suelo industrial (en tejidos densos) ayuda a contraer el suelo artificializado, mientras que en el componente 2 ayuda a expandir el suelo artificializado. Esta situación refleja una diferenciación del suelo industrial que no es detectada por la información de catastro, en el sentido de separar las tareas de producción y almacenamiento (componente que expande el suelo), versus las tareas gerenciales y de ventas (que son las que están presentes en los tejidos densos).

Desde el punto de vista del entendimiento del fenómeno los resultados son razonables (el hecho que la superficie de techo total sea la variable más importante en la producción de suelo

artificial), pero no triviales desde el momento que se detectan situaciones que a priori no eran tan claras en lo que se refiere a la estructura de las actividades.

Finalmente, son las distintas estructuras de las actividades de los municipios las que determinan su comportamiento en la producción de suelo artificializado, pasando de la contención del mismo en estructuras densas compactas y mixtas, a una significativa expansión en base a la vivienda unifamiliar e industria.

Método de ratios de consumo de suelo

En este caso se procedió de la siguiente forma:

- A partir de la información de catastro, se calculó para cada municipio la superficie total de parcelas catastrales por uso³. Los usos se agruparon en dos categorías que son viviendas y actividades.
- La superficie artificializada (CREAF) calculada por el procedimiento antes reportado, se dividió en función de las proporciones de suelo de vivienda y de actividades. Con esto se dividió el suelo artificializado asociado a viviendas, y el suelo artificializado asociado a actividades.
- Con los totales municipales de viviendas y de empleos, se calcularon las ratios por municipio de suelo artificializado de viviendas/ número de viviendas, y suelo artificializado de actividades/número de empleos. Dado que en los municipios pequeños el número de viviendas o empleos generan ratios significativamente mayores, se aplicó un análisis de umbral de corte para ecualizar dichos valores significativamente altos. Los umbrales de corte se determinaron de los mismos valores obtenidos, analizando el punto de inflexión de la distribución ordenada de menor a mayor. Así, los umbrales que resultaron fueron 300 m²/viv y 645 m²/empleo. Es decir, todo municipio cuyo ratio resultase mayor de estos valores, fue reemplazado por estos, con lo que se truncan los valores altos de la distribución.

Finalmente, la aplicación de estos ratios es directamente sobre las salidas del modelo Demógraf-Econógraf respecto de viviendas principales y empleos.

Los dos métodos alternativos para evaluar el consumo de suelo fueron aplicados en la evaluación de situación base y proyectos. El modelo econométrico calibrado resultó ser muy sensible a las variaciones en viviendas (y específicamente en su proporción respecto del techo construido por las actividades), dado el impacto de este uso en ambos factores principales incluidos en el modelo, y no así a las actividades económicas. En cambio el método de los ratios, dado que no hay competencia entre los usos de vivienda y actividad, resultó ser mejor en el sentido de reflejar de forma balanceada los efectos tanto en viviendas como en actividades. Por lo anterior, se utilizó este método en la evaluación definitiva.

³ Para esto se dividió la superficie total de las parcelas en función de las proporciones de las superficie de techo

2.3 Sub-modelo de consumo energético

En este caso la problemática que se enfrenta el modelo es, a partir de superficies construidas por actividad, estimar el consumo energético del municipio. De la revisión del estado del arte se aprecia que existen pocos estudios que aborden el consumo a una escala de ciudad, con dimensiones espaciales y temporales. La mayoría de los estudios se enfocan a la simulación del consumo de edificios asociados a un confort ambiental, que es preferente aunque no exclusivamente térmico.

Respecto a los enfoques de modelamiento del problema (*bottom-up* o *top-down*), cualquiera de ellos requiere contar con las características morfológicas de los edificios, además de la ubicación y orientación de los mismos. Dado que dicha información no se tiene para la RMB y además de que los objetivos del modelo de eficiencia energética no es la predicción a escala microterritorial, se decidió aplicar un enfoque mixto, del tipo *top-down*, pero teniendo en cuenta las actividades (superficie construida) y no la unidad del edificio.

Respecto a la información disponible para el estudio, sólo se contó con información de consumo eléctrico. Si bien en la propuesta del estudio se planteó la necesidad de aplicar una encuesta de consumo energético general, en la práctica, y dada la escala de modelación definitiva de Evalúamet, se decidió no tomar la encuesta, ya que no se lograría la representatividad espacial de la muestra con los recursos solicitados.

A continuación se presentan las distintas etapas seguidas en la calibración del modelo de consumo eléctrico.

A - Construcción de las variables independientes

Las variables independientes consideradas para explicar el consumo eléctrico fueron:

- La superficie construida de las actividades de la base catastral.
- Las condiciones climáticas del territorio, las que se obtuvieron de la oficina meteorológica de Cataluña y se refirieron a las temperaturas (mínima, máxima y media) y a la humedad relativa, todo lo anterior diferenciado para invierno y verano. Esta variable está ampliamente reportada en la literatura especializada (Palma *et al.*, 2012).
- El uso del tiempo en las diferentes actividades, información que se obtuvo de la Autoridad de Transporte Metropolitano (en adelante, ATM) y, en concreto, de la encuesta de movilidad en hogares de 2001. La metodología de procesamiento de esta encuesta se basa en un enfoque mixto de cadena de viaje y de geografía tiempo. Los resultados son el uso del tiempo promedio de las personas para las diferentes actividades (trabajo, estudio, compras, socialización, tiempo libre, personal, etc.) en los diferentes municipios. Esta variable se ha detectado en otros estudios (Marmolejo y Cerda, 2012) en el sentido que permite detectar, bajo otro punto de vista, subcentros de actividades que estructuran la funcionalidad de los territorios.

B - Construcción de la variable dependiente

La información disponible para el estudio fue el consumo anual de electricidad de los municipios de la RMB por tres años (2005, 2007 y 2008), proporcionado por de la empresa de distribución Fecsa-Endesa. Sólo la información del año 2005 diferencia el consumo por actividad (económica y residencial).

C - Definición de la estructura de modelación

Siguiendo el mismo planteamiento del modelo de consumo de suelo, la estructura final de los modelos de consumo eléctrico se presenta a continuación:

$$C_{i,j} = e^{(\beta_0 + \sum_k \beta_k * V_{k,i,j})} * S_{i,j}^{\alpha_i} \quad (3)$$

Donde

$C_{i,j}$: consumo eléctrico de la actividad i en el municipio j

$S_{i,j}$: superficie construida (m²) de la actividad i en el municipio j

$V_{k,i,j}$: variable meteorológica o variable funcional de la actividad k, en el municipio j

β_0 : constante

β_k : coeficiente de las variables meteorológica o funcional

α_i : elasticidad del consumo eléctrico de la actividad i

D - Calibración de modelo, análisis de significancia y ajuste

La Tabla 8 muestra los valores de superficie construida y el consumo eléctrico anual de la RMB (2005, año de calibración) para las principales actividades modeladas.

Tabla 8. Superficie construida y consumo eléctrico por actividades modeladas, RMB 2005

Actividad	Kwh total año 2005	%	Superficie catastro año 2005 (m2)	%
Industria	7.030.724.574	38,0	57.126.766	14,2
Residencias	5.792.747.971	31,3	257.597.812	64,2
Comercio	2.159.251.967	11,7	23.469.345	5,9
Transporte y telecomunicaciones	764.144.468	4,1	21.190.966	5,3
Sanitaria	666.538.743	3,6	3.500.726	0,9
Hoteles	426.138.862	2,3	4.843.349	1,2
Servicios personales	415.165.810	2,2	22.553.418	5,6
Administración	218.896.512	1,2	1.399.358	0,3
Servicios financieros	217.414.542	1,2	1.504.748	0,4
Educación	101.702.346	0,5	7.909.588	2,0
Alumbrado público	705.920.396	3,8		
Total	18.498.646.190	100,0	401.096.076	100,0

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 podemos ver las diferencias entre los porcentajes de las distintas actividades, tanto en la superficie construida como en el consumo eléctrico. Por ejemplo, la actividad residencial representa el 64% de la superficie construida, sino que se produce sólo el 31% del

consumo eléctrico. La superficie industrial, surgen un 14%, y produce el 38% del consumo eléctrico. Algo similar ocurre en las actividades de venta al por menor. Este resultado muestra la variabilidad de las tasas de consumo de eléctrico por actividad. A continuación se muestran los resultados de la calibración (Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros calibrados para los modelos de consumo eléctrico

Variables	Modelos de consumo eléctrico										
	Residencial	Administración pub.	Comercio	Educación	Servicios financieros	Hoteles	Industrias	Sanitaria	Servicios personales	Transporte y telecom.	Alumbrado pub.
CONSTANTE	1,207	-7,763	2,718	4,489	6,221	3,335	0,063	7,722	-7,698	-8,388	10,496
Sup. Viviendas	1,001										
Sup. Administración pub.		0,764									
Sup. Comercial			0,921								
Sup. Educación				0,847							
Sup. Servicios financieros					0,868						
Sup. Hoteles						0,377					
Sup. Industrial							1,262				
Sup. Sanitaria								0,793			
Sup. Servicios personales									1,200		
Sup. Transporte y telecom.										0,514	
Temperatura media mínima de verano	0,106		0,161			0,477			0,427		
Temperatura media de verano		0,686								0,814	
Tiempo medio de gestiones personales					0,164						
Tiempo medio de trabajo							0,151				
Sup. Artificializada											1,326
Porcentaje de calles											10,454
R2 ajustado	0,909	0,531	0,725	0,696	0,773	0,448	0,638	0,705	0,543	0,511	0,546

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 9 muestra los resultados de las variables finales incluidas en cada modelo de consumo eléctrico. Los modelos presentan un buen ajuste, pero a pesar de esto es necesario des-logaritmizar las predicciones para evaluar el ajuste real.

El análisis de coeficientes estandarizados (no presentado en la Tabla 9) muestra la alta participación (de mayor valor absoluto) de la superficie por actividad (*alfa*) para explicar el consumo eléctrico anual, lo que reafirma la estructura elegida para el modelo.

Las variables meteorológicas son incluidas en el modelo final y obtienen coeficientes positivos. Esto significa que la elevación de la temperatura induce un aumento del consumo municipal de electricidad, especialmente en verano, lo que se asocia fuertemente a la climatización de los lugares donde se desarrollan las actividades.

Finalmente, sólo dos variables funcionales se incluyeron en los modelos. Éstas son: el tiempo de trabajo para el modelo de la industria y el tiempo de trámites personales para las actividades financieras.

En la Tabla 10 se muestran los valores de las elasticidades (*alfa*) para las diferentes actividades y el porcentaje asociado del consumo eléctrico y superficie construida.

Tabla 10. Comparación de la elasticidad y la participación superficie / consumo de las actividades

Actividad	% Kwh total año 2005	% Superficie catastro año 2005	Elasticidad (alpha)
Industria	38,0	14,2	1,14
Residencias	31,3	64,2	1,00
Comercio	11,7	5,9	0,92
Transporte y telecom.	4,1	5,3	0,51
Sanitaria	3,6	0,9	0,79
Hoteles	2,3	1,2	0,38
Servicios personales	2,2	5,6	1,20
Administración	1,2	0,3	0,76
Servicios financieros	1,2	0,4	0,87
Educación	0,5	2,0	0,85

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el parámetro es mayor que 1, el comportamiento de esta actividad es elástica en términos de la superficie construida, lo que significa que una variación de 1% de la superficie construida genera una variación porcentualmente mayor del consumo eléctrico (es una actividad que amplifica el consumo). Este es el caso de las actividades residenciales e industriales, que representan alrededor del 80% de la superficie construida (69% del consumo eléctrico total). Los servicios personales son también actividades elásticas.

Actividades con elasticidad menor a 1, presentan un comportamiento inelástico en términos de superficie construida, que hacen que estas actividades "contengan" el consumo eléctrico. Este es el caso de los hoteles, el transporte y las telecomunicaciones. Actividades con valores menores pero cercanos a 1 son los comercios, las actividades de salud, la administración pública, los servicios financieros, y la educación.

Una posible explicación del comportamiento detectado puede estar asociada a la intensidad de la utilización diaria de la actividad, por lo que los hoteles y el transporte tienen una menor utilización que los comercios, la salud, los servicios, etc., y también más bajos que la industria y las actividades de residencia.

2.4 Sub-modelo de emisiones ambientales

Para establecer las emisiones ambientales producto de la localización de actividades, se aplicó la metodología de tasas de emisión. Para esto se obtuvieron las tasas de emisiones para las distintas actividades económicas del estudio de "Cuentas ambientales de Cataluña 2001", cuyos valores se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Tasas de emisión de contaminantes por trabajador y actividad

Actividad	NOX (Ton año / LTL)	CO2 (Kilo Ton. Año / LTL)	PST (Ton. Año / LTL)
Agrícola, caza, silvic.	0,173	0,009	0,202
Pesca	0,281	0,017	0,003
Extracción	0,209	0,058	0,094
Fabricación y producción	0,068	0,023	0,007
Energía y agua	0,325	0,184	0,041
Construcción	0,004	0,000	0,001
Comercios y ventas	0,001	0,000	0,000
Restauración y hoteles	0,000	0,001	0,000
Transporte y telecom.	0,002	0,001	0,001
Servicios financieros	0,000	0,000	0,000
Servicios	0,001	0,001	0,000
Administración pub.	0,000	0,000	0,000
Educación	0,000	0,000	0,000
Sanitarias	0,000	0,000	0,000
Servicios sociales y personales	0,010	0,002	0,000
Hogares *	1,004	1,000	1,188

* el valor indicado es una tasa por hogar

Fuente: Generalitat de Catalunya, 2009.

En la Tabla 11 se incluyen sólo los contaminantes estimados por el modelo SIMCAT para el transporte, con el fin de generar las comparaciones correspondientes. Los valores mostrados son tasas de contaminación anual por trabajador, las que se aplican a los trabajadores por actividad predicho por el modelo de localización de actividades.

2.5 Indicadores de estado respecto de la eficiencia social, energética y ambiental

Son numerosos los trabajos científicos que proponen indicadores para medir la sustentabilidad, o en otros casos la presión ambiental. En la gran mayoría dichos trabajos se construyen indicadores en función de los objetivos que persigue cada aplicación. Así se definen variables, estructuras matemáticas, unidades de observación-evaluación, escalas temporales, etc. En este sentido, el presente trabajo ha definido sus indicadores de evaluación también en base a los objetivos del modelo Evalúamet. A continuación se presenta la Tabla 12, en donde se indican cada etapa del modelo y las variables que se generan.

Tabla 12. Plataformas y variables generadas por el modelo Evalúamet

Plataforma	Etapas del modelo	Unidad de observación	Variables generadas
DEMÓGRAF-ECONÓGRAF	Sub-modelo de localización de actividades	Protosistema	Población total
			Empleos totales, y por actividad
			Nº de viviendas
SIMCAT	Sub-modelo de transporte	Arcos de la red	Flujos vehiculares
			Velocidad a flujo libre y en hora punta (congestión)
			Gasto de combustible
			Emisión de contaminantes
			Longitud
	Sub-modelo de transporte	Municipios	Matriz de tiempos de viaje a flujo libre y en hora punta
EVALÚAIMPACT	Sub-modelo de superficie construida	Municipios	Superficie construida por actividad económica
			Superficie construida por residencias
	Sub-modelo de consumo de suelo	Municipios	Superficie artificializada
	Sub-modelo de consumo eléctrico	Municipios	Consumo eléctrico anual total, y por actividad
			Consumo eléctrico anual por alumbrado público
	Sub-modelo de emisiones ambientales	Municipios	Emisiones anuales totales, y por actividad

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 12, las unidades de observación son tres y se refieren a protosistemas⁴, municipios, o arcos de la red, por lo que es necesario integrar dichas unidades a valores de escala del municipio. Por otra parte, cada una de las variables generadas tienen valores para los años 2009, 2014, 2019 y 2024.

Dado que el objetivo del modelo Evalúamet es evaluar planes o proyectos, en el contexto de los efectos diferenciados que producen tanto la localización de actividades, como el transporte que ellas generan (*trade off* del sistema territorial), se definen los siguientes indicadores de estado a partir de las variables generadas en cada etapa del modelo, y su evolución en el tiempo y espacio.

⁴ Agrupaciones funcionales de municipios

Tabla 13. Indicadores de estado para medir la eficiencia energética y ambiental

Plataforma	Indicador de estado por actividades localizadas y transporte
DEMÓGRAF-ECONÓGRAF	<p>Nombre: Presión demográfica</p> <p>Variables: considera población total por municipio</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la población total. Fórmula: $(\text{pob 2024} - \text{pob 2009}) / \text{pob 2009} * 100$</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la población total, en el periodo 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión económica</p> <p>Variables: considera empleos totales por municipio</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa para el período 2009-2024 del número total de empleos. Fórmula: $(\text{LTL 2024} - \text{LTL 2009}) / \text{LTL 2009} * 100$</p> <p>Interpretación: variación porcentual del total de empleos, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión residencial</p> <p>Variables: considera viviendas totales por municipio</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa para el período 2009-2024 de las viviendas totales. Fórmula: $(\text{viv 2024} - \text{viv 2009}) / \text{viv 2009} * 100$</p> <p>Interpretación: variación porcentual de las viviendas totales, en el período 2009-2024</p>
SIMCAT	<p>Nombre: Tiempos de viaje</p> <p>Variables: considera matrices de tiempos de viajes en hora punta</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación porcentual en el período 2009-2024 del tiempo medio de viaje desde un municipio a todos los demás. Fórmulas: $\text{tiempo medio} = \sum \text{tiempos de viaje de un municipio} / \text{Nº de destinos}$; $(\text{tiempo 2024} - \text{tiempo 2009}) / \text{tiempo 2009} * 100$.</p> <p>Interpretación: variación porcentual del tiempo de viaje (salida) de un municipio a todos los restantes, en el período 2009-2024. Indirectamente es una medida de centralidad del municipio tanto como generador de viajes, como para su rol atractor de viajes (dado que los tiempos de salidas son muy similares a los tiempos de llegada).</p>
	<p>Nombre: Presión sobre el flujo en la red</p> <p>Variables: considera flujos vehiculares y longitud de la red municipal.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la densidad de flujo en la red municipal. Fórmulas: $(\sum \text{flujos vehiculares en arcos del municipio} / \sum \text{longitud de arcos del municipio})$; $(\text{densidad 2024} - \text{densidad 2009}) / \text{densidad 2009} * 100$</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la densidad de flujo vehicular en la red del municipio, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión sobre la velocidad en la red</p> <p>Variables: considera las velocidades en hora punta y longitud de la red municipal.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la velocidad media en la red municipal. Fórmulas: $\text{velocidad media} = \sum \text{longitud} * \text{velocidad en hora punta en arcos del municipio} / \sum \text{longitud de arcos del municipio}$; $(\text{velmedia 2024} - \text{velmedia 2009}) / \text{velmedia 2009} * 100$</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la densidad de flujo vehicular en la red del municipio, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión de congestión en la red</p> <p>Variables: considera velocidades en flujo libre y hora punta, y longitud de la red municipal.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación absoluta, para el período 2009-2024, del porcentaje ponderado de disminución de velocidad de la red municipal producto de la congestión. Fórmulas: $\text{saturación en un arco} = (1 - \text{Velocidad en hora punta} / \text{Velocidad a flujo libre}) * 100$; $\text{saturación media} = \sum \text{longitud} * \text{saturación} / \sum \text{longitud de arcos}$; $(\text{sat.media 2024} - \text{sat.media 2009})$</p> <p>Interpretación: variación absoluta del porcentaje medio de saturación en la red del municipio, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión energética por combustible en la red</p> <p>Variables: considera el consumo de combustible y longitud de la red municipal.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la</p>

	<p>densidad de consumo de combustible por kilometro de red. Fórmulas densidad de consumo=$\sum$consumos de combustible en arcos del municipio / $\sum$ longitud de arcos del municipio); (densidad 2024-densidad 2009)/densidad 2009*100</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la densidad de consumo de combustible, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red</p> <p>Variables: considera la emisión de contaminantes por arco(CO2, NOx, PTS), y longitud de la red municipal.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la densidad de emisión de contaminantes por kilometro de red. Fórmulas densidad de emisión=$\sum$emisiones en arcos del municipio / $\sum$ longitud de arcos del municipio); (densidad 2024-densidad 2009)/densidad 2009*100</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la densidad de emisión de contaminantes (CO2, NOx, PTS), en el período 2009-2024</p>
EVALÚAIMPACT	<p>Nombre: Presión por superficie de techo</p> <p>Variables: considera la superficie de techo total en el municipio.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de la superficie de techo. Fórmula (sup.Techo 2024-sup techo 2009)/sup techo 2009 * 100.</p> <p>Interpretación: variación porcentual de la superficie de techo, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión por expansión del suelo artificializado</p> <p>Variables: considera la superficie artificializada del municipio.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, del suelo artificializado incremental, esto ya que por efectos del modelo, el suelo puede decrecer, por lo que se computan sólo los crecimientos. Fórmula: (max(suelo art. 2024,suelo art 2009)-suelo art. 2009)/suelo art. 2009 * 100.</p> <p>Interpretación: crecimiento porcentual del suelo artificializado, en el período 2009-2024. En el caso en que el suelo 2024 sea menor que el suelo 2009, ambos valores entregados por el modelo, la variación es 0.</p>
	<p>Nombre: Presión sobre el consumo eléctrico</p> <p>Variables: considera el consumo eléctrico total del municipio.</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, del consumo eléctrico total. Fórmula (consumo 2024-consumo 2009)/consumo 2009 * 100.</p> <p>Interpretación: variación porcentual del consumo eléctrico, en el período 2009-2024</p>
	<p>Nombre: Presión ambiental sobre las emisiones de contaminantes por actividades</p> <p>Variables: considera las emisiones totales del municipio (CO2, NOx, PTS).</p> <p>Forma de cálculo: se calcula como la variación relativa, para el período 2009-2024, de las emisiones por contaminante. Fórmula (emisión 2024-emisión 2009)/emisión 2009*100.</p> <p>Interpretación: variación porcentual de las emisiones ambientales, en el período 2009-2024</p>

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia de la Tabla 13, los indicadores de estado se construyen con base en la evolución propia de las variables generadas por los modelos para los años 2009-2024, pero que reflejan el comportamiento en los períodos intermedios, ya que la forma de cálculo es secuencial (la salida de un período alimenta al otro). Con el cálculo de la variación también se busca eliminar el efecto de los errores propios de predicción de los distintos sub-modelos. Cada indicador se calcula por municipio, con el fin de evaluar el efecto diferenciado en el espacio.

Para evaluar la eficiencia, en términos conceptuales, se requiere tener la cantidad de un input que genera un output o efecto determinado. En nuestro caso el input es el plan o proyecto en su totalidad, y el output esta dado por los indicadores de estado antes presentados, en el sentido que sólo se evalúa la eficiencia ambiental (o de sostenibilidad). Los restantes

beneficios o eficiencias, como por ejemplo las sociales, económicas, etc. no son consideradas en esta evaluación.

Por otra parte, para comparar dos planes o proyectos, el enfoque de eficiencia tradicional obliga a que estos sean de la misma naturaleza. Un ejemplo de lo anterior son los proyectos viales, en donde los indicadores de eficiencia ambiental sería la reducción de emisiones de CO₂ por kilómetro de carretera.

Dicho lo anterior, lo desarrollado por este estudio viene a representar una eficiencia total del proyecto. Es por esto, que para evaluar el efecto que tendrá un plan o proyecto en la eficiencia del sistema, se deben definir criterios de eficiencia para cada uno de los indicadores de estado definidos en su evaluación (simulación) con o sin proyecto. En la Tabla 14 se indican estos criterios para cada indicador de estado.

Tabla 14. **Criterio de eficiencia ambiental en la evaluación de planes o proyectos**

Plataforma	Indicador de estado	Criterio de eficiencia ambiental
DEMÓGRAF-ECONÓGRAF	Presión demográfica	No hay criterio
	Presión económica	No hay criterio
	Presión residencial	No hay criterio
SIMCAT	Tiempos de viaje	Disminuir el valor
	Presión de flujo en la red	Disminuir el valor
	Presión sobre velocidad en la red	Aumentar el valor
	Presión de congestión en la red	Disminuir el valor
	Presión energética por combustible en la red	Disminuir el valor
	Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red	Disminuir el valor
EVALÚAIMPACT	Presión por superficie de techo	No hay criterio
	Presión por expansión suelo artificializado	Disminuir el valor
	Presión sobre el consumo eléctrico	Disminuir el valor
	Presión ambiental sobre las emisiones de contaminantes por actividades	Disminuir el valor

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, cada municipio calcula su indicador de estado, por lo que el efecto de un plan o proyecto puede ser diferente por municipio. Con esto se busca identificar los municipios que ven mejorada su situación social-energético-ambiental (disminuye la presión, y por ende se genera una eficiencia por parte del plan o proyecto), así como los que la ven empeorada su situación (aumentan la presión ambiental, ineficiencia), o que son indiferentes (no ven modificada la presión ambiental). Con esto, el modelo logra evaluar el efecto distributivo de la externalidad en el espacio.

3. Aplicación del modelo Evalúamet

La aplicación del modelo Evalúamet considera el desarrollo secuencial e iterativo de todos los sub-modelos que lo componen. Esta aplicación se hace tanto para construir los indicadores de estado para un escenario tendencial (de referencia), así como para el escenario tendencial

modulado por el proyecto, es decir, afecto a cambio de las tendencias producto de la implementación del plan o proyecto a ser evaluado.

La secuencia para construir ya sea el escenario tendencial, como los escenarios tendenciales modulados es la siguiente:

- Paso 1: Definir la situación para el año 2009 respecto de: localización de la población, empleos, viviendas, matriz de viajes, asignación a la red y matrices de tiempos de viaje (en hora punta). Así también para los cortes 2014, 2019 y 2024 se deben tener los totales de empleos y población autóctona (proveniente del modelo Demógraf).
- Paso 2: Con la matriz de tiempos en hora punta 2009, se aplica el modelo de localización de actividades para predecir la distribución de población, hogares y empleo al 2014.
- Paso 3: Con los nuevos valores de población y empleo se aplica el modelo de distribución de transporte, para obtener así la matriz de viajes 2014. Esta matriz se asigna a la red 2014, con lo que se obtienen los nuevos valores de flujo y tiempos en la red, población, hogares y empleos 2019. Así se sigue sucesivamente hasta que se tienen los valores para todos los años de análisis (2009, 2014, 2019, y 2024).
- Paso 4: Con todos los valores se aplican los modelos de superficie construida, suelo artificializado y consumo energético para cada uno de los años.
- Paso 5: Con todas las variables generadas se calculan los indicadores de estado antes definidos, por municipios y para la RMB.
- Paso 6: Para evaluar un plan se aplican los pasos del 1 al 5, bajo los efectos del plan o proyecto.
- Paso 7: Con los indicadores de estado para el escenario base y para la situación con el plan o proyecto se evalúa el efecto de este último, en el sentido de tender a la eficiencia o ineficiencia del sistema en general, y diferenciado por municipio.

3.1 Escenario tendencial para la RMB

A continuación se presentan los resultados de los indicadores de estado del sistema territorial, antes presentados, para la RMB y algunos municipios importantes.

Tabla 15. Indicadores de estado del sistema territorial, escenario tendencial 2009-2024

		RMB	Barcelona	Hospitalet	Sabadell	Terrassa	Badalona	Mataró	Granollers	El Prat	Rubí	Sant Cugat
Indicadores de las actividades	Presión demográfica	2,31	-1,94	-1,94	9,13	12,54	-1,94	6,58	7,26	-1,94	11,25	11,25
	Presión económica	5,89	-6,27	-6,27	17,34	18,46	-6,27	18,84	18,95	-6,27	18,49	18,49
	Presión residencial	5,78	1,22	1,22	14,54	16,04	1,22	12,45	17,19	1,22	14,96	14,96
	Presión por superficie de techo	7,61	-1,96	-2,15	15,63	17,01	-1,47	15,03	18,07	-3,38	16,74	16,42
	Presión por suelo artificializado	10,94	0,00	0,00	15,66	16,99	0,00	15,18	18,20	0,00	16,73	16,42
	Presión sobre el consumo eléctrico	9,17	-4,32	-4,71	17,67	20,89	-3,05	17,78	21,69	-4,53	21,08	16,29
	Presión sobre las emisiones ambientales	CO2	5,82	1,16	1,18	14,57	16,06	1,17	12,52	17,22	1,12	15,03
		NOx	5,90	1,05	1,09	14,61	16,09	1,08	12,65	17,27	0,92	15,16
		PTS	5,80	1,20	1,21	14,55	16,04	1,21	12,48	17,19	1,18	14,98
	Indicadores del transporte	Tiempo de viaje	21,89	15,76	19,67	20,41	23,16	15,56	27,69	26,40	17,27	22,40
		Presión sobre Velocidad media	0,70	3,49	-0,36	33,36	11,64	14,89	4,31	9,17	26,55	3,59
		Presión de congestión en la red	-13,04	2,57	5,83	-19,84	-1,28	4,54	-10,68	-32,50	-42,27	8,55
		Presión de flujo en la red	-2,26	2,43	3,42	-16,83	-7,34	2,75	-12,86	-14,23	-7,54	1,71
		Presión energética por combustible en la red	-4,86	-0,51	2,36	-8,73	10,03	17,55	-2,58	-28,13	-0,57	-4,90
		Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red	CO2	-4,86	-0,51	2,36	-8,73	10,03	17,55	-2,58	-28,13	-0,57
			NOx	-3,58	1,74	1,03	-1,77	21,82	33,44	-3,12	-26,19	13,53
			PTS	-4,81	1,48	1,46	-3,57	15,16	21,67	-3,44	-27,09	3,44

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15 se muestran los indicadores de estado que caracterizan el escenario tendencial construido para la RMB. Los signos positivos y negativos deben ser interpretados como indicativos de una situación de baja presión (negativos), y de media o alta presión (positivos), dependiendo de su magnitud). Los valores de los indicadores son comparables, dado que son variaciones porcentuales de la realidad de cada municipio, independizándose así de los tamaños municipales. En los valores se aprecia que para el período 2009-2024:

- La RMB presenta una presión demográfica media, mientras que los municipios⁵ del sistema de Barcelona presentan una presión baja. Los municipios con mayor presión demográfica son Terrassa, seguido por Rubí, Sant Cugat del Vallès, Sabadell, Granollers, y finalmente Mataró. Ello refleja el proceso tendencial de descentralización sugerido por Demógraf-Econógraf.
- Lo que respecta a la presión económica, la RMB presenta una presión media alta, siendo superada significativamente por los municipios de Granollers, Mataró, Rubí, Sant Cugat del Vallès, Terrassa, y Sabadell. En cambio los municipios del sistema de Barcelona presentan una baja presión. Este comportamiento refleja el carácter descentralizador de la actividad económica del escenario tendencial construido para Catalunya.
- La presión residencial se muestra con valor medio para la RMB, y medio bajo para los municipios del sistema de Barcelona. Los restantes municipios presentan presiones significativamente más altas, similares a los valores de presión económica.
- En relación a las externalidades por actividades, se aprecia que la presión por superficie de techo es alta para la RMB, siendo mayor en los municipios de Granollers, Terrassa, Rubí, Sant Cugat del Vallès, Sabadell, y Mataró (mismo comportamiento de la presión económica). La

⁵ Cabe mencionar que tanto la presión demográfica, como la económica y residencial, están determinadas por la situación a nivel de protosistema, por lo que serán similares los valores entre los municipios que conforman un mismo protosistema (el caso de Barcelona, Badalona, Hospitalet de Llobregat, y El Prat de Llobregat).

presión por expansión de suelo artificializado se registra sólo en los municipios antes mencionados, no registrándose presión de expansión en Barcelona, Hospitalet de Llobregat, Badalona, y El Prat de Llobregat. Esto ocurre también en la presión sobre el consumo eléctrico, donde tanto la RMB como los municipios de Granollers, Rubí, Terrassa, Mataró, Sabadell, y Sant Cugat del Vallès presentan alta presión. Lo contrario ocurre en los restantes municipios.

- Con respecto a las emisiones ambientales de las actividades, tanto la RMB como todos los municipios presentan presiones medias y altas. Las presiones altas corresponden a Granollers, Terrassa, Rubí, Sant Cugat del Vallès, Sabadell, y Mataró.

Como se puede apreciar, las externalidades asociadas a las actividades están directamente relacionadas a lo que ocurre con las presiones demográficas, económica, y residencial.

- Respecto de la presión en los tiempos de viaje, se ve que tanto para la RMB como todos los municipios incluidos en la tabla presentan una alta presión, lo que significa que en todos tienden a aumentar los tiempos de viaje. Lo mismo ocurre respecto de la presión sobre las velocidades en los arcos de la red, en el sentido que la mayoría de los municipios tiene una media y alta presión, es decir, las velocidades de paso tienden a aumentar. Sólo los municipios de Hospitalet de Llobregat y Sant Cugat del Vallès tienden a disminuir la velocidad. Estos resultados no son contradictorios, pues es necesario recordar que el tiempo de viaje es en relación a todo el trayecto desde el origen al destino, mientras que la velocidad se refiere sólo a los arcos de la red municipal.

- Analizando la presión por congestión, se aprecia que tanto la RMB, como los municipios de El Prat de Llobregat, Granollers, Sabadell, y Mataró disminuyen la congestión en el período 2009-2024. Los municipios que aumentan la presión por congestión son Sant Cugat del Vallès, Rubí, Hospitalet del Llobregat, Badalona, y en mucho menor grado Barcelona y Terrassa..

- Respecto de la presión de flujos en la red, se aprecia que la RMB presenta una baja presión, situación que no ocurre en los municipios de Barcelona, Hospitalet de Llobregat, Badalona, Rubí, y Sant Cugat del Vallès, donde la presión es media. Los municipios Sabadell, Terrassa, Mataró, Granollers, y El Prat de Llobregat presentan una presión significativamente baja.

- Si bien la RMB presenta una baja presión de consumo de carburante, los municipios de Badalona, Terrassa, Sant Cugat del Vallès, y Hospitalet de Llobregat presentan una presión media y alta. Los municipios de baja presión son Granollers (siendo el de menor presión de todos), Sabadell, Rubí, y Barcelona. Este comportamiento se refleja de forma directa en las presiones por emisiones ambientales en la red.

Dado que en la Tabla 15 sólo se incluyeron algunos municipios, a continuación (Figura 4) se presentan la distribución en la RMB de sólo algunos indicadores de estado del escenario tendencial.

Figura 4. Indicadores de presión por congestión en la red, de emisión de PTS en la red, sobre el suelo artificializado y sobre el consumo eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia, tanto en la Tabla 15, como en la Figura 4, los indicadores de estado presentan valores diferentes según el municipio que se analice (los colores oscuros y claros indican mayor y menor presión respectivamente). Es así que, por ejemplo, la RMB presenta una presión baja por congestión (-0,43), pero la gráfica (superior izquierda) muestra valores altos de presión en torno a los ejes C-31 y C-32 hacia Castelldefels, autopista AP-7 (entre Martorell y Vilafranca del Penedès, y también en Rubí), y finalmente las rutas C-17 y C-59 en el sector de La Garriga y Caldes de Montbui. La presión por congestión se corresponde con la presión por emisiones de PTS en la red (imagen superior derecha de la Figura 4).

En relación a la presión sobre el suelo artificializado (imagen inferior izquierda de la Figura 4), la RMB presenta un valor alto, pero existen municipios con presiones mayores en las comarcas del Vallès (Oriental y Occidental).

Finalmente, la presión por consumo eléctrico se concentra en las grandes aglomeraciones entorno a Granollers, Mollet del Vallès, Terrassa, Vilafranca del Penedès, etc.

3.2 Escenario tendencial modulado por proyectos

La aplicación del modelo Evalúamet se hizo a dos proyectos, los que se presentan brevemente a continuación:

- Autopista Orbital B-40: Se ha escogido como infraestructura viaria a evaluar la B-40, entre Abrera y Granollers, con una longitud de aproximadamente 40 kilómetros y un estándar operativo de autovía. Se considera que dicha infraestructura comienza a ser operativa para los años 2019 y 2024. El efecto de este proyecto es directo en la red vial, incorporándose como arcos nuevos disponibles para su uso por parte de los vehículos.

- Proyecto 22@: se considera la materialización de la superficie de actividades de oficinas y viviendas que al año 2007 aún no se había construido. Esto significa un total de 83.012 LTL y 3.861 viviendas (que se suman a las que a esa fecha ya se habían materializado), las que se incorporan de manera gradual en los años 2019 y 2024 (32% y 68%, respectivamente). El efecto de este proyecto es doble, pues se incorpora tanto a nivel de población como de LTL, pero no se considera un número adicional de empleos o habitantes sino que se mantienen los totales predichos por el modelo Demógraf-Econógraf, pero cambian las distribuciones en función del nuevo peso del municipio de Barcelona tanto en población como en empleos.

En la Figura 5 se muestra el emplazamiento de los proyectos considerados.

Figura 5. Emplazamiento de proyectos evaluados

Fuente: Elaboración propia.

El efecto que produce el proyecto de la orbital B-40 en los indicadores de estado del escenario tendencial, se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Escenario tendencial 2009-2024 modulado por el proyecto de la orbital B-40

		RMB		Barcelona		Hospitalet		Sabadell		Terrassa		Badalona		Mataró		Granollers		El Prat		Rubí		Sant Cugat	
		Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40	Tendencial	B-40
Indicadores de las actividades	Presión demográfica	2,31	1,79	-1,94	-2,19	-1,94	-2,19	9,13	7,06	12,54	8,23	-1,94	-2,19	6,58	6,58	7,26	7,54	-1,94	-2,19	11,25	9,30	11,25	9,30
	Presión económica	5,89	5,89	-6,27	-6,26	-6,27	-6,26	17,34	17,32	18,46	18,44	-6,27	-6,26	18,84	18,84	18,95	18,94	-6,27	-6,26	18,49	18,49	18,49	18,49
	Presión residencial	5,78	5,41	1,22	1,05	1,22	1,05	14,54	12,99	16,04	12,86	1,22	1,05	12,45	12,46	17,19	17,47	1,22	1,05	14,96	13,42	14,96	13,42
	Presión por superficie de techo	7,61	7,41	-1,96	-2,06	-2,15	-2,25	15,63	14,67	17,01	15,11	-1,47	-1,59	15,03	15,04	18,07	18,21	-3,38	-3,44	16,74	15,98	16,42	15,52
	Presión por suelo artificializado	10,94	10,80	0,00	0,00	0,00	0,00	15,66	14,72	16,99	15,04	0,00	0,00	15,18	15,19	18,20	18,32	0,00	0,00	16,73	15,96	16,42	15,52
	Presión sobre el consumo eléctrico	9,17	9,07	-4,32	-4,37	-4,71	-4,75	17,67	17,06	20,89	20,02	-3,05	-3,13	17,78	17,78	21,69	21,73	-4,53	-4,56	21,08	20,80	16,29	15,57
	Presión sobre las emisiones ambientales																						
	CO2	5,82	5,45	1,16	0,98	1,18	1,00	14,57	13,03	16,06	12,91	1,17	0,99	12,52	12,53	17,22	17,49	1,12	0,94	15,03	13,52	15,00	13,47
	NOx	5,90	5,53	1,05	0,88	1,09	0,91	14,61	13,10	16,09	12,99	1,08	0,90	12,65	12,66	17,27	17,53	0,92	0,75	15,16	13,70	15,06	13,57
	PTS	5,80	5,43	1,20	1,03	1,21	1,03	14,55	13,01	16,04	12,88	1,21	1,03	12,48	12,49	17,19	17,47	1,18	1,01	14,98	13,45	14,98	13,45
Indicadores del transporte	Tempo de viaje	21,89	15,89	15,76	12,30	19,67	17,05	20,41	7,83	23,16	6,14	15,56	12,38	27,69	24,20	26,40	18,18	17,27	14,67	22,40	18,97	28,72	24,43
	Presión sobre Velocidad media	0,70	2,38	3,49	3,70	-0,36	-0,29	33,36	48,15	11,64	25,37	14,89	14,90	4,31	4,32	9,17	10,48	26,55	26,62	3,59	4,07	-6,09	-4,27
	Presión de congestión en la red	-13,04	-19,37	2,57	1,74	5,83	5,59	-19,84	-46,67	-1,28	-46,87	4,54	5,12	-10,68	-10,77	-32,50	-38,20	-42,27	-42,62	8,55	4,11	11,55	5,04
	Presión de flujo en la red	-2,26	-4,34	2,43	2,06	3,42	3,40	-16,83	-4,03	-7,34	-23,28	2,75	2,74	-12,86	-12,96	-14,23	-20,00	-7,54	-8,01	1,71	-2,21	8,96	-1,52
	Presión energética por combustible en la red	-4,86	-6,04	-0,51	-1,26	2,36	2,19	-8,73	14,14	10,03	-1,16	17,55	17,22	-2,58	-2,75	-28,13	-38,78	-0,57	-0,93	-4,90	-11,94	6,63	-4,88
	Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red																						
	CO2	-4,86	-6,04	-0,51	-1,26	2,36	2,19	-8,73	14,14	10,03	-1,16	17,55	17,22	-2,58	-2,75	-28,13	-38,78	-0,57	-0,93	-4,90	-11,94	6,63	-4,88
	NOx	-3,58	-3,76	1,74	1,18	1,03	0,98	-1,77	39,00	21,82	21,78	33,44	33,01	-3,12	-3,30	-26,19	-37,94	13,53	13,25	-3,77	-11,50	3,17	-6,97
	PTS	-4,81	-5,82	1,48	0,99	1,46	1,37	-3,57	25,81	15,16	6,41	21,67	21,37	-3,44	-3,60	-27,09	-38,18	3,44	3,09	-1,40	-8,43	3,03	-7,03

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se indica el valor de la situación tendencial, y el valor del escenario tendencial modulado por el proyecto. En rojo y verde se indican las situaciones en donde la presión aumenta y disminuye respectivamente, por efecto del proyecto (considerando un efecto significativo si el valor varía en más de 5% del valor original). En blanco indica las situaciones en donde la presión no varía.

Dicho lo anterior, los aumentos de presión que produce la orbital B-40 se concentran principalmente en el municipio de Sabadell, y se refieren a la presión de flujo, la de consumo de combustible, y de forma significativa las emisiones de contaminantes.

En el municipio de Badalona se verifica un aumento en la presión de la congestión en la red.

El efecto de aumento más significativo que genera el proyecto, se refiere al aumento leve de las velocidades medias en los municipios de Barcelona, Hospitalet de Llobregat, Sabadell, Terrassa, Granollers, Rubí y Sant Cugat del Vallès.

En general, el proyecto de la orbital B-40 disminuye las presiones del escenario tendencial a nivel de la RMB así como en los municipios incluidos en la Tabla 16, pero a su vez se aprecia una indiferencia al proyecto (no genera efecto) en el caso de las presiones económica y por superficie de techo, por lo que no tendería a generar procesos claros de relocalización de actividades económicas. En cambio se observa una tendencia de pérdida de presión demográfica producto de la relocalización residencial (y demográfica). Esto ocurriría preferentemente en Terrassa, Sabadell, Rubí y Sant Cugat del Vallès.

En la Figura 6 se muestra el efecto producido por la orbital B-40 sobre algunos de los indicadores de estado del escenario tendencial.

Figura 6. Efecto del proyecto de la orbital B-40 en los indicadores de presión por congestión en la red, de emisión de PTS en la red, sobre el suelo artificializado y sobre el consumo eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se presentan la presión según el indicador de estado del escenario tendencial, además del emplazamiento de la orbital B-40, y también se tematiza tanto el aumento (color marrón) como la disminución (color verde claro) de presión sobre el indicador, modulado por el proyecto. Como se aprecia, el efecto que genera la orbital B-40 en la congestión de las redes municipales (figura superior izquierda) muestra que disminuyen principalmente los municipios directamente afectados por el trazado de la orbital en la zona de Granollers, que a su vez presentan niveles medios-altos de presión. La mayor disminución de presión se produce en torno a Martorell, lo que demuestra el efecto sistémico espacial del proyecto. El único aumento significativo se produce al norte del proyecto, en el municipio de Santa Eulàlia, en donde la red municipal debe soportar la carga de tráfico por efecto de las salidas de las autopistas.

Respecto de la emisión de PTS en la red (figura superior derecha) se aprecia el significativo aumento en los municipios por donde pasa la orbital, en los que aumentan los flujos de tráfico. Las disminuciones de emisiones, relativamente menores, se dan en municipios dispersos de la RMB.

En relación a la presión sobre el suelo artificializado (figura inferior izquierda), se aprecia que el efecto de la orbital B-40 es el de reducir presión en los municipios entorno al proyecto, y aumentar la presión preferentemente en los municipios del Alt Penedès, parte del Garraf, y del Vallès Oriental, que corresponden a las cabeceras del proyecto. Este comportamiento de la orbital es general para todas las externalidades asociadas a la localización de actividades, como también se aprecia en la presión sobre el consumo eléctrico, en el que las variaciones son menores en magnitud.

Se podría resumir que el principal efecto de la orbital B-40 es la difusión de actividades desde los municipios centrales del proyecto, hacia los municipios cabeceras, producto de los menores tiempos de viaje que origina. A lo anterior se suma la reasignación de flujos de la red en torno al proyecto, con las externalidades correspondientes.

El efecto que produce el proyecto 22@ en la modulación de los indicadores de estado del escenario tendencial, se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Escenario tendencial 2009-2024 modulado por el proyecto del 22@

		RMB		Barcelona		Hospitalet		Sabadell		Terrassa		Badalona		Mataró		Granollers		El Prat		Rubí		Sant Cugat		
		Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	Tendencial	22@	
Indicadores de las actividades	Presión demográfica	2,31	3,46	-1,94	0,01	-1,94	0,01	9,13	8,60	12,54	10,55	-1,94	0,01	6,58	7,45	7,26	8,01	-1,94	0,01	11,25	12,21	11,25	12,21	
	Presión económica	5,89	6,69	-6,27	-2,40	-6,27	-6,27	17,34	15,70	18,46	16,81	-6,27	-6,27	18,84	17,20	18,95	17,29	-6,27	-6,27	18,49	16,84	18,49	16,84	
	Presión residencial	5,78	7,29	1,22	3,32	1,22	3,32	14,54	14,82	16,04	15,24	1,22	3,32	12,45	13,76	17,19	18,49	1,22	3,32	14,96	16,27	14,96	16,27	
	Presión por superficie de techo	7,61	8,45	-1,96	0,89	-2,15	-1,00	15,63	15,16	17,01	15,87	-1,47	-0,14	15,03	15,15	18,07	17,89	-3,38	-2,57	16,74	16,56	16,42	16,51	
	Presión por suelo artificializado	10,94	10,91	0,00	0,68	0,00	0,00	15,66	15,17	16,99	15,86	0,00	0,00	15,18	15,23	18,20	17,80	0,00	0,00	16,73	16,56	16,42	16,51	
	Presión sobre el consumo eléctrico	9,17	9,65	-4,32	-0,72	-4,71	-4,12	17,67	16,62	20,89	19,17	-3,05	-2,13	17,78	16,99	21,69	20,26	-4,53	-4,12	21,08	19,65	16,29	16,09	
	Presión sobre las emisiones ambientales	CO2	5,82	7,31	1,16	3,27	1,18	3,26	14,57	14,83	16,06	15,26	1,17	3,25	12,52	13,80	17,22	18,47	1,12	3,18	15,03	16,29	15,00	16,28
		NOx	5,90	7,36	1,05	3,19	1,09	3,15	14,61	14,84	16,09	15,28	1,08	3,13	12,65	13,87	17,27	18,44	0,92	2,93	15,16	16,31	15,06	16,29
		PTS	5,80	7,30	1,20	3,30	1,21	3,30	14,55	14,83	16,04	15,25	1,21	3,30	12,48	13,78	17,19	18,48	1,18	3,27	14,98	16,28	14,98	16,28
	Indicadores del transporte	Tiempo de viaje	21,89	21,95	15,76	15,90	19,67	19,99	20,41	21,05	23,16	23,01	15,56	15,80	27,69	27,77	26,40	26,45	17,27	17,62	22,40	22,49	28,72	28,59
Presión sobre Velocidad media		0,70	0,65	3,49	3,23	-0,36	-0,60	33,36	33,53	11,64	11,72	14,89	14,78	4,31	4,26	9,17	9,13	26,55	26,42	3,59	3,31	-6,09	-6,20	
Presión de congestión en la red		-13,04	-12,55	2,57	4,12	5,83	7,81	-19,84	-19,68	-1,28	-2,28	4,54	6,09	-10,68	-10,02	-32,50	-32,28	-42,27	-41,40	8,55	10,46	11,55	12,17	
Presión de flujo en la red		-2,26	-1,83	2,43	3,31	3,42	4,52	-16,83	-16,94	-7,34	-7,83	2,75	4,10	-12,86	-11,88	-14,23	-14,46	-7,54	-7,07	1,71	2,30	8,96	9,07	
Presión energética por combustible en la red		-4,86	-4,34	-0,51	0,89	2,36	3,50	-8,73	-9,14	10,03	9,60	17,55	19,13	-2,58	-1,58	-28,13	-29,38	-0,57	0,00	-4,90	-4,32	6,63	6,77	
Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red		CO2	-4,86	-4,34	-0,51	0,89	2,36	3,50	-8,73	-9,14	10,03	9,60	17,55	19,13	-2,58	-1,58	-28,13	-29,38	-0,57	0,00	-4,90	-4,32	6,63	6,77
		NOx	-3,58	-3,18	1,74	2,86	1,03	1,94	-1,77	-2,21	21,82	21,55	33,44	35,18	-3,12	-2,26	-26,19	-27,70	13,53	13,93	-3,77	-3,63	3,17	3,23
		PTS	-4,81	-4,44	1,48	2,48	1,46	2,54	-3,57	-4,07	15,16	14,82	21,67	23,23	-3,44	-2,49	-27,09	-28,38	3,44	3,93	-1,40	-0,96	3,03	3,13

Fuente: Elaboración propia.

Para la RMB, el proyecto 22@ significa un aumento en las presiones demográficas, económicas y residencial, lo que general aumento en las externalidades por actividades (techo, consumo eléctrico, y emisiones ambientales), y aumentos en las externalidades del transporte (velocidades, consumo de combustible y emisiones de contaminantes). No se generan efectos en la expansión del suelo artificializado, en el tiempo de viaje, y en la congestión y flujos de la red.

En relación a la presión económica, obviamente se aumenta la presión en el municipio de Barcelona (donde se localiza el proyecto), disminuyendo la presión en los municipios de Sabadell, Terrassa, Mataró, Granollers, Rubí, y Sant Cugat del Vallès (tendencia de relocalización de la actividad económica). Por la conectividad de la red, el aumento de la presión económica, genera aumento en la presión demográfica en todos los municipios, menos en Terrassa y Sabadell donde disminuye. Un comportamiento similar se verifica en la presión residencial.

En base al comportamiento descrito, es que se configuran los efectos en las externalidades por actividades (emisiones, techo, suelo artificializado, etc.), y en la red de transporte. En donde se aumentan las presiones demográficas, económica, y residencial aumentan las presiones por congestión, por flujos en la red, y las emisiones de contaminantes. Sólo en Sabadell y Terrassa se observa una disminución de la congestión y las emisiones.

Llama la atención la no afectación de los tiempos de viaje, ni del suelo artificializado. Esto habla de un ajuste del sistema, es decir, que si los costos de interacción aumentan, se produce una relocalización, volviéndose a un estado de relativo equilibrio.

En la Figura 7 se muestra la distribución espacial de los efectos producidos por el proyecto 22@ sobre algunos de los indicadores de estado del escenario tendencial.

Figura 7. Efecto del proyecto 22@ en los Indicadores de presión por congestión en la red, de emisión de PTS en la red, sobre el suelo artificializado y sobre el consumo eléctrico

superior izquierda) es poco significativa, mostrando aumentos relativos en algunos municipios del Maresme.

Respecto de la emisión de PTS en la red (figura superior derecha), también se aprecia un aumento poco significativo, preferentemente a lo largo del Maresme hasta Malgrat de Mar y Palafolls.

En relación a la presión sobre el suelo artificializado (figura inferior izquierda), se aprecia que el efecto del 22@ es reducir significativamente la presión en los municipios del Alt Penedès, y aumentar la presión en los municipios del Baix Llobregat, y en torno a La Garriga.

En la presión sobre el consumo eléctrico, el proyecto 22@ genera una disminución generalizada de la presión, registrándose aumentos en municipios específicos del Maresme (Badalona, Montgat, y Tiana), y lógicamente en Barcelona.

Se podría resumir que los efectos del proyecto 22@ es una captura de actividades económicas de todos los municipios de la RMB, y una difusión de viviendas (asociadas a estos empleos), en el área funcional hogar-trabajo del municipio de Barcelona.

Para comparar los efectos de los distintos proyectos en el escenario tendencial 2009-2024, se presenta la Tabla 18 con los valores comparados para los cuatro municipios más grandes de la RMB.

Tabla 18. Comparación de la modulación del Escenario tendencial 2009-2024 por los proyectos orbital B-40 y 22@

		RMB			Barcelona			Hospitalet			Sabadell			Terrassa		
		Tendencial	B-40	22@	Tendencial	B-40	22@	Tendencial	B-40	22@	Tendencial	B-40	22@	Tendencial	B-40	22@
Indicadores de las actividades	Presión demográfica	2,31	1,79	3,46	-1,94	-2,19	0,01	-1,94	-2,19	0,01	9,13	7,06	8,60	12,54	8,23	10,55
	Presión económica	5,89	5,89	6,69	-6,27	-6,26	-2,40	-6,27	-6,26	-6,27	17,34	17,32	15,70	18,46	18,44	16,81
	Presión residencial	5,78	5,41	7,29	1,22	1,05	3,32	1,22	1,05	3,32	14,54	12,99	14,82	16,04	12,86	15,24
	Presión por superficie de techo	7,61	7,41	8,45	-1,96	-2,06	0,89	-2,15	-2,25	-1,00	15,63	14,67	15,16	17,01	15,11	15,87
	Presión por suelo artificializado	10,94	10,80	10,91	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	15,66	14,72	15,17	16,99	15,04	15,86
	Presión sobre el consumo eléctrico	9,17	9,07	9,65	-4,32	-4,37	-0,72	-4,71	-4,75	-4,12	17,67	17,06	16,62	20,89	20,02	19,17
	Presión sobre las emisiones ambientales															
	CO2	5,82	5,45	7,31	1,16	0,98	3,27	1,18	1,00	3,26	14,57	13,03	14,83	16,06	12,91	15,26
	NOx	5,90	5,53	7,36	1,05	0,88	3,19	1,09	0,91	3,15	14,61	13,10	14,84	16,09	12,99	15,28
	PTS	5,80	5,43	7,30	1,20	1,03	3,30	1,21	1,03	3,30	14,55	13,01	14,83	16,04	12,88	15,25
Indicadores del transporte	Tiempo de viaje	21,89	15,89	21,95	15,76	12,30	15,90	19,67	17,05	19,99	20,41	7,83	21,05	23,16	6,14	23,01
	Presión sobre Velocidad media	0,70	2,38	0,65	3,49	3,70	3,23	-0,36	-0,29	-0,60	33,36	48,15	33,53	11,64	25,37	11,72
	Presión de congestión en la red	-13,04	-19,37	-12,55	2,57	1,74	4,12	5,83	5,59	7,81	-19,84	-46,67	-19,68	-1,28	-46,87	-2,28
	Presión de flujo en la red	-2,26	-4,34	-1,83	2,43	2,06	3,31	3,42	3,40	4,52	-16,83	-4,03	-16,94	-7,34	-23,28	-7,83
	Presión energética por combustible en la red	-4,86	-6,04	-4,34	-0,51	-1,26	0,89	2,36	2,19	3,50	-8,73	14,14	-9,14	10,03	-1,16	9,60
	Presión ambiental por emisiones de contaminantes en la red															
	CO2	-4,86	-6,04	-4,34	-0,51	-1,26	0,89	2,36	2,19	3,50	-8,73	14,14	-9,14	10,03	-1,16	9,60
	NOx	-3,58	-3,76	-3,18	1,74	1,18	2,86	1,03	0,98	1,94	-1,77	39,00	-2,21	21,82	21,78	21,55
	PTS	-4,81	-5,82	-4,44	1,48	0,99	2,48	1,46	1,37	2,54	-3,57	25,81	-4,07	15,16	6,41	14,82

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se observan los efectos comparables de los proyectos analizados, en la modulación del escenario tendencial. Además las magnitudes son comparables, por lo que se puede visualizar claramente el peso de uno u otro proyecto en la modulación del escenario base. Así, se pueden plantear algunas consideraciones interesantes:

- El efecto sistémico o indirecto de un proyecto urbanístico (como es el proyecto 22@) en la situación del sistema de transporte. Un ejemplo de esto es lo que ocurre en Sabadell, en donde la orbital B-40 aumenta emisiones de contaminantes, mientras que el 22@ las disminuye, en magnitudes claramente menores, por la esencia propia de cada proyecto. Otro ejemplo de esto es en la presión por congestión y flujo en el municipio de Terrassa, en donde ambos proyectos disminuyen la presión.

- El efecto sistémico de un proyecto de transporte en la estructura de actividades. Por ejemplo las disminuciones de presiones demográficas y residenciales que produce la orbital B-40, lo que se traduce en las disminuciones de presión por techo, y emisiones contaminantes de las actividades. Un ejemplo es el municipio de Terrassa, en donde la presión demográfica disminuye más por la orbital B-40 que por el proyecto 22@.

En la Figura 8 se muestra el efecto comparado, producido por la orbital B-40, en la presión de emisiones de CO₂ tanto de actividades como por efecto de los flujos en la red.

Figura 8. Efecto comparado del proyecto B-40 sobre la presión de emisiones de CO₂ por actividades y por el transporte

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 8 es un buen ejemplo de uno de los objetivos planteados por la investigación, en el sentido que se presenta el efecto de un mismo proyecto en dos contextos de presión ambiental distintos, que son la presión de emisiones de CO₂ producto de las actividades, y producto del transporte. Como se observa las estructuras de presión del escenario tendencial son claramente distintas, y los efectos del proyecto también. En un caso asociado a los efectos de aumento de flujos en el proyecto en sí, y en el otro producto de la relocalización de viviendas dadas los beneficios en los tiempos de viaje. Es así que un mismo territorio, por ejemplo, en torno al proyecto, ve aumentada su presión por efectos de los flujos (en donde las presiones son medias), y a su vez disminuida la presión por efecto de la relocalización de viviendas (en donde las presiones son altas). Claramente estos efectos se producirán en períodos distintos, uno (los del flujo) a corto plazo, y el otro (las viviendas) a

mediano o largo plazo. Lo interesante del resultado es que los efectos son cuantitativos, y comparables entre ellos, lo que hace posible su incorporación en procesos y métodos de evaluación tradicionales, para ser considerados en la toma de decisión.

4. Conclusiones

Respecto de lo expuesto en este artículo se pueden sintetizar las siguientes conclusiones:

- Los modelos calibrados en el contexto de Evalúaimpact muestran buenos indicadores de ajuste, además de una clara coherencia conceptual con los fenómenos que modelan.
- Se reporta la primera aplicación del modelo Evalúamet, la que está condicionada por una cantidad significativa de supuestos de modelación, en la conformación del escenario base de evolución de la RMB. A pesar de lo anterior, los resultados resultan ser relativamente válidos, con algunos comportamientos particulares que se encuentran en etapa de revisión.
- El proceso de evaluación de los proyectos muestra algunos valores bastante coherentes, y otros que requieren una segunda revisión. Sin embargo, la evaluación mostró flexibilidad, entregando una dimensión sistémica de los efectos que producen los proyectos. Al manejar distintas dimensiones, se puede seguir la traza del efecto del proyecto, y buscar la explicación en cada indicador de estado.
- Los indicadores de estado definidos son particulares de la aplicación realizada, y tienen sentido en la medida que se quiere visualizar las externalidades ambientales producto de la localización de actividades en comparación a las externalidades por el sistema de transporte. Sin embargo, el modelo genera muchas variables que pueden ser utilizadas para construir otro tipo de indicadores, con otros objetivos.
- La aplicación del modelo Evalúamet presenta altas potencialidades para evaluar variaciones de un mismo proyecto (configuraciones, localización, etc.), más que la existencia o no del mismo. Así también, se tiene la posibilidad de evaluar las sinergias de combinaciones de proyectos en la generación de las distintas externalidades.

Finalmente, como grupo de investigación creemos que este es el primer avance para perfeccionar el sistema, que cumple con todos los objetivos propuestos inicialmente y que sienta las bases para evaluar efectos indirectos, que potencialmente pueden ser incorporados en las evaluaciones económicas tradicionales vía la disposición a pagar de la sociedad por evitar o compensar a territorios específicos en términos de las ineficiencias que se producen, logrando así una equidad distributiva de las externalidades energéticas y ambientales.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la ayuda recibida del Ministerio de Fomento (gestionada por el actual Ministerio de Economía y Competitividad, MINECO) E80/08 “Modelo de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, de la movilidad y la estructura de usos de suelo, para la Región Metropolitana de Barcelona “Evaluámet”. Proyecto del cual se desprende el presente documento.

Bibliografía

GENERALITAT de Catalunya. *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya 2001*. [En línea] Fecha de consulta: 02/04/2010. Disponible en: <<http://www.idescat.cat/cat/idescat/publicacions/cataleg/pdfdocs/csea2001.pdf>>. 2009.

MARMOLEJO, C. y CERDA, J. *La densidad-tiempo: otra perspectiva de análisis de la estructura metropolitana*. En: *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XVI (402), 2012. ISSN: 1138-9788.

PALMA, R. et al. *A day-ahead energy market simulation framework for assessing the impact of decentralized generators on step-down transformer power flows*. En: *Electrical Power and Energy Systems*, 35: 10-20, 2012.

POZUETA, J. *Movilidad y planeamiento sostenible: Hacia una consideración inteligente del transporte y la movilidad en el planeamiento y el diseño urbano*. Red de cuadernos de investigación urbanística. Madrid, Instituto Juan Herrera ed, 2000. 97 p.

RUEDA, S. *Modelos de ordenación del territorio más sostenible*. [en línea] Fecha de consulta: 02-04-2010. Disponible en: <<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/asrue.html>>. 2003.