

Cerda et al. Eficiencia energético-ambiental usos y movilidad

Modelo de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, de la estructura de actividades y la movilidad

Región metropolitana de Barcelona

Diseño funcional y resultados parciales

Jorge CERDA¹; Carlos MARMOLEJO¹; Yraida ROMANO¹; Manuel RUIZ¹; Claudia PEREZ¹; Josep ROCA¹

¹Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña
Av. Diagonal 649, 08034 Barcelona, Spain
34-934054385, jorge.francisco.cerda@upc.edu, carlos.marmolejo@upc.edu

Keywords: eficiencia, ambiental, energética, actividades/movilidad

Introducción

En las últimas décadas las metrópolis del sudoeste europeo han experimentado un proceso de dispersión territorial. Los ratios de consumo de suelo se han disparado a la par que los territorios costeros y agropecuarios que las rodeaban se han visto afectados por la expansión urbana [7].

En este contexto, se presenta el desafío de evaluar, monitorear y predecir algunas de las externalidades más importantes bajo un enfoque integral del fenómeno, por tal de detectar los elementos que restan eficiencia al sistema territorial, adelantar los impactos negativos de planes o programas y en su caso mitigarlos con medidas preventivas antes de que se implementen efectivamente.

En relación al transporte, la tradicional visión de sostenibilidad reduce el enfoque a una dimensión tecnológica, sin dar la real dimensión sistémica del fenómeno de la movilidad en las ciudades, ya que la elección modal es el efecto de una secuencia de factores que tienen que ver con la estructura de actividades en la ciudad, y sobre todo, con el comportamiento de la población.

En la práctica, las políticas de infraestructura y transporte a nivel metropolitano se han basado esencialmente en los resultados de modelos de transporte clásicos (cuatro etapas), en donde la optimización ha recaído fundamentalmente en los aspectos relacionados con la eficiencia privada (de los operadores y de los usuarios) en lo referente a costes generalizados. En la última década se han incorporado otros indicadores de evaluación a los proyectos, que surgen de la misma estructura de modelación de transporte, como pueden ser la disminución de emisiones de contaminantes atmosféricos, la disminución de accidentes, etc. [1][2]

Por otra parte, la modelación de transporte considera en forma exógena, la estructura de actividades que existirá en la ciudad para la situación base, y para los distintos períodos de corte a considerar en la evaluación [4].

En general, esta metodología se ha aplicado en la elaboración de distintos planes de transporte e infraestructura en España, y específicamente en Barcelona (Plan

Director de Infraestructura del transporte público y colectivo para la Región Metropolitana de Barcelona 2001-2010).[1]

Propuesta de investigación

Por lo anterior se propone la construcción de un modelo de sostenibilidad funcional de áreas metropolitanas, basado en un modelo integrado de transporte y uso del suelo que permita evaluar explícitamente la eficiencia social, y sobre todo la eficiencia ambiental del funcionamiento de las ciudades en relación a los flujos y a las actividades instaladas en los territorios.

El ámbito de implementación del modelo es la Región Metropolitana de Barcelona, y la unidad de análisis son sus 164 municipios.

Diseño funcional del modelo matemático

En concreto tres son los pilares en los que se sustenta el modelo: 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.

El modelo o secuencia conceptual diseñada para enfrentar esta problemática presenta la siguiente estructura:

- El **primer** paso es determinar la localización de actividades (tanto económicas como residenciales). En la lógica de localización de dichas actividades actúan patrones demográficos de la población (estadísticas vitales, tasas de ocupación, tasas de conformación de hogares), los cupos espaciales para las distintas actividades (en función de planes y normas urbanísticas), y también el comportamiento de interacción espacial en el territorio (cambio de residencia, movilidad cotidiana laboral). 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 se modela la estructura de interacciones (transporte) inducida por el ordenamiento de las actividades residenciales y económicas. Para esto, primero se determinan los totales de viajes generados y atraídos en cada territorio, luego se distribuyen dichos viajes, para finalmente asignarlos a la red de interacción disponible (la que depende de distintos escenarios de intervenciones). Será la red, con sus costos de interacción, la que influya en la localización de actividades antes presentada.
- 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 **cuatro** paso se relaciona a la estimación de las *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.

El modelo evalúa la situación ambiental y energética de un ordenamiento base del sistema de actividades-interacciones, y luego las variaciones producidas por la implementación (por separado y en conjunto) de distintos planes de ordenamiento de actividades (planes urbanísticos) y planes de infraestructura de transporte.

La mensuración de la eficiencia no es un tema simple [5][6]. En este estudio se han determinado dos estrategias de evaluación que son la referida a la situación base (es decir el enfoque con y sin proyecto), y la referida a una situación óptima (matemática). Los indicadores de eficiencia son esencialmente espaciales, por lo que se concluye respecto de la eficiencia espacial del sistema, o de la equidad en la distribución espacial de las externalidades ambientales.

El diagrama de flujo del modelo matemático que sustenta al modelo conceptual se presenta en la figura 1.

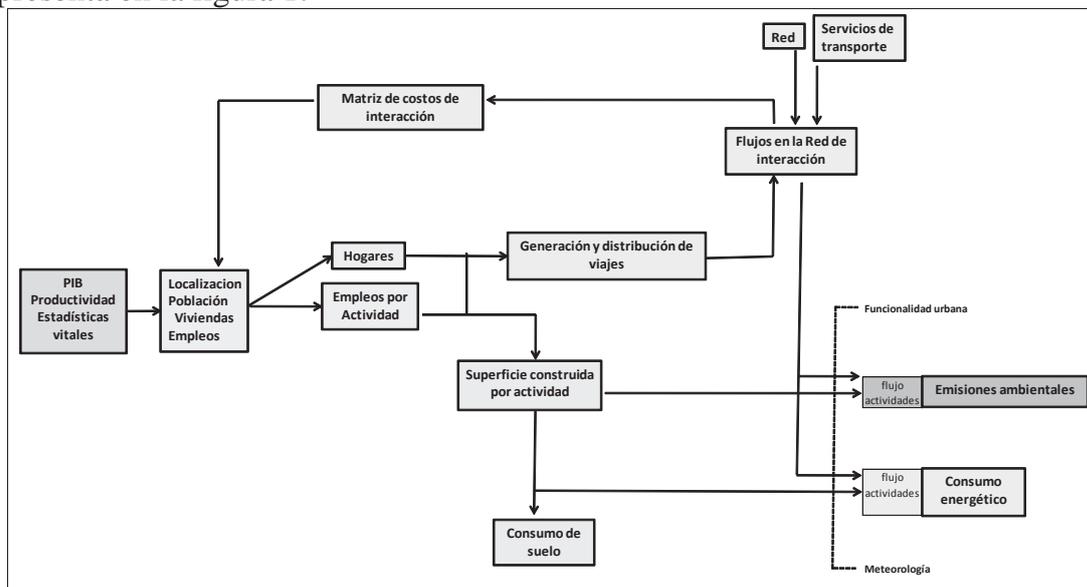


Figure 1: Diagrama de flujo del modelo matemático

Los distintos pasos y submodelos del diseño matemático se presentan brevemente a continuación.

- PIB, productividad, y estadísticas vitales; parámetros externos al modelo que surge de fuentes nacionales.

- Localización de población viviendas y empleo; este es un modelo compuesto por un modelo demográfico por grupos etarios, combinado con un modelo gravitacional de cambio residencial (considera matriz de distancias). La estimación de la población ocupada residente se basa en proyecciones de la tasa de ocupación por edad. La estimación de las viviendas se hace en base a proyecciones de la tasa de principalidad por edad. La estimación de los empleos se hace con base en un análisis de balance por unidades territoriales funcional-laboral, y a la aplicación de un modelo gravitacional acotado a origen (considera costos de interacción).
- Hogares; se considera un hogar por vivienda, y se aplica una matriz de probabilidad de pertenencia a una categoría socioprofesional de su principal. La categoría socioprofesional es una variable proxy del nivel de ingresos.
- Empleos por actividad económica; a los empleos totales se le aplica una matriz de proporciones de actividad/municipio que proviene de un análisis de evolución espacial y temporal de índices de especialización de actividad económica.
- Generación y distribución de viajes; calibración y aplicación de modelos econométricos de atracción y generación de viajes. Posteriormente se aplica un modelo gravitacional doblemente acotado de distribución de viajes. Finalmente a la matriz de viajes totales se le aplican matrices (empíricas) de partición modal.
- Flujos en redes de asignación; las matrices por modo se asignan a la red de interacción en base a un modelo de asignación para una red capacitada, con el método de equilibrio de tráfico. Las características de la red surgen de la conformación de distintos escenarios de inversión en infraestructura.
- Matriz de costos de interacción; surge del cálculo de una matriz de ruta mínima múltiple (todos contra todos), minimizando los costos de interacción (por arcos) que resultan luego del la asignación de viajes.
- Superficie construida por actividad; a los totales de empleo por actividad económica se le aplican estándares de superficie construida por actividad/municipio obtenidas de catastro.
- Consumo de suelo; modelo econométrico que predice el consumo de suelo (artificialización) con base en las superficies construidas por actividad.
- Consumo energético de actividades; serie de modelos econométricos que predicen el consumo eléctrico anual, para distintas actividades, en función de la superficie construida y de variables meteorológica y de funcionalidad urbana.
- Consumo energético de flujos; consumo de combustible y energía, es resultado del modelo de asignación de transporte.
- Emisiones ambientales de las actividades; aplicación de estándares de emisión (de distinto tipo de contaminantes) por superficie de cada actividad.
- Emisiones ambientales de flujos; aplicación de estándares de emisión por tipo de vehículo, es el resultado del modelo de asignación de transporte.

Algunos resultados; modelos de consumo por actividades localizadas

El fenómeno del *consumo*, tanto de suelo como eléctrico, se puede ver en forma inversa, como una *producción* de suelo artificial y de demanda eléctrica respectivamente. Al adoptar este enfoque (producción), la estructura econométrica más utilizada es la que plantea la función Cobb-Douglas (función de producción neoclásica por excelencia) [3]. De manera general, este modelo 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.

La estructura econométrica original fue modificada de manera de incorporar variables territoriales relevantes para la medición posterior de eficiencia.

Los ajustes logrados por los modelos son del orden del 70%. Las variables predictoras principales son las superficies de techo por actividades. La tasa de consumo eléctrico incorporan variables meteorológicas (preferentemente la temperatura mínima de verano), y de funcionalidad urbana (tiempo medios de compras, de trabajo, etc.). En el consumo de suelo, resulta ser significativa la estructura de actividades en el territorio, donde las actividades de residencia unifamiliar e industrias, aumentan la tasa de consumo, mientras que los comercios y servicios la disminuyen.

Comentarios finales

En base al estado actual de implementación del modelo, se pueden plantear los siguientes comentarios:

- El diseño funcional del modelo se ha adecuado a la disponibilidad de información para los distintos tipos de modelos y procedimientos.
- Un factor importante que surge de lo realizado es que es necesario mantener la coherencia en todo el procedimiento, en relación a las escalas y complejidad de los distintos modelos/análisis. Esto quiere decir que se deben utilizar técnicas pertinentes en cada tema, pero que no sean desarrollos complejos, ya que se requiere que las entradas y salidas sean coherentes entre ellos, para lograr la integración. Si posteriormente se ve la utilidad y necesidad, se podrían desarrollar modelos específicos más complejos, en pos de mejorar la representación de cada variable o externalidad.
- Los modelos ya implementados presenten buen desempeño, en general. Pues aunque los errores sean significativos, el hecho de utilizarlos para evaluar el efecto diferencial de la situación con y sin proyecto, resta el error de la estimación absoluta, dándole una mayor validez a la medición del efecto de un proyecto o plan.

Agradecimientos

El estudio está financiado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España. El autor principal cuenta con el apoyo del Comisionado para Universidades e Investigación del Departamento de Innovación, Universidades y Empresa de la Generalitat de Cataluña y del Fondo Social Europeo.

Bibliografía

- [1] **Autoritat del Transport Metropolità** (2007), Pla Director de Mobilitat, Barcelona. Online. http://www.atm.cat/cat/apartado3/ap3_04.htm
- [2] **Banco Interamericano de Desarrollo** (2006), Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte, Washington D.C., pp. 188. Online. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1037792>
- [3] **Gujarati, D.** (2003), *Econometría*. Fourth edition, Mc Graw-Hill Interamericana ed.
- [4] **Hunt, J.D. et al.**, (2005), Current Operacional Urban Land-use-transport Modelling Frameworks: a review. *Transport Reviews*, 25(3), pp. 329-376.
- [5] **Pozueta, J.** (2000), *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: Instituto Juan Herrera ed. 97 p.
- [6] **Rueda, S.** (2001), *Modelos de ordenación del territorio más sostenible*. Working paper, Zaragoza.
- [7] **Travisi, C., Camagni, R. Nijkamp, P.** (2006), *Analysis of environmental costs of mobility due to Urban Sprawl – A Modelling Study on Italian Cities*. Tinberger Institute, Discussion Paper [en línea] <http://dare.uvu.vu.nl/bitstream/1871/9836/1/06042pdf>