MODELO DEMÓGRAF-ECONÓGRAF SOBRE LA PROSPECTIVA DEMOGRÁFICA, NECESIDAD DE VIVIENDA, Y EMPLEO

CARLOS MARMOLEJO DUARTE, JORGE CERDA TRONCOSO Y JOSEP
ROCA CLADERA

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y
Entorno [en línea]. 2012, Año 7, núm. 19 Junio. P. 157-186

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

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n19/articles_pdf/ACE_19_SE_24.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/12350>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

DEMÓGRAF-ECONÓGRAF MODEL ON POPULATION, HOUSING NEED AND EMPLOYMENT PROSPECTS

Keywords: demography, prospective analysis, housing need.

Abstract

The purpose of this paper is to present the set of algorithms that underlie the Econógraf-Demógraf model as well as illustrate its application in Catalonia as a territorial framework of the Metropolitan Region of Barcelona. The model has the task of prospective analysis on population trends, housing needs and employment. The main peculiarity is its intrinsically spatial character. As mentioned in the main article of the EVALUAMET project, the Demógraf-Econógraf model feeds from the outputs of the SIMCAT model in terms of transport times, and in turn supplies the Evaluaimpact model which quantifies some of the environment impacts produced by the implementation of new road infrastructure and urban projects, under an approach of environmental and social efficiency.

MODELO DEMÓGRAF-ECONÓGRAF SOBRE LA PROSPECTIVA DEMOGRÁFICA, NECESIDAD DE VIVIENDA, Y EMPLEO

MARMOLEJO DUARTE, Carlos¹

CERDA TRONCOSO, Jorge

ROCA CLADERA, Josep

Remisión inicial: 15-3-2012

Remisión definitiva: 16-6-2012

Palabras Clave: demografía, análisis prospectivo, necesidad de vivienda.

Resumen

El objetivo del presente documento es exponer el conjunto de algoritmos que subyacen en el modelo *Demógraf-Econógraf* así como ilustrar su aplicación en Cataluña como marco territorial de la Región Metropolitana de Barcelona. El Modelo tiene por cometido realizar análisis prospectivos sobre la evolución de la población, las necesidades de vivienda y el empleo. La principal peculiaridad del mismo es su carácter intrínsecamente espacial. Como se ha mencionado en el artículo general del proyecto EVALUAMET, el modelo *Demógraf-Econógraf* se alimenta de los outputs del modelo SIMCAT en lo que se refiere a los tiempos de transporte, y a su vez alimenta al modelo *Evaluaimpact* el cual permite cuantificar algunos de los impactos ambientales producidos por la implementación de nuevas infraestructuras viarias así como proyectos urbanísticos, bajo un enfoque de eficiencia ambiental y social.

1. El encaje general del modelo

Demógraf-Econógraf es un modelo que se integra dentro del sistema Evaluamet que tiene por objeto poder evaluar algunos indicadores sobre la eficiencia ambiental de las nuevas infraestructuras viarias así como proyectos de índole urbanística. A su vez éste modelo está integrado por dos submodelos: *demógraf* y *econógraf*. El objetivo del primero es brindar escenarios territorializados sobre la evolución de la población asentada en el año de origen, para lo cual analiza la evolución natural y migratoria (dentro del sistema territorial) de la población. El objetivo del segundo es brindar escenarios territorializados sobre la evolución de las necesidades de vivienda principal a partir de considerar no sólo la evolución de la población originalmente asentada en el sistema territorial, sino también, nuevas migraciones y/o emigraciones económicas y, por tanto, asociadas a la evolución del mercado de trabajo. La conjunción de ambos submodelos, es decir, *Demógraf-Econógraf*, permite adelantar

¹ **Carlos Marmolejo Duarte:** Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal, 649, 4ta, 08028, Barcelona. Email de contacto: carlos.marmolejo@upc.edu

prospectivas sobre la evolución de la población, el empleo y las necesidades de vivienda desde una perspectiva territorializada.

Los orígenes más remotos de *Demógraf-Econógraf* hay que buscarlos en el trabajo pionero de Josep Maria Carrera y Maria Antonia Monés (2003). Dichos autores aunaron por vez primera en el contexto de los modelos demográficos existentes en el Estado Español el vector económico para explicar los importantes flujos migratorios que en los albores del presente siglo empezaron a dominar el escenario demográfico español. Dicho modelo fue re-elaborado por Carrera² en el escenario del predimensionamiento del programa territorial de la anterior legislatura en Cataluña. Por otra parte, a partir del año 2003 el Centro de Política de Suelo y Valoraciones (en adelante, CPSV) empezó a incursionar en el modelamiento de las necesidades de vivienda principal a partir del modelo original Carrera-Monés. Así, en Roca y Marmolejo (2004) se brindó un primer panorama de la prospectiva territorializada de demanda de vivienda. En Marmolejo y Roca (2006) se incluyó un modelo de distribución futura de la actividad económica; y en Marmolejo y Roca (2004) se mejoró el modelo al incluir la movilidad de las personas (aunque sin incorporar un modelo sino simplemente reproducir las pautas observadas en el año 2001) y los cambios residenciales expectantes a partir del análisis del registro de solicitantes de vivienda pública. De esta manera, al iniciar el proyecto EVALUAMET se contaba ya con un bagaje en la creación de este tipo de modelos pero, sin embargo, había retos importantes. Como por ejemplo el tratamiento demográfico de la población migrante en el sentido de incorporar los procesos de reagrupamiento familiar y su propia natalidad, la creación de un modelo de movilidad residencia trabajo capaz de poder estimar con mayor exactitud los déficits territorializados de mano de obra y, sobre todo, la necesidad de sustituir las matrices de distancia, hasta entonces utilizadas, por matrices de tiempo capaces de internalizar plenamente el funcionamiento del sistema del transporte y por ende modelar los impactos territoriales devenidos de su mejora.

El objetivo del presente documento es realizar un resumen técnico así como una aplicación del modelo. Para ello, en una primera instancia se presenta el submodelo *Demógraf*, luego el *Econógraf*, para después analizar su implementación en Cataluña. Este documento acaba discutiendo las potencialidades y limitaciones del modelo.

2. El submodelo *Demógraf* sobre la evolución natural y migratoria interzonal de la población asentada en el año origen

Demógraf es un modelo de movimiento migratorio-natural de la población asentada en el año de origen, permite estimar la población por estratos de edades y localizaciones en el futuro partiendo de la localización de la población en el momento presente, las pautas migratorias (cambios residenciales) entre zonas dentro del sistema territorial observadas históricamente y los patrones de mortalidad y fecundidad.

El modelo trabaja con dos componentes esenciales que son: el movimiento migratorio interzonal y el movimiento natural. El movimiento migratorio interzonal no tiene en cuenta la inmigración desde el extranjero, ya que de ésta se encarga el submodelo *Econógraf*. Es decir,

² Consultar en página web del Instituto de Estudios Regionales (www.iernb.uab.es).

Demógraf es un modelo de tipo espacial-temporal, de manera que la evolución de la población puede seguirse en el tiempo y en el espacio de acuerdo a las tendencias asimiladas por los algoritmos de interacción espacial que subyacen en el interior del modelo y que se explicitarán a continuación.

2.1 El problema del tiempo

El periodo temporal de prospección es fundamental, porque las matrices de originales deben corresponder a bloques temporales similares (por ejemplo si se trabaja en bloques de diez años, entonces la estructura de edades, la tasa de fecundidad, mortalidad y las migraciones interzonales se deben construir para grupos decenales y por lapsos de diez años). El modelo básicamente emula el salto temporal-espacial de los bloques preestablecidos (por ejemplo, en qué zona j estará el bloque etario de 10 a 19 años de la zona i dentro de 10 años). Además se emula el movimiento natural (por ejemplo, cuántos de los integrantes del grupo de 10 a 19 años de la zona i habrán migrado y muerto después de emigrar de la zona j , o cuántos hijos habrán tenido después de emigrar, etc.). Los movimientos son condicionados por modelos gravitacionales, considerando la distancia temporal como costo de interacción espacial. Todo esto permite conocer la prospectiva de la población ante tres hipótesis fundamentales que son: la impedancia del espacio ante la migración, la tasa de fecundidad y la tasa de mortalidad. El hecho que sea el tiempo y no la distancia métrica el elemento de análisis conduce a poder introducir desde SIMCAT elementos relacionados con la gestión de las infraestructuras, así como la congestión consustancial a este tipo de servicios de transporte como se detalla en el artículo específico de dicho modelo.

En esta aplicación se ha elegido un lapso temporal de 5 años. Es decir, que partiendo del momento actual t , se puede obtener la población localizada en el momento $t+5$, $t+10$, etc. Cabe decir que, si bien internamente el modelo trabaja en bloques quinquenales, *los escenarios prospectivos son de 15 años*.

2.2 El movimiento migratorio entre las zonas del sistema territorial

El movimiento migratorio inter-zonal permite simular las migraciones entre zonas del sistema territorial (municipios, zonas de transporte, secciones censales) a partir de sus atractivos. En esta aplicación se ha decidido coger como unidades espaciales a los municipios debido a que la información de cambios residenciales, necesaria para calibrar los flujos interzonales, sólo está disponible para esta escala de análisis en las diferentes fuentes estadísticas

A - Calibración del modelo

La calibración se realiza con una matriz de migraciones origen-destino derivadas de las estadísticas de cambios residenciales disponibles. Los flujos entre cada zona i y cada zona j (F_{ij}) corresponden a la suma de flujos en un lapso temporal de 5 años. El objetivo de la calibración es bastante simple, se trata de ajustar dos parámetros que permitan que el modelo simule flujos residenciales que se aproximen a los reales. Los dos parámetros básicos a estimar son: alfa y beta. Alfa mide la intensidad de atracción de los destinos y beta mide la impedancia impuesta por la fricción del espacio.

La forma general del modelo de migraciones inter-zonales es la siguiente:

$$F_{ij} = Salidas_i * \frac{\frac{Atr_{j-t}^{\alpha}}{T_{ij}^{\beta}}}{\sum_{k=1}^n \frac{Atr_{k-t}^{\alpha}}{T_{ik}^{\beta}}} \quad (1)$$

Dónde:

F_{ij} : es el flujo de migrantes inter-zonales (entre i y j) en el periodo t a $t+5$

T_{ij} : es el tiempo de viaje entre la zona emisora (i) y la receptora (j)

Atr_{j-t} : es un indicador del atractivo de la zona receptora (j)

$Salidas_i$: es la población dispuesta a salir (migrar) desde la zona (i)

B - Operativa del modelo de migraciones interzonales

En forma preliminar a la aplicación del modelo (1) es necesario conocer las migraciones desde i (salidas), para lo cual se aplica la tasa de migraciones por grupos quinquenales a la población (por grupos quinquenales de la zona), como lo expresa (2):

$$Salidas_i = \sum_{g=1}^n (pob_i_t_g1) * (taxs_i_t_g1) \quad (2)$$

Dónde:

$pobitg1$: es la población de la zona de origen i y en el momento t dividida por grupos de edades quinquenales (0-4, 5-9, 10-14, etc.)

$taxsitg1$: es la tasa de migraciones por grupos de edades quinquenales aplicable a la zona i

Para calcular la tasa de migraciones por grupos quinquenales hace falta resolver (3), para cada grupo de edades quinquenal.

$$Taxes_i_0-4 = \frac{\sum_{j=1}^n F_{ij_0-4_t_t+5}}{Pob_0-4_i_t} \quad (3)$$

Dónde

F_{ij} es la suma de salidas desde la zona i hacia todas las zonas j , durante el quinquenio histórico $t - t+5$, de un grupo quinquenal de edades.

C - Ejecución de las migraciones

Una vez conocidos los flujos salientes se aplica la ecuación (1) para estimar los flujos específicos de cada zona i a cada zona j . Los parámetros alfa y beta deben ser los mismos que se han obtenido en el proceso de calibración. Obsérvese que la migración se ejecuta por el total de migrantes, sin distinguir sus edades. La distribución por edades es un paso posterior, como se explica enseguida.

Una vez que el flujo global F_{ij} para el periodo t a $t+5$ ha sido estimado, se procede a repartir este flujo en grupos de edades en función de la distribución observada en los datos empíricos. De hecho, para facilitar las cosas y evitar distorsiones, se considera la composición de la estructura de edades global (todos los flujos que salen de i) y no la particular (todos los cuales salen de i para ir a un j específico). Asimismo, si se han utilizado los datos agrupados por más de una zona, se debe considerar esta distribución de edades. Cabe indicar que un grupo determinado de migrantes entre 0 y 4 años (por ejemplo) llegan a la zona de destino cuando tienen 5 a 9 años. Es decir, existe un doble salto temporal-espacial en una sola ejecución, como se ha indicado antes. Todo esto puede expresarse así:

$$F_{ij_5-9} = F_{ij_t_t+5} \frac{\sum_{j=1}^n F_{ij_0-4}}{\sum_{j=1}^n F_{ij}} \quad (4)$$

Dónde

$F_{ij_t_t+5}$ es el flujo simulado por el modelo

F_{ij_0-4} : es el número observado de emigrantes de i con edades entre 0 a 4 años

F_{ij_0-4} : son todos los emigrantes desde i de todas las edades

El sexo del emigrante estará perfectamente correlacionado con la proporción de hombres o mujeres en cada zona i , de cada grupo de edades, en el momento de iniciarse la migración. Así, si en una zona i determinada en un grupo determinado de edades, hay un 50% de hombres, entonces los emigrantes de i serán un 50% hombres, y con la misma proporción de género llegarán a cada zona j . Este proceso de asignación de sexo a los migrantes es bastante simple y no toma en consideración los factores consustanciales al género en la toma de decisiones migratorias, ni tampoco las estrategias que en este sentido tienen las familias. Ésta es, por tanto, una simplificación del modelo y en esa medida una limitación para obtener resultados precisos.

2.3 El movimiento migratorio de la población asentada en el año de origen

El modelo de movimiento natural está en realidad estrechamente relacionado con el movimiento de migración interzonal. El modelo de movimiento natural tiene por objetivo principal estimar los nacimientos y las defunciones que se generan con el paso del tiempo (en el cual existe un trasvase espacial de población de carácter interzonal).

A - El cálculo de las tasas de fecundidad y mortalidad

La tasa de fecundidad es el cociente entre el número de niños y niñas nacidos en un año determinado y agrupados en grupos quinquenales según la edad de la madre, y el número de madres que había un año antes en cada área geográfica. La tasa de fecundidad no puede estimarse por microzonas por tres razones:

- Primero porque las áreas muy pequeñas sin servicios sanitarios no tienen, aparentemente, nacimientos;
- Segundo porque todavía y cuando los tuvieran estos serían poco consistentes;
- y tercero porque el hecho de coger un año antes la población implica que durante ese año pueden haber habido migraciones.

Por esto la tasa de fecundidad se debe calcular por grupos de zonas geográficamente consistentes (autocontenidas, demográficamente pobladas, con servicios sanitarios), como las provincias, los ámbitos de planificación territorial, las comarcas o los sistemas funcionales (es decir la agrupación de municipios siguiendo criterios relacionados con la movilidad). *Demógraf* trabaja con zonas funcionales para calcular las tasas de fecundidad. Véase en el siguiente epígrafe cómo se determinan dichas zonas funcionales.

$$Fec_{19-24_t} = \frac{Nac_{19-24_t}}{Mujeres_{18-23_{t-1}}} \quad (5)$$

Nótese en (5) que la tasa de fecundidad que utiliza *Demógraf* es anual por grupos de mujeres de cinco años, es importante señalar que con ello se está haciendo la asunción que la fecundación ocurre un año antes del nacimiento, por este motivo existe un desfase entre la agrupación de edades del numerador y denominador de (5). Por otra parte, la tasa de mortalidad indica la probabilidad de muerte en un año determinado por cada grupo de cinco años y se calcula siguiendo (6).

$$Mor_{19-24_t} = \frac{Muertes_{19-24_t}}{Pob_{19-24_t}} \quad (6)$$

Las mortalidades deben calcularse por sexos. En realidad tanto las tasas de fecundidad como las tasas de mortalidad cambian con el paso del tiempo. Así las tasas son distintas para el momento t con respecto al momento $t-5$. Por lo tanto, se deben calibrar con datos empíricos tanto (5) cómo (6) para los momentos t y $t+5$. Las tasas a aplicar son precisamente los promedios entre las tasas extremas de cada grupo.

Para proyectar las tasas al futuro el sistema debe permitir introducir hipótesis de ajuste por grupos quinquenales de edad. Una vez que se han calculado las tasas de fecundidad y mortalidad para cada grupo de zonas i , se han de aplicar en dos fases: primero a los migrantes (es decir la parte de la población que ha emigrado desde un zona i a un zona j) y después a los no migrantes de cada zona i . Se ha de ir con cuidado en el sentido de aplicar las tasas correctas, el hecho que los flujos migratorios comporten, al mismo tiempo, un cambio de zona y de quinquenio de edad, puede contraer errores. Siempre se aplicarán tasas de fecundidad y mortalidad consustanciales a la zona origen i . Tanto la tasa de fecundidad (5) como la de mortalidad (6) se deben multiplicar por 5, porque el periodo temporal es de cinco años. Por simplicidad la tasa de nacidos hombres se ha fijado en un 52% según la moda estadística observada recientemente, sin embargo, el modelo permite variar esta hipótesis.

B - La recomposición de la población en el momento $t+5$

La última parte del bucle consiste a generar la suma de población diferenciada por sexo y por grupo quinquenal.

Para cada grupo quinquenal tenemos, por ejemplo:

Hombres de $15-19t+5 = (\text{Hombres}_{10-14t}) - (\text{defunciones masculinas}_{10-14t,t+5})$
- $(\text{emigraciones masculinas}_{10-14t,t+5}) + (\text{inmigraciones masculinas}_{10-14t,t+5})$
- $(\text{defunciones de las inmigraciones masculinas}_{10-14t,t+5})$.

En el caso del grupo de menos de 5 años, se deben tener en cuenta los nacimientos tanto de la población que no se mueve como de la población inmigrante. Así, como las defunciones que correspondan a dichos nacidos vivos. Recuérdese que las tasas de fecundidad que se consideran son las del lugar de origen i .

El *output final* del sistema, en esta primera fase, es la población por sexo, grupo de edad quinquenal, para cada zona considerada.

El tiempo de computo para la calibración y replicación de Demógraf, tras alimentarlo de los datos de partida, es de aproximadamente 36 horas para el conjunto del sistema territorial catalán utilizando un ordenador de sobremesa convencional.

3. El submodelo *Econógraf* sobre la evolución de las migraciones/emigraciones externas, las necesidades de vivienda y el empleo

El submodelo *Econógraf* se alimenta de los resultados del submodelo *Demógraf* en el sentido de partir de la evolución de la población en los diferentes momentos temporales prospectivos. Puesto en simple el modelo transforma la población en Población Ocupada Residente (en adelante, POR) mediante las tasas de ocupación específica de cada uno de los grupos etarios y momentos futuros. Dichas tasas pueden ser modificadas en función del conocimiento del modelador. La POR es la oferta previsible de mano de obra derivada de la natural evolución de

la población que estaba asentada en el año de inicio de la prospección. Por otra parte el modelo parte de unas hipótesis de crecimiento de la producción y la productividad. La creación/destrucción de empleo depende de la interacción de ambas tasas, por ejemplo si la tasa de crecimiento de la producción es menor que la tasa de crecimiento de la productividad entonces hay destrucción de empleo y viceversa. Así, se estima la demanda agregada de mano de obra en el sistema territorial. Si la oferta supera a la demanda entonces hay una emigración hacia fuera del sistema territorial, y si como había ocurrido en los últimos quinquenios hasta el año 2009 la demanda supera a la oferta, entonces se abren las puertas a recoger nueva población inmigrante. De esta manera se calcula la población total, es decir, aquella que evoluciona a partir de la población que estaba asentada en el momento de inicio de la prospección mas/menos aquella que tendrá motivos para emigrar/inmigrar en función de los superávit/déficit del mercado laboral.

La población total es transformada en hogares mediante la utilización de la técnica de las tasas de principalidad, es decir, ponderándola por un indicador del consumo de vivienda per cápita. Dichas tasas tienen en cuenta, naturalmente, los grupos etarios y la localización de la población, pero también las diferencias posibles entre la población asentada en el año de origen y aquella que eventualmente podría inmigrar en función de los criterios anteriormente señalados. La principal novedad de *Econógraf*, frente a otros modelos, es su naturaleza intrínsecamente espacial. De esta manera que los vectores de demografía, economía y vivienda se calculan a una escala microterritorial. Dichas unidades de estudio responden no a las unidades administrativas convencionales (p.e. municipios) sino a ámbitos funcionales en dónde existe cierta convergencia entre el mercado de trabajo y el mercado de la vivienda, debido a que estos son dos de los elementos principales del modelo. A continuación se describen los algoritmos y criterios subyacentes.

3.1 Las unidades de análisis de *Econógraf*

Como se ha explicitado, el hecho de que el modelo tiene por objeto brindar escenarios sobre la posible evolución de la población total, la vivienda principal y el mercado de trabajo, ha hecho imperante la consideración de ámbitos especiales en dónde exista cierta convergencia de los mercados anteriores. Por tanto, a partir del análisis de la movilidad residencia trabajo se ha creado un sistema de adscripción funcional de los municipios para generar ámbitos más autocontenidos que han sido denominados *protosistemas*.

De esta manera en Evaluamet se han usado dos unidades de análisis. En el modelo de movimiento natural-migratorio intrazonal (*Demógraf*) se han utilizado municipios, y en el modelo de movimiento migratorio (*Econógraf*) los así llamados protosistemas (Roca y Moix, 2004). En el primer modelo se usan municipios con el objeto de tener una visión más detallada de la evolución espacial de la población que estaba asentada en el territorio en el año de inicio, es decir, el 2009. En cambio en el modelo de movimiento migratorio (y en sus modelos anidados) se utilizan protosistemas puesto que el mercado de trabajo, cuya naturaleza es claramente supramunicipal, constituye en este modelo un elemento decisivo en los cálculos realizados.

Los protosistemas son los conjuntos de municipios fuertemente interrelacionados por los flujos residencia-trabajo, es decir, son ámbitos en los cuales el mercado residencial y el de la

vivienda se complementan mutuamente. Su cálculo está basado en el Valor de Interacción (en adelante, VI) utilizado por Roca y Moix (2004), siguiendo el trabajo de Coombes y Openshaw en 1982.

El VI entre dos municipios i y j es definido así:

$$Vi_{ij} = \frac{F_{ij}^2}{POR_i LTL_j} + \frac{F_{ji}^2}{POR_j LTL_i} \quad (7)$$

En (7):

F_{ij} y F_{ji} son los flujos recíprocos entre los municipios i y j

POR es la población ocupada residente y LTL son los puestos o lugares de trabajo localizado.

Al estar en el denominador las masas de lugares de trabajo y población ocupada residente el flujo que relaciona a dos municipios se relativiza, al tiempo que las relaciones bidireccionales se consideran dada la naturaleza transitiva del indicador. A partir del VI es posible encontrar no sólo las fronteras espaciales de los protosistemas, y por extensión de las áreas metropolitanas (Roca y Moix, 2004), sino al mismo tiempo los subcentros que dan estructura al territorio (Roca *et al.*, 2009) en un procedimiento *de abajo hacia arriba* que consiste en:

- Agregar los municipios metropolitanos en función a su máximo valor de interacción. Lo anterior determina, por regla general, la unión a los municipios con mayor número de LTL (y, por tanto, candidatos a representar subcentros) de los municipios más vinculados.
- Conformar esas agrupaciones en *protosistemas*. El proceso de agregación anterior culmina cuando se logra un sistema cerrado. Así, por ejemplo, si A, B y C tienen una máxima relación con D, conformarán un protosistema, tan sólo, si D tiene su máxima relación con A o B o C. En cambio si D tiene su máxima relación con E, *gravitan* todos ellos hacia E, completando el protosistema si E tiene la máxima relación con alguno de los municipios a él agregados (sea D, o cualquier otro).
- Los *protosistemas* sólo se consolidan si son físicamente continuos. En caso contrario se corrigen las discontinuidades, forzando a los distintos municipios a integrarse en el protosistema con el que guardan un mayor VI.

De esta manera, con el uso de la matriz de movilidad derivada del Censo del año 2001, para los municipios de toda la comunidad autónoma catalana se ha reducido el número de municipios de 946 a 197 protosistemas.

3.2 La conversión de la población asentada futura en POR

Como se ha comentado anteriormente, el movimiento migratorio en *Econógraf* se refiere al de la nueva población inmigrante venida del exterior del sistema (eventualmente el sistema estima la población que podría emigrar por falta de oportunidades laborales). Con nueva población inmigrante nos referimos a la población que, en función de la capacidad de asimilación de nuevos ocupados del mercado laboral, es previsible inmigre desde fuera de Cataluña, aunque la igual, o en algunos casos más envejecida estructura de edades del resto de España, sugiere que en su inmensa mayor parte esta población sería de fuera de los límites del estado.

Como se ve este modelo parte de una hipótesis fundacional: la inmigración es, de manera integral, asemejada a una inmigración económica, y viceversa en caso de una eventual destrucción de lugares de trabajo. En este sentido, el modelo calcula el número de inmigrantes/emigrantes que, dadas las especificidades de la estructura demográfica actual y una hipótesis de crecimiento económico, el tejido empresarial en general es capaz de asimilar o desasimilar. Así, quedan fuera de las magnitudes aquí manejadas los flujos migratorios que se encuentren de paso, que no estén estabilizados laboralmente hablando (ni que objetivamente puedan estarlo) o que estén en situación de retorno potencial. La mecánica del modelo parte, en consecuencia, del déficit/superávit previsible de mano de obra. Para calcular dicho saldo es necesario conocer, primeramente, dos cosas: los niveles de participación de la población de origen en el mercado laboral (oferta) de cada uno de los n momentos futuros, y conocer el tamaño del tejido empresarial correlativo a cada momento (demanda). Mientras que la oferta puede ser conocida a través de la evolución demográfica de la población y su nivel de participación laboral, la demanda ha de provenir, necesariamente, de un escenario de crecimiento económico, que dadas la situación económica actual y las perspectivas que se vislumbran no es muy halagüeño.

En *Econógraf* los niveles de participación de la población de origen han sido calculados a partir de los datos censales, puesto que es la única información que permite localizar con cierta precisión a los ocupados en su lugar de residencia a escala municipal. Sin embargo, a escala macro han sido contrastados contra los datos derivados de la Encuesta de Población Activa. Así, el cruce de ocupados entre población total en edad de trabajar y por segmentos de edades permite conocer la tasa general de ocupación y las específicas referentes a cada segmento de la estructura demográfica. Para cada segmento de edades se tiene:

$$POR_i = (TOE_{20-24}) * POB_{i20-24} \quad (8)$$

Dónde:

POR_i es la población ocupada residente en cada zona i

TOE es la tasa de ocupación específica de cada grupo etario

POB_i es la población proyectada a cada momento futuro y localizada en cada zona i de residencia

La población previsiblemente ocupada discutida en el segmento anterior está localizada en el sitio de residencia. Es decir, se trata de POR. Sin embargo, para poder detectar los posibles déficits de trabajadores se debe conocer el lugar previsible de trabajo. Por ello ha sido necesaria la incorporación de un modelo de movilidad.

Para ello *Econógraf* utiliza un modelo de interacción espacial constreñido en origen del tipo:

$$F_{ij} = POR_i * \frac{\frac{LTL_j^{\alpha_j}}{T_{ij}^{\beta}}}{\sum_{k=1}^n \frac{LTL_k^{\alpha_k}}{T_{ik}^{\beta}}} \quad (9)$$

Dónde:

F_{ij} es el flujo de personas trabajadoras entre las zonas i y j
 POR_i es la Población Ocupada Residente de i
 T_{ij} es el tiempo de viaje entre i y j
 LTL_j son los lugares de trabajo localizados en cada destino j
 α_k es un parámetro de ajuste del atractivo de los destinos
 β es un parámetro de ajuste de la fricción del espacio

En (9) El tiempo entre cada zona i y j (que como se ha dicho en este caso son protosistemas) puede ser modificado por el modelo de transporte (SIMCAT), al considerar nuevas redes de transporte, mejoras en las existentes o una diferente carga de la red producida por un cambio en la estructura de la distribución espacial tanto del empleo como de la población.

A - Calibración del modelo

Para calibrar este modelo se ha usado información histórica de la matriz de movilidad residencia-trabajo del Censo de 2001 agregada a escala de protosistemas.

Cabe señalar que este modelo requiere se tenga una estimación de los lugares de trabajo localizados futuros de cada destino. Para ello es necesaria la activación del modelo reseñado en el siguiente punto.

3.3 El submodelo de distribución prospectiva de lugares de trabajo localizado

Por su parte, el escenario de crecimiento económico es territorializado a escala de sistemas funcionales (protosistemas) a través de un modelo de aglomeración y desaglomeración:

En desarrollo del modelo propuesto por el premio nobel de economía Paul Krugman, nuestra sugerencia es emplear un algoritmo plenamente gravitatorio, tal y como se ha hecho en Roca y Marmolejo (2006). Existe un vínculo intuitivo entre los conceptos de economías de aglomeración y atracción gravitatoria. Desde este punto de vista, las empresas (o más en general los *individuos*) desearían situarse cerca del resto de empresas (o individuos) a fin de beneficiarse de los *spillovers* positivos de tal tipo de relación. De esta forma cada lugar en el espacio atraería al conjunto de individuos localizados en otros lugares en función a un atractivo (o *campo gravitatorio*) directamente proporcional a la cuantía del producto de sus *masas* (el

número de empleos localizados espacialmente o la *población*) e inversamente proporcional a la distancia.

$$AT_i = \int_j A \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / T_{ij}^{r1} \quad (10)$$

Dónde

A es un parámetro que cuantifica la intensidad del atractivo gravitatorio

M la población (los lugares de trabajo locales en nuestro caso) de la localidad atraída (i) y atractora (j)

$k1$ y $k2$ constantes de ajuste del modelo³

d la distancia en términos temporales entre las dos localidades

$r1$ el grado en que la atracción se diluye con el tiempo de viaje. Este tiempo también es nutrido del modelo SIMCAT, con lo cual puede reflejar cambios producidos en el sistema de transporte.

Hasta aquí las economías de aglomeración. Menos evidente es el símil gravitatorio (o más precisamente *antigravitatorio*) para introducir las economías de desaglomeración. Nada de todo esto parece producirse en la realidad física⁴. Dicha introducción, sin embargo, viene obligada no sólo por el fenómeno manifiesto de las deseconomías resultantes de la congestión, una vez alcanzada una masa o densidad crítica, sino también por la mejora de la accesibilidad del conjunto del territorio. La valoración creciente, en la escala temporal, de las bajas densidades (el *consumo de suelo* en la aproximación de Alonso (1964)) se produce, en el contexto de una democratización progresiva de la accesibilidad, hecho que no sólo iguala potencialmente al conjunto del territorio (lo que podría representar la progresiva evolución de $r1$ hasta acercarse a 0) sino que, a su vez, implica el creciente atractivo del espacio *vacío* en cuanto portador de nuevos valores o externalidades, vinculados a la apetencia de bajas densidades. Sólo así pueden explicarse los fenómenos asociados a la periurbanización, contraurbanización o emergencia de las *edge cities*.

Nos vemos obligados, en consecuencia a todo lo anterior, a introducir junto a las *fuerzas centrípetas*, gravitatorias, otras de componente opuesta. *Fuerzas centrífugas* o antigravitatorias, que por motivos de simplicidad consideramos, como Krugman, de estructura o naturaleza idéntica (aunque de signo contrario). Así la ecuación puede describirse del modo que sigue:

$$AT_i = \int_j A \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / T_{ij}^{r1} - \int_j B \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / T_{ij}^{r2} \quad (11)$$

³ Los parámetros en cuestión se igualan a 1 o 0 en función al tipo de modelo deseado: a) si sólo deseamos que cuente la masa atractora de cada lugar " i ", $k1=1$ y $k2=0$; b) si, en cambio, se desea que cuente tan sólo la masa de cada " j ", $k1=0$ y $k2=1$; c) finalmente, en el caso más estrictamente gravitatorio, $k1=1$ y $k2=1$. En una aproximación más abierta, si $k1$ y $k2$ se determinan libremente, se trata de parámetros que ponderan el grado de intensidad de la atracción experimentada por las masas que integran el sistema.

⁴ Dicha afirmación debe matizarse a la luz de las últimas consideraciones realizadas en cosmología a fin de explicar la, al parecer, creciente velocidad de expansión del Universo; hecho que ha llevado a algunos científicos a hipotizar la presunta existencia de una fuerza antigravitatoria. No es necesario, sin embargo, navegar por el mar proceloso de la cosmología para aventurar la existencia de fuerzas centrífugas junto a las de carácter centrípeto. Las ciencias de la naturaleza están plagadas de estas situaciones basadas en dicha tensión "atractora" / "repulsora". Tal vez el ejemplo más evidente no sea, en este caso, el estrictamente basado en el símil gravitatorio sino eléctrico: la misma ecuación, sólo que con cargas eléctricas opuestas, es la que se utiliza en electrodinámica.

Cada localización del sistema regional urbano tendrá, por tanto, un *atractivo potencial* (ATP_i) en virtud del *atractivo medio*⁵ (ATM) del conjunto. Potencial que podrá ser positivo o negativo en virtud a la diferencia entre su atractivo y la media del sistema⁶.

$$ATP_i = AT_i - ATM \quad (12)$$

$$ATM = \int_i AT_i \cdot M_i \cdot di \quad (13)$$

Finalmente el carácter dinámico del sistema regional en el contexto de la modelización que aquí se propone se obtiene del siguiente algoritmo:

$$dM_i / dt = G \cdot (AT_i - ATM) / ATM \cdot M_i \quad (14)$$

Es decir, los trabajadores tenderán a trasladarse gradualmente desde las localizaciones con atractivos potenciales inferiores al medio hacia aquellas con atractivos superiores a dicha frontera. En (14) G es la *aceleración* del cambio temporal de las masas⁷. Por tanto una G más alta representará, para un determinado periodo temporal, una velocidad de evolución de la masa, ya sea de incremento, ya de reducción, más elevada⁸.

A - Calibración del modelo de distribución de LTL

En la práctica este modelo es calibrado con información histórica de los lugares de trabajo localizado. Para ello, se utilizan datos del Censo de 1991 y 2001 y una estimación de la distribución de los LTL para el 2009 basada en el análisis de la evolución de los diferentes regímenes de la Seguridad Social a escala de sistemas funcionales (*protosistemas*). Es importante señalar que en este modelo, al considerar intrínsecamente en su formulación la impedancia del espacio, se pueden introducir modificaciones devenidas de cambios en la red de transporte, así como en la estructura de la distribución espacial del propio empleo y la residencia, con incidencia en el sistema de movilidad.

3.4 El cálculo de los déficits/superávits de personas trabajadoras a escala territorial

Para cada sistema funcional se calculan los superávits o déficits. El procedimiento consiste en contrastar el número de lugares de trabajo localizados de cada momento n futuro, y la oferta localizada de mano de obra derivada de la proyección de la población asentada en el año de origen y de la evolución de las tasas de ocupación, todo ello matizado por el modelo de

⁵ En la ecuación (10) las masas han sido estandarizadas, de ahí que el atractivo medio pueda calcularse con una integral.

⁶ El atractivo medio del sistema podrá, a su vez, ser positivo o negativo en función al predominio de las fuerzas de aglomeración o desaglomeración.

⁷ Nótese la similitud existente entre la G de Newton y la que se deduce de (7). G , en la teoría física de la gravedad, es la aceleración que se imprime a los cuerpos en caída libre fruto de la atracción existente entre las masas de un sistema. En (11) G representa la aceleración relativa al cambio de masa de un lugar concreto producido por la interacción de un conjunto de masas de carácter regional o urbano.

⁸ Siguiendo con el símil físico, una velocidad de caída (o de escape) más elevada.

movilidad obligada. Así, para cada sistema funcional j se puede estimar los déficits o superávits de cada sistema funcional o protosistema.

En el caso de que exista una situación económica recesiva persistente (recuérdese que los modelos trabajan en quinquenios) que orille a considerar una destrucción de puestos de trabajo, existe un proceso de re-direccionamiento de la población ocupada asentada en el modelo de movilidad. Es decir, implícitamente se considera el hecho de que la población asentada en el año de origen de la prospección se verá obligada a realizar desplazamientos hacia zonas con puestos de trabajo disponibles (del balance entre los que requiere la economía y los que llegan producto del modelo de movilidad), lo que implica viajes más largos de lo que sería normal en una situación económica normal. El modelo, sin embargo, no reloca el sitio de residencia de esta población, lo que a pesar de ser una limitación del mismo produce errores marginales.

Una vez que se conoce el número de nuevos inmigrantes/emigrantes ocupados, éste se transforma en una estructura demográfica a partir de las distribuciones conocidas. Además, se calcula el número de acompañantes. Esta población, al igual que la autóctona, se hace evolucionar, lo que implica que existe un crecimiento demográfico, derivado de la reproducción de la población y su envejecimiento. Nuevamente el modelador puede modificar las hipótesis demográficas vinculadas a este proceso.

3.5 La estimación de la necesidad de vivienda principal

Una vez conocido el número de personas en cada momento n futuro, éste se transforma en viviendas principales a través de las tasas de principalidad específicas como sigue:

$$Vp_{y-x} = POB_{yx} * TP_{y-x} \quad (15)$$

Dónde:

Vp_{yx} es el número de hogares que forma, en un momento n determinado, la población de un grupo etario y determinado de un colectivo x inmigrante o autóctono⁹

POB_{yx} es el número de personas que habrá en un momento n determinado en un grupo etario y determinado de un colectivo x inmigrante o autóctono

POB_{yx} es la tasa de principalidad de un grupo etario y determinado de un colectivo x inmigrante o autóctono

Es importante recordar que la tasa de principalidad no es más que la proporción de personas que encabezan un hogar dentro de un grupo etario y un colectivo determinado. Se trata, por tanto, de un indicador de consumo de viviendas principales per cápita. Como se ve este indicador varía en función del ciclo vital y económico, de manera que es diferente para estrato de edades y socioeconómico. También varía espacialmente puesto que las pautas de cohabitación y convivencia de las personas son diferentes en las grandes ciudades y en las zonas más rurales. En este estudio sólo hemos diferenciado, en la dimensión socioeconómica, la principalidad de la población que estaba asentada en el año origen de aquella relacionada

⁹ Con autóctono nos referimos a la evolución de la población asentada en el año de origen de la prospección.

con la nueva población inmigrante, que como se ha dicho, provendrá fundamentalmente de allende los límites del estado español. Es importante señalar que el modelo asume que en el caso de que la destrucción de lugares de trabajo sea superior a la voluntad de participar en el mercado de trabajo de la población originalmente asentada en el año de inicio de la prospección, ésta emigra y por tanto libera viviendas principales. Dicha asunción evidentemente podría verse no verificada por varias razones, por ejemplo podría suceder que los nuevos desempleados decidan quedarse sin trabajar, o por ejemplo una de las personas podría emigrar y las otras, en el caso de existir, podrían continuar usando la vivienda. En cualquier caso, debido a que *Econógraf* produce episodios temporales de 15 años (si bien internamente trabaja en bloques quinquenales), los errores producidos por esta simplificación se espera sean menores, debido a que un escenario sostenido de destrucción de empleo por tanto tiempo es poco plausible.

Hasta aquí la explicación técnica del funcionamiento interno del modelo, prosigue ahora exponer los resultados sintéticos de su aplicación a Cataluña.

4. Aplicación a Cataluña

A continuación se resume la aplicación de *Demógraf-Econógraf* para Cataluña en el periodo 2009-2024. Dado el espacio de este formato de divulgación no se presentan todos los resultados ni todas las hipótesis detalladas. El escenario presentado a continuación se denomina central (o base). Cabe insistir que los resultados varían en función de las hipótesis que se introducen al modelo. De esta manera los resultados aquí presentados solo serían válidos en el caso de que las hipótesis se verificasen. A pesar de lo anterior, es el escenario que se ha elegido (el que puede ser modificado) para caracterizar la evolución del sistema territorial, en base a la cual se evaluarán los efectos de distintos tipos de intervención (urbanística y/o de transporte), en el tiempo y en el espacio.

4.1 Principales hipótesis de partida

A - Escenario temporal de prospección

Como se ha indicado antes, Evaluamet produce resultados a 15 años vista, si bien internamente algunos de sus modelos, como *Demógraf-Econógraf*, trabajan en quinquenios internos. En esta aplicación se ha elegido realizar el escenario 2009-2024. Por tanto, se parte de los datos padronales de enero de 2009, entre otros, para estimar los incrementos o variaciones de población, del empleo localizado y de las necesidades de vivienda entre dicho año y el horizonte.

B - Movilidad

En relación a la movilidad del escenario tendencial, las matrices de tiempo utilizadas (tanto en el modelo de distribución espacial de la actividad económica como en el modelo de movilidad residencia-trabajo) a efectos del cálculo de los superávits/déficits de trabajadores a escala espacial, son las que surgen de los escenarios construidos en SIMCAT (que considera nuevos proyectos y ampliaciones de capacidad), luego de asignar las matrices de viajes en hora punta

(periodo en el cual la red está congestionada). Los escenarios de transporte son para los años 2009, 2020 y 2024 (el escenario del año 2014 es una interpolación).

C - Tasas de natalidad y mortalidad de la población asentada en el año de origen

El submodelo de movimiento natural-migratorio intrazonal (*Demógraf*) parte de las tasas de natalidad y mortalidad del conjunto de población que estaba asentada en el año de origen. Por prudencia, estas tasas se han mantenido constantes a partir de las últimas conocidas, considerando por otra parte que el periodo prospectivo es de *mediano plazo* equivalente como se ha dicho a 15 años. Esta información se deriva de las estadísticas del registro civil y de los padrones de población.

D - Tasas de ocupación específica de la población asentada en el año origen

Por otra parte se encuentran las tasas de ocupación. Estas tasas se han calculado a partir de los datos históricos de los censos de 1991 y 2001, y a partir del 2011 se han contrastado con los datos de la Encuesta de Población Activa. Con base en esto se ha realizado una evolución que considera un incremento de las tasas de actividad y ocupación derivado de los siguientes factores: a) la progresiva incorporación (generacional) de las mujeres en el mundo laboral; b) el progresivo incremento de las tasas de dependencia y, por tanto, de la presión interna de los hogares hacia sus capas en edad laboral; y c) sobre todo la progresiva reducción de la tasa de paro hasta niveles mínimos técnicos situados alrededor del 5%.

En concreto, se parte del escenario de crecimiento de la tasa general de ocupación (16-65 años) desde el 63,66% en el año 2001 y 66,48% en el 2009 hasta el 68,94% en el 2024, así como la reducción de la tasa general de paro (16-65 años) desde el 17% en el 2009 hasta el mínimo estructural del 5% en el 2024.

En el caso de la evolución de las Tasas de Ocupación Específica (en adelante, TOE) para cohortes de edad durante el periodo 2009-2024, se han proyectado teniendo en consideración: a) los escenarios futuros de crecimiento del Valor Añadido Bruto (en adelante, VAB) (0,25% para el periodo 2009-2014, 1,75% para el periodo 2014-2019 y 2,75% para el 2019-2024); b) la progresiva incorporación (generacional) de las mujeres al mundo laboral (sobre todo en la franja de edad de 30 a 44); y c) la progresiva convergencia con Europa.

De este modo, para el periodo 2009-2014, las TOE ralentizan su crecimiento y la tasa general de ocupación (16-65 años) al finalizar el periodo se sitúa en el 67,58%, considerando sólo la población autóctona, y en el 67,97% si consideramos el efecto de la población que emigra por faltas de oportunidades laborales dado el escenario recesivo del primer quinquenio.

Para el periodo 2014-2019, las TOE aceleran su proceso de crecimiento debido a la recuperación de la situación económica hipotetizada (el VAB para dicho periodo crece un 1,75%) y la tasa general de ocupación (16-65 años) crece de forma más acusada que en el

periodo anterior situándose al 2019 en el 68,71%, considerando sólo la población autóctona, y en el 69,84% si consideramos el efecto de la nueva población inmigrante.

En el último periodo, 2019-2024, las TOE moderan su crecimiento (crecen al mismo ritmo que en el periodo anterior) y se ralentiza el crecimiento experimentado por la tasa general de ocupación (16-65 años) donde en el 2024 se sitúa en el 69,15%, considerando sólo la población autóctona, y decreciendo hasta el 68,94% si consideramos el efecto de la población inmigrante.

Así, considerando el incremento experimentado por la tasa general de ocupación (16-65 años) durante el periodo 2001-2024, se observa un proceso de aproximación hacia las tasas de ocupación generales europeas. En el 2001, la tasa de ocupación general en Catalunya era del 63,66% y, según lo proyectado al final del último periodo, se situará en un 68,94%; tasa relativamente próxima a los países europeos más avanzados. Por ejemplo, para el año 2010, Alemania tenía una tasa general de ocupación de 71,10%, Suecia de 72,70%, Dinamarca de 73,40% y Holanda de 74,70%.

Por el otro lado, si comparamos las tasas de ocupación general resultantes del modelo con las del modelo Carrera-Monés¹⁰ (2003), se puede observar que tanto la tasa de ocupación general en el último año del último periodo como su evolución es comparativamente más alta y acusada en este último. Así, en el modelo de Carrera-Monés, se alcanza una tasa general de ocupación del 71% para el año 2011 y del 75% para el 2026, mientras que en el modelo considerado su proyección es más moderada: 66,48% en el 2009 y del 68,94% en el 2024.

Esas diferencias existentes entre estos dos modelos se debe a que el modelo de Carrera-Monés considera unas TOE más altas y con una evolución más acelerada (por ejemplo en los cohortes de edad 45 a 49 años, 50 a 54 años y 55 a 59 años). Por consiguiente, el modelo de Carrera-Monés se aproxima de forma más temprana hacia la convergencia Europea en cuanto al mercado de trabajo, ya que en el año 2011 la tasa general de ocupación sería equivalente a la de Alemania (71,10%) y en el 2026 a Holanda (74,70%).

No obstante, la hipótesis de evolución de las tasas de ocupación general en el modelo de Carrera-Monés son optimistas en la medida que comportaría una tasa de paro inferior al 5%, cosa poco probable, habida cuenta del incremento de ésta durante los últimos años y de las previsiones de su no reducción hasta el año 2022 hechas recientemente por el Fondo Monetario Internacional.

E - Evolución del mercado de trabajo a partir de la evolución del VAB y de la productividad

La creación de los nuevos lugares de trabajo es una de las variables que tiene más incidencia en el modelo de movimiento migratorio. En este trabajo se realiza una proyección a partir de un escenario hipotético de evolución del VAB y la productividad. Dicho escenario se construye a

¹⁰ Modelo desarrollado entre los años 2002 y 2003 por Josep M. Carrera i M.A. Monés para la Región Metropolitana de Barcelona. En este modelo, incluido en el programa de trabajo de la redacción del Plan Territorial Metropolitano de Barcelona 2010, se determinan los escenarios demográficos a partir de hipótesis de evolución económica y en función de las circunstancias del área (estructura de edad, disponibilidad de suelo, necesidad de vivienda, patrones de emancipación de la población, etc.).

partir de los datos de las estadísticas de la Contabilidad Regional de España elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística.

El escenario (Figura 1) consiste en hacer variar la tasa de crecimiento del VAB y la productividad en tres bloques temporales: 2009-2014, 2014-2019 y 2019-2024.

1) De esta manera el escenario de variación del VAB es ascendiente y correspondiente a un crecimiento medio anual del 0,25%; 1,75% y 2,75% respectivamente.

2) En lo que respecta a la variación de la productividad se parte de un escenario ascendiente de crecimiento medio anual del 0,5%; 1,0% y 2,35% respectivamente.

3) La conjugación de los escenarios anteriores produce un decrecimiento/crecimiento de los LTL del -0,20%; 0,70% y 1,50% medio anual respectivamente.

Esto quiere decir perder 44.000 lugares de trabajo el primer quinquenio, adicionales a los que ya se habían perdido hasta el año 2009. Luego recuperar 133.000 para, finalmente, recuperar otros 280.000. De esta manera el crecimiento neto del mercado de trabajo sería de 369.000 lugares de trabajo. Escenario mucho más conservador que el vivido los 15 años anteriores (1996-2009), en los cuales se crearon 1.031.800 lugares de trabajo durante quince años de creación de empleo ininterrumpida hasta el año 2007. *De media, el crecimiento hipotetizado es equivalente a unos 24.608 LTL por año. En cualquier caso, como escenario global es bastante conservador, si se considera que en el periodo 1991-2001 (caracterizado por un quinquenio expansivo y otro recesivo) el crecimiento medio anual fue de 54.742 LTL por año. O en los quince años entre 1996 y 2009 fue de 67.586 LTL por año.*

Figura 1. Hipótesis de crecimiento de la producción y la productividad

	Periodo	VAB	Productividad	LTL	LTL%	LTL % anual
Histórico	1996-2001	4,34%	0,01%	606.000	4,33%	
	2001-2006	3,69%	0,33%	567.300	3,34%	2,62%
	2006-2009	1,28%	2,76%	159.500	-1,44%	
Proyectado	2009-2014	0,25%	0,50%	44.336	-0,25%	
	2014-2019	1,75%	1,00%	133.329	0,74%	0,66%
	2019-2024	2,75%	1,25%	280.133	1,48%	

Año	LTL 2009	Incremento
Cataluña	2.009	3.582.400
	2.014	3.538.064
	2.019	3.671.393
	2.024	3.951.526

Fuente: Hipótesis propia a partir de los datos de la Contabilidad Regional de España (2012).

En comparación con el modelo de Carrera-Monés, el escenario hipotético de crecimiento de los LTL de *Econógraf* es más moderado. En el modelo de Carrera-Monés, la evolución de crecimiento es más acusada al principio y más moderada al final. Por lo consiguiente, aunque

en el modelo de Carrera-Monés se proyecte para el periodo 2011-2016 un incremento de LTL de 172.092 (cifra muy superior a la del modelo considerado para el 2009-2014 en el cual se pierde empleo), el incremento total en el último año del último periodo en los dos modelos es similar. En el caso del modelo de Carrera-Monés para el 2026 se proyecta un incremento total de 543.060 LTL, es decir, unos 174.000 LTL más que el escenario central de *Econógraf*.

F - Ratio de inmigrantes acompañantes en relación a inmigrantes ocupados

El modelo de movimiento migratorio implícito en *Econógraf* estima el número de ocupados que el mercado de trabajo es capaz de asimilar. A partir de dicho número se calcula el número de inmigrantes totales, es decir, se añaden los acompañantes que llegan junto con el inmigrante económico o que son reagrupados con posterioridad (los nacimientos *in situ* se calculan aparte). Los datos del Censo, el Padrón y la Seguridad Social, permiten dibujar el número de inmigrantes totales en relación a aquellos ocupados. Así, en el año 2001 había 2 extranjeros por cada extranjero ocupado, en el 2007 esta cifra había subido a 2,2 y, finalmente, en el 2010 a 2,9. Detrás de este crecimiento están varios factores añadidos: 1) la crisis que ha incidido especialmente en los sectores y niveles de cualificación de los extranjeros ocupados; 2) la reagrupación familiar; y 3) el hecho que la Seguridad Social, a diferencia del Censo, no recoge el empleo informal.

En este trabajo se parte de un escenario mucho más moderado que el pasado, debido a que la actual crisis económica abre pocas oportunidades para que los inmigrantes económicos vengan con acompañantes en una primera instancia. Así, se parte de tres ratios equivalentes a 1,25; 1,375 y 1,5 inmigrantes totales/ocupado para cada uno de los tres bloques temporales futuros estudiados, es decir, 2009-2014, 2014-2019 y 2019-2024.

G - Tasas de natalidad del modelo de movimiento migratorio de *Econógraf*

Como se ha explicitado antes, los inmigrantes económicos evolucionan a la par que el mercado de trabajo es capaz de asimilarlos, en este proceso se considera que su estructura etaria evoluciona con el tiempo a la par que existe un proceso de reagrupación familiar. Adicionalmente, se producen nacimientos en el ámbito de estudio. Debido a que los resultados del modelo sugieren que con la evolución de la población asentada en el 2009 harán falta activos para trabajar en los nuevos puestos de trabajo que se creen (si bien únicamente en el penúltimo y último periodo), en este estudio se ha decidido trabajar con patrones de reproducción relacionados con las extranjeras. En concreto se han utilizado sus tasas de natalidad, considérese que en dichas tasas se incluye el impacto de los matrimonios o uniones mixtas. Estas tasas se han conservado durante toda la proyección realizada, si bien el modelador puede cambiarlas.

4.2 Principales resultados

A - En relación a la evolución de la población asentada en el año de inicio de la prospección (2009)

Si los flujos de inmigración con el exterior del ámbito territorial estudiado (Cataluña) se interrumpiesen a partir del año 2009, y por tanto la evolución de la población se rigiese única y exclusivamente por los factores demográficos naturales (natalidad y mortalidad), habría un decremento de la población; incluso lo habría en el caso de que no hubiese emigraciones originadas por la persistente destrucción de empleo. Dicho decremento se debería fundamentalmente al nivel de envejecimiento de la población de origen por una parte, y por las bajas tasas de natalidad utilizadas en el modelo, que no son otras sino las últimas conocidas y que, además, ya incluyen el impacto (positivo) de la natalidad de la población extranjera que había inmigrado al territorio catalán antes del 2009. De esta manera la población que en el año 2009 era de 7.475.420 personas, podría reducirse a 7.342.947 personas, es decir, habría una reducción neta de 132.473 pobladores.

B - En cuanto al crecimiento económico y al eventual déficit de trabajadores equivalente a unas 383 mil personas

Dadas las hipótesis de crecimiento del producto interno bruto, en su versión sin impuestos (VAB), y de la productividad, es previsible se creen en Cataluña, en los próximos 15 años, a partir del quinquenio 2014-2019, unos 369.126 nuevos puestos de trabajo (Figura 2). Si bien al principio habrá una destrucción de puestos de trabajo en el quinquenio 2009-2014 equivalente a 44.336 LTL, para ir recuperándose a medida que la economía española recupere su dinamismo.

Figura 2. Simulación de la distribución espacial del crecimiento de empleo

Fuente: Elaboración propia

¿Cómo se explica la necesidad de incorporar a 383.643 nuevas personas? Pues bien, si las tasas de ocupación incrementarán, el hecho de que desaparezcan 132.435 personas originalmente asentadas produce una reducción de la oferta de mano de obra local equivalente a -14.518 personas. Con lo cual, si el incremento de la demanda es de 369.126 LTL, habida cuenta de que la oferta local se reducirá en 14.518 personas, entonces habrá capacidad para incorporar a 383.643 nuevas personas trabajadoras, que mayoritariamente serán extranjeros, si bien pueden ser en parte los 22.840 ocupados que podrían marchar de Cataluña por la falta de oportunidades laborales en el primer quinquenio.

Territorialmente, el mayor incremento de LTL se da principalmente en el Plà Metropolità, y le siguen muy por debajo les Comarques Gerundenses y el Camp de Tarragona (Figuras 2 y 3).

Figura 3. Simulación de la distribución espacial del incremento de LTL 2009-2024

Fuente: Elaboración propia.

C - En relación al incremento global de la población

Habida cuenta que el mercado local, ni aun cuando incremente sus tasas de participación en el de trabajo, será suficiente para cubrir las necesidades de mano de obra de las empresas, la única solución de continuidad es la incorporación de nuevos inmigrantes económicos. Dada la misma situación deficitaria producida por una estructura igual o más envejecida del resto de España, lo más probable es que dichos inmigrantes económicos sean personas venidas allende de las fronteras del estado y, con gran probabilidad, de fuera de la Unión Europea (en adelante, UE).

Dicha población vendrá acompañada o reintegrará a su familia de manera progresiva conforme su situación laboral y social se estabilice, como se ha observado en el pasado. De esta manera en los quince años analizados (2009-2024) los inmigrantes económicos más sus acompañantes y los hijos que en el decurso de este periodo tendrán, podrían suponer cerca de 597.000 personas (Figura 4). Recuérdese que dentro de esta cifra se podría contener a los migrantes retornados que es probable marchen durante el primer quinquenio 2009-2014 por falta de oportunidades laborales.

Figura 4. Simulación de la distribución espacial del crecimiento demográfico

Fuente: Elaboración propia

De manera que si la población asentada en el año de origen de la prospección se reducirá por un efecto de movimiento natural en 132.000 pobladores, entonces la población crecerá en términos netos unos 465.000 personas entre el periodo 2009 y 2024, hasta alcanzarse una población en Cataluña de 7,9 millones de pobladores.

Es decir, el incremento medio anual sería cercano a las 31.000 personas. Entre el año 2001 y 2009 en Cataluña el crecimiento medio anual fue de 113.000 personas. Como se ve, por tanto, con las hipótesis de partida, el crecimiento de la población se ralentizará significativamente en el periodo temporal analizado.

En las Figuras 4 y 6 se detalla la distribución espacial del crecimiento demográfico. Dicho gráfico pone de relieve que, a pesar de los intensos procesos de descentralización y el relativo incremento demográfico de Girona y Lleida, seguramente impulsado por las importantísimas mejoras en la conectividad originadas por el Eix Transversal, es la RMB el ámbito que continua ganando población. Esto se debe fundamentalmente a que es el ámbito dónde previsiblemente se creará más actividad económica (a pesar de su relativa descentralización) y al hecho que al ser la población más joven de Cataluña aún tendrá una tasa de reposición sensiblemente superior al del resto del sistema territorial.

Figura 5. Simulación de la evolución de la estructura demográfica catalana

Indicadores de la estructura demográfica

	0-14	15-64	65 y más	Tasa de dependencia	Índice de envejecimiento
Algoritmo	a	b	c	=(a+c)/b	Pob>65/pob0-04
1991	1.076.292	4.115.894	867.302	47%	3,10
2001	872.932	4.366.067	1.105.192	45%	3,66
2009	1.119.851	5.138.050	1.217.519	45%	2,91
2024	1.215.384	5.316.386	1.408.790	49%	3,96

Fuente: Elaboración propia

En relación a la estructura de edades (Figura 5), se ve cómo en las hipótesis de crecimiento del empleo utilizadas la evolución será más parecida a lo que ocurrió entre el año 1991-2001 que no al trepidante episodio 2001-2009. Así se trata fundamentalmente de un desplazamiento de la estructura de edades más que de una drástica recomposición, si bien existen ciertas matizaciones. En primer lugar, el desplazamiento producirá un envejecimiento de la población, así el índice de envejecimiento (es decir la ratio entre la población de más de 65 años entre aquella menor a 5 años) pasará de 2,91 en el año 2009 a 3,96 en el 2024. De esta manera se verá revertida la relativa reducción del índice experimentada entre el año 2001 y 2009, originada fundamentalmente por un repunte de los nacimientos de la generación del *baby boom* de los setenta y por las mayores tasas de fecundidad de la población que inmigró a Catalunya en esos años. En segundo lugar, es previsible que el envejecimiento de la población produzca un incremento de la presión financiera hacia el interior de las familias, puesto que la tasa de dependencia pasará del 45% al 49%, revirtiendo igualmente el estancamiento producido por la población inmigrada entre el año 2000 y el 2009, que en su mayor parte se encontraba en la edad económicamente activa y por tanto potencialmente empleable. En la Figura 6 se muestra el comportamiento espacial del incremento de población 2009-2024.

Figura 6. Simulación de la distribución espacial del incremento de población 2009-2024

Fuente: Elaboración propia.

D - En relación al incremento global de las necesidades de vivienda principal

En cuanto a las necesidades de vivienda principal (Figura 7), el global entre el periodo 2009-2024 es de 236.000 nuevas viviendas, considerando que todas aquellas viviendas que en el año origen estaban ocupadas y se desocupen por motivo de la desaparición de los hogares que las ocupaban volverán a entrar en el circuito inmobiliario y, por tanto, formarán parte de la oferta disponible. Por esta razón se trata de una necesidad neta de vivienda adicional.

Se trata por tanto de un escenario optimista en el cual las viviendas que se liberan son reincorporadas plenamente al mercado inmobiliario, lo cual no es tan sencillo, no sólo por motivos físicos vinculados con la necesidad de rehabilitación del parque antiguo, sino por motivos de índole jurídica como los que subyacen en las sucesiones hereditarias o las cargas de la propiedad que limitan el ejercicio dominical.

Figura 7. Simulación de la distribución espacial de las necesidades netas de vivienda principal

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución espacial (Figuras 7 y 8), el gráfico anterior detalla el incremento de las necesidades netas de vivienda por ámbitos de planeamiento territorial derivado. De esta manera la RMB aúna la mayor necesidad de vivienda, esto se debe fundamentalmente al hecho de que es el ámbito territorial con los menores índices de envejecimiento de la población debido al fuerte dinamismo del área que la convierte en atractora de población joven.

Enseguida está el ámbito gerundense, en el cual la demanda viene fundamentalmente de la nueva población inmigrada, originada tanto por los procesos de descentralización de la metrópoli central como de los procesos de inmigración de nueva población desde el exterior del sistema. El Pla del Ponent (Lleida) y Tarragona serían los ámbitos con mayores necesidades de vivienda principal tras la RMB y las Comarcas Gerundenses. Tanto en las Terres de l'Ebre como en l'Alt Pirineu i Aran son los ámbitos con menores necesidades de vivienda.

Figura 8. **Simulación de la distribución espacial de las necesidades de vivienda principal 2009-2024**

Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión y conclusiones

Demógraf-Econógraf es el modelo de Evaluamet encargado de realizar las prospecciones más importantes en la evolución de los sistemas territoriales y relacionados con la interacción entre el mercado de la vivienda y el mercado laboral. De esta manera el modelo se encarga de realizar pronósticos espacializados de la evolución de la población, el empleo y las necesidades de vivienda. Que estos pronósticos se cumplan depende de las hipótesis con las que el modelo sea alimentado y naturalmente de la oferta de suelo urbano y reurbanizado.

Demógraf es un submodelo que hace evolucionar la población originalmente asentada en el sistema territorial a través de los parámetros de movimiento natural (defunciones y nacimientos) y haciéndola migrar entre las diferentes zonas internas del sistema. *Econógraf* es un submodelo que parte de una hipótesis de crecimiento de la producción y la productividad para pronosticar la evolución del empleo y su distribución espacial. De manera que si la demanda de trabajadores es superior a la oferta que la población local puede proveer, *Econógraf* abre las puertas a que ese déficit sea cubierto por nueva población venida del exterior del sistema. En el caso contrario, es decir, en el caso en el cual la demanda de trabajadores sea inferior a la oferta de mano de obra, el modelo abre la puerta a posibles emigraciones del sistema territorial, como de hecho ya está ocurriendo ante la persistencia del ciclo económico recesivo. De esta manera la población migrante se suma a la que genera *Demógraf* y se obtienen los escenarios espacializados de población total, los cuales se transforman en hogares y ello da pauta a conocer las necesidades de vivienda principal.

Como todo modelo cuantitativo *Demógraf-Econógraf* hace simplificaciones en varios de los procesos migratorios, de movimiento natural de la población y de constitución de hogares, simplificaciones sin las cuales sería imposible crear un sistema parametrizable y de fácil modificación. Sin embargo, es posible que los errores del modelo no provengan de las simplificaciones realizadas, sino que se incardinan a la propia incerteza implícita en las hipótesis de partida. No debe olvidarse que el modelo requiere se establezcan criterios sobre: a) el crecimiento económico; b) la productividad laboral; c) la participación de la población en el mercado de trabajo; d) evolución de las tasas de fecundidad y natalidad; e) la estructura etaria de las nuevas poblaciones inmigrantes; f) la ratio de acompañantes inmigrantes; g) la tasas de principalidad de consumo de hogares per cápita. Vectores todos ellos que como se ve tienden a ser influenciados por factores coyunturales.

¿Cuáles son las principales novedades del sistema frente a otros modelos prospectivos? La principal novedad de *Demógraf-Econógraf* es el tratamiento espacial de los datos. En efecto, los modelos de interacción espacial subyacentes en los cambios residenciales interzonales, el cambio de localización de la actividad económica y las compensaciones en el mercado laboral-residencial devenidas de la consideración de la movilidad obligada, hacen de este sistema una herramienta importante para poder evaluar infraestructuras. El hecho de que dichos modelos se alimenten de SIMCAT, en lo que se refiere a las matrices de distancia temporal entre las diferentes localizaciones interiores al sistema, permite evaluar los impactos sobre los procesos espaciales de cambio de población y actividad económica producidos por la creación de

nuevas infraestructuras viarias, por la mejora en la gestión de las presentes o diferentes escenarios de congestión producidos por cambios en la demanda y oferta del transporte.

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 “Evaluamet”. Proyecto del cual se desprende el presente documento. También quieren agradecer a los colaboradores que han hecho posible este modelo: Montserrat Moix Bergadà, Manuel Ruiz Lineros, Maria Concepción Crespo, Francesc Valls Dalmau y Jaume Masip Tresserra.

Bibliografía

ALONSO, W. *Location and Land Use*. 1964, Harvard university press, Boston

CARRERA, J.M y MONÉS, A. *La Barcelona metropolitana els propers 20 anys. Prospectiva del mercat de treball, demografia i habitatge*. Barcelona, Ajutament de Barcelona, 2003. 64 p.

MARMOLEJO, C. y ROCA, J. *Estudio sobre las necesidades de vivienda en Aragón y sus sistemas territoriales 2001-16*. Barcelona, Centre de Política de Sòl y Valoracions, 2004. 230 p.

MARMOLEJO, C. y ROCA, J. *Estudi prospectiu de la localització municipal i intramunicipal de població i llocs de treball a la Regió Metropolitana de Barcelona 2001-2016*. Barcelona, Centre de Política de Sòl y Valoracions, 2006. 24 p.

ROCA, J. y MARMOLEJO, C. *Prospectives de Demanda d'Habitatge Principal a Catalunya 2001-2011*. Barcelona, Centre de Política de Sòl y Valoracions, 2004. 56 p.

ROCA, J. y MARMOLEJO, C. *Un modelo de interacción espacial aplicado a la Distribución metropolitana de la actividad*. En: *ACE: architecture, city and environment*, 1 (1): 60-79, 2006.

ROCA, J. et al. *Urban Structure and Polycentrism: Towards a Redefinition of the Sub-centre Concept*. En: *Urban Studies*, 46 (13): 2841-2868, 2009.

ROCA, J. y MOIX, M. *Cap a una nova organització territorial de Catalunya*. Barcelona, Centre de Política de Sòl y Valoracions, 2004. 110 p.