

## NOTAS Y COMENTARIOS DE INVESTIGACION

### Aplicación de un modelo urbano dinámico.(1)

POR FUMAIN, D. MIEMBRO DEL I.N.E.D.; SAINT-JULIEN, TH. DE LA UNIVERSIDAD DE PARIS 1; AND SANDERS, L. DE LA UNIVERSIDAD DE PARIS VII.

**PALABRAS CLAVE:** MODELOS DINAMICOS DE CRECIMIENTO URBANO. APLICACION A ESTRASBURGO, BURDEOS, ROUEN Y NANTES.

**RESUMEN:** EN EL PRESENTE TRABAJO SE APLICA UN MODELO DINAMICO DE CRECIMIENTO INTRA-URBANO, BASADO EN LA TEORIA DE LA BIFURCACION, A ALGUNAS CIUDADES FRANCESAS. SE ANALIZAN SOBRE TODO LOS PROBLEMAS QUE SURGEN AL UTILIZAR MODELOS DE SISTEMAS COMPLEJOS PARA SIMULAR UNA EVOLUCION URBANA Y POR OTRA PARTE SE INTENTA CONCLUIR QUE NOS APORTAN ESTAS APLICACIONES PARA COMPARAR LA EVOLUCION DE VARIAS CIUDADES.

#### INTRODUCCION

En la actualidad se utilizan dos caminos diferentes de investigación -la teoría catastrófica y la teoría de la bifurcación- para crear modelos dinámicos espaciales en Geografía urbana. El primero explora soluciones analíticas de sistemas matemáticos que relacionen dos o tres variables "importantes" (Haag y Dendinos, 1983). El segundo construye modelos más amplios y complejos que permiten describir la evolución de una estructura humana de un modo más realista, pero que sólo pueden ser calibrados por simulaciones. (Wilson 1981; Allen y Sanglier, 1981). Tales modelos dinámicos de estructura espacial urbana necesitan ser revalidados en el mundo real antes de que puedan ser usados operativamente.

(1) Artículo publicado en Geographical Analysis, 19,2: 152-166. 1987 Ohio State University Press. Traducido por LOPEZ, M<sup>a</sup> LUISA y LOPEZ, Soledad. Documentos ALJIBE lo publica dado su interés.

En este sentido el trabajo que presentamos es un pequeño paso del largo camino que hay entre la construcción de un modelo y su aplicación práctica.

Examinamos dos cuestiones: 1) ¿Con qué problemas nos encontramos cuando usamos modelos de sistemas complejos para simular una evolución urbana observada?, y 2) ¿qué luz proporcionan estos modelos para comparar la evolución de varias ciudades?.

Hemos usado el modelo INTRA URBANO de Allen, en una versión ya probada con datos ficticios (Allen y otros 1981). Se trata de un modelo dinámico espacial que simula la evolución interna de un área urbana. Cuando se le compara con otros modelos urbanos (vease Pumain, Saint-Julie y Sanders, 1984), presenta las siguientes propiedades:

- 1 El área urbana es considerada como un sistema abierto y subdividida en muchas zonas, entre las cuales tanto el empleo en actividades económicas como la población residente están en un proceso de cambio y redistribución continuo durante el intervalo de tiempo considerado en el estudio
- 2 Un amplio número de principios teóricos, que explican la dinámica de las áreas urbanas, se insertan en el modelo en forma de relaciones matemáticas o de parámetros. Las ecuaciones del modelo, que detallamos a continuación, incluyen el principio económico básico y las interacciones que decrecen con la distancia, que ya fueron usados en modelos estáticos como el de Lowry (1964); pero también incluyen principios de la teoría de la localización como la economía de aglomeración o los efectos de masas, que conducen a curvas de tipo de crecimiento logístico para el desarrollo de actividades sobre un espacio limitado. Se incluyen también otros mecanismos como son la competencia por el espacio y la segregación entre diferentes actividades y población; la desigual velocidad de ajuste entre oferta y demanda; la falta de armonía en

las decisiones de localización debida a las diferencias en la información de que disponen los "Actores Urbanos".

- 3 El modelo asume que hay leyes generales aplicables a una combinación espacial particular de población y actividades; y que dichas leyes son la causa de la mayor parte de las transformaciones observadas en su distribución intra urbana. La fuerza conductora de la evolución es un resultado de la diferencia entre la ocupación que existe y la ocupación potencial de cada zona; la ocupación potencial depende del atractivo relativo de esta zona para la población y actividades urbanas totales, y está constantemente en revisión, de acuerdo con variaciones internas y externas.
- 4 Ecuaciones diferenciales no lineales describen para cada zona la evolución de cada uno de las seis variables "importantes", que se discutirán más adelante. Este tipo particular de ecuación permite la simulación de transformaciones cualitativas de la estructura espacial, por ejemplo una discontinuidad en los procesos de centralización que conduzca a un declinar del centro urbano, o a la aparición de uno o más centros secundarios.
- 5 El tipo de dinámica urbana representado por el modelo entraña mecanismos de ajuste entre oferta y demanda a un nivel elemental, sobre la base de una relativamente libre competencia por el espacio. Los procesos de interacción actúan sin restricción en cada punto del área urbana considerada. Sin embargo el espacio no es considerado como homogéneo respecto a la accesibilidad de los sistemas de transporte. Restricciones específicas para algunos lugares pueden ser añadidos al modelo. Este tipo de modelo es entonces más adecuado para describir el desarrollo de ciudades en las que la planificación urbana no ha tenido demasiada importancia.

Para nuestro ensayo del modelo INTRA URBANO de Allen elegimos cuatro aglomeraciones francesas que tienen, aproximadamente, el mismo tamaño y el mismo tipo de función en la jerarquía urbana: Rouen, Bordeaux, Nantes y Strasbourg. Describiremos brevemente la formulación matemática del modelo, antes de detallar su aplicación a Rouen y de examinar los resultados comparativos para las otras ciudades

#### DESCRIPCION DEL MODELO

Un área urbana se subdivide en  $n$  zonas. Cada zona está caracterizada por un número dado de empleos en cuatro tipos de actividades y por dos grupos de población residente. De acuerdo con el principio económico básico, se hace una distinción entre actividades de exportación, cuyo desarrollo descansa sobre una demanda externa, y actividades de servicio que son inducidas por la población residente. Cada grupo de actividades se divide entonces de acuerdo con sus diferentes modos de localización en el área urbana: entre las actividades de exportación se distinguen las actividades secundarias (industria) y las actividades terciarias (servicios); los servicios inducidos se reparten entre los servicios locales (de corto alcance, limitado a una subárea urbana) y los servicios regionales, cuyo alcance puede llegar a toda la aglomeración urbana). En cuanto a la población residente, se divide en dos grupos: el cinturón azul y el cinturón blanco, que difieren por su grado de libertad en la elección de la localización de su residencia.

Las ecuaciones del modelo describen la evolución de un tipo de empleo o de un grupo de población en una zona; tienen todas la misma forma correspondiente a un modelo de crecimiento espacial de tipo logístico (Allen y Sanglier, 1981):

$$\frac{dx_j}{dt} = \epsilon \left( 1 - \frac{x_j}{N} \right) x_j \quad (1)$$

donde  $x_j$  es el número de habitantes en la zona  $j$ ,  $\epsilon$  es un parámetro que describe la velocidad de ajuste de  $x$  a su valor potencial  $\bar{x}$ . Este potencial varía de acuerdo a la posición de la zona  $j$  en complejas interdependencias entre población, actividades y zonas de la ciudad entera, a través de un conjunto de parámetros. De acuerdo con la variable "importante" pública que estamos considerando, hay tres tipos de ecuaciones: actividades de exportación, actividades servicio, y la población residente

#### *Actividades de exportación*

Las dos actividades de exportación (industria y terciario) descansan sobre una demanda exógena. El número potencial de empleos  $S_j^E$  en una zona  $j$  depende de esta demanda externa  $D^E$  y del atractivo relativo de la zona  $j$ ,  $(A_j/\sum A_j)$ :

$$\frac{dS_j^E}{dt} = \epsilon^E S_j^E \left[ 1 - \frac{S_j^E}{D^E \frac{A_j}{\sum A_j}} \right] \quad (2)$$

donde  $S_j^E$  es el número de empleos en la actividad  $E$  en la zona  $j$  y  $\epsilon^E$  es la velocidad de ajuste de la actividad  $E$  a su potencial en cualquier zona. Así el potencial en una zona se mide de hecho por la porción o parte de demanda externa que esta zona es capaz de atraer.

El atractivo de cada zona para este tipo de actividad combina cuatro factores:

- 1 *Efectos de aglomeración y saturación.* La intensidad de las actividades de tipo E ya existentes en una zona j se supone que atraerá actividades del mismo tipo de forma multiplicativa de acuerdo con un parámetro de cooperatividad interna  $\rho^E$  y con otro parámetro  $\psi^E$  que significa los efectos de saturación en la forma:

$$1 + \rho^E S_j^E (1 - \psi^E S_j^E)$$

- 11 *Accesibilidad.* Una medida global de la accesibilidad (que combina factores históricos y geográficos) viene dado por un parámetro  $\alpha^E_j$ , único en el modelo que tiene que ser definido para cada zona. Entra en la expresión

$$1 / (1 + \alpha_j^E \phi^E)$$

donde la  $\phi^E$  es la sensibilidad de los capitalistas a la accesibilidad (cuanto más bajo sea el  $\alpha^E_j$ , mejor es la accesibilidad de la zona j).

- 111 *Disponibilidad de espacio.* La disponibilidad de espacio actúa como una fuerza o reserva sobre la localización de las actividades en la aglomeración. Los efectos de esta fuerza se miden por la función:

$$\frac{\tau^E}{\tau^E + \sum_k \gamma^k x_j^k + \sum_I \gamma^I S_j^I}$$

donde  $\tau^E$  representa el área máxima que podría ser ocupada por actividades del tipo E, y  $\gamma^1$  y  $\gamma^k$  indican el área ocupada por unidad de empleo en la actividad 1 ( $l = 1, \dots, 4$ ) y por unidad de residente ( $k = 1, 2$ ).

Asumimos que todos estos factores combinan sus efectos de modo multiplicativo. La formulación del atractivo global de una zona  $j$  es entonces:

(3)

Co

$$A_j = \left[ \frac{1 + \rho^E S_j^E (1 - \gamma^E S_j^E)}{1 + \alpha_j^E \rho^E} \cdot \frac{\tau^E}{\tau^E + \sum_k \gamma^k x_j^k + \sum_l \gamma^l S_j^l} \right]$$

*IV Sensibilidad a las diferencias en atractivo.* En la expresión (3), el parámetro  $Co$  representa el grado de unanimidad en la respuesta de los actores urbanos al atractivo de las zonas. Un valor alto de  $Co$  refleja una situación en la que todos los actores están bien informados y reaccionan con unanimidad. En tal caso las actividades tenderán a concentrarse en la zona más atractiva. Por otra parte un valor bajo expresa una amplia elasticidad en la respuesta a las diferencias de atractivo entre las diversas zonas..

*Actividades de servicio*

Los dos tipos de actividades de servicio son inducidos por la población de la propia aglomeración. Las actividades de corto alcance corresponden a servicios que siempre son usados por los residentes cercanos, mientras que los servicios de medio alcance pueden atraer clientes más distantes como ocurre, por ejemplo, con los grandes centros comerciales.

Sus evoluciones se describen por las ecuaciones (4) y (5)

$$\frac{dS_j^u}{dt} = \epsilon^u S_j^u \left[ 1 - \frac{S_j^u}{\sum_{j''} \left( \sum_k \beta_k^u x_j^k \frac{A_{j j''}^{Co}}{\sum_{j''} A_{j j''}^{Co}} \right)} \right] \quad (4)$$

con

$$A_{j j''}^u = \left[ \frac{1 + \rho^u S_j^u (1 - \gamma^u S_j^u)}{1 + \rho^u d_{j j''}} \cdot \frac{\tau^u}{\tau^u + \sum_k \gamma^k x_j^k + \sum_l \gamma^l S_j^l} \right] \quad (5)$$

$u = 1$  Actividades de poco alcance

$u = 2$  Actividades de medio alcance

donde  $S_j^u$ , es el número de empleos en la actividad  $u$  en la zona  $j$ .

La estructura general de estas ecuaciones es la misma que la de las actividades de exportación y sólo clarificaremos los dos puntos que son diferentes.

En la formulación del potencial de cada zona  $j$ , la demanda es inducida por la población residente de cada grupo  $x^k$  de acuerdo con un multiplicador  $\beta_{k,u}$ . Así,  $\sum \beta_{k,u} x_j^k$ , representa el número de empleos inducidos por la población residente ( $k = 1 =$  collar azul;  $k = 2 =$  collar blanco) de la zona  $j'$ . La localización de estos empleos en una zona  $j$  depende del atractivo relativo

$$\frac{A_{jj'}}{\sum_{j''} A_{j''j'}}$$

de la zona  $j$  para los consumidores de la zona  $j'$ . Entonces el término

$$\sum_{j''} \sum_{k} \beta_{k,u} x_j^k \frac{A_{jj'}}{\sum_{j''} A_{j''j'}}$$

representa el empleo total por servicio de tipo  $u$  inducido en la zona  $j$  por los consumidores de todas las zonas de la aglomeración. El atractivo se mide para cada par de zonas  $(j, j')$ . Tiene la misma forma general que el de las actividades de exportación, pero el efecto de accesibilidad se reemplaza por el impacto de la distancia entre las zonas  $j$  y  $j'$  hay una función de debilitamiento con la distancia  $1/(1 + \phi^u d_{jj'})$ , donde  $d_{jj'}$  es la distancia de  $j'$  a  $j$  y  $\phi^u$  una medida del efecto disuasorio de la distancia para los servicios de tipo  $u$ .

*La población residente*

La población se divide en dos grupos, los collares azul y blanco. Sus evoluciones se describen por las ecuaciones (6) y (7):

$$\frac{dx_{j^k}}{dt} = n^k x_{j^k} \left[ 1 - \frac{x_{j^k}}{\sum_{j'=1}^J \left( \sum_{l=1}^L Z^{k,l} S_{j',l} \frac{R_{j,j'}}{\sum_{j''=1}^J R_{j',j''}} \right)} \right] \quad (6)$$

con

$$R_{j,j'} = \left[ \frac{v^k (1 + \sigma^k x_{j^k})}{v^k + \sum_{k'=1}^K \gamma^{k'} x_{j^{k'}} + \sum_{l=1}^L \gamma^l S_{j',l}} e^{-b^k d_{j,j'}} \right] \quad (7)$$

donde  $x_{j^k}$  es el número de residentes del tipo  $k$  en la zona  $j$ .

El potencial residencial de una zona  $j$  depende de la distribución de empleo en la aglomeración.  $S_{j',l}$  es el número de empleos del tipo  $l$  en la zona  $j'$ , y  $Z^{k,l}$  es un parámetro que expresa la proporción de empleos de la categoría  $k$  (collar azul o blanco) en el sector  $l$ . Entonces el producto  $S_{j',l} Z^{k,l}$  da el número de empleos de la categoría  $k$  para la actividad  $l$  en la zona  $j'$ . La gente que trabaja en una zona  $j'$  reside en una zona  $j$  de acuerdo con su atractivo residencial relativo  $R_{j,j'}/\sum_{j''=1}^J R_{j',j''}$ . Además de por

$j''$

constricciones debidas al espacio disponible, este atractivo residencial varía con un parámetro  $\sigma^k$  que mide las tendencias gregarias entre el grupo social  $k$  y con la distancia  $d_{j,j'}$  de acuerdo con una función de debilitamiento con la distancia  $e^{-b^k d_{j,j'}}$  donde  $b^k$  mide la sensibilidad del grupo social  $k$  hacia las distancias diarias de ida y vuelta al trabajo.

## APLICACION DEL MODELO A LA AGLOMERACION DE ROUEN.

Para probar la capacidad del modelo de Allen para simular una evolución urbana observada, necesitamos datos detallados y disgregados espacialmente sobre la composición y la localización de la fuerza del trabajo en una ciudad a lo largo de un periodo grande de tiempo. Tales datos están disponibles en Francia a partir de los censos del 1954, 1962, 1968 y 1975, al nivel geográfico de Comuna. Para tener un número suficiente de unidades espaciales, hemos elegido una aglomeración grande. Rouen es un área urbana grande (de unos 400.000 habitantes), subdividida en 17 Comunas. La Comuna de Rouen está localizada centralmente y tiene aproximadamente diez veces más empleos y residentes que cualquier otra Comuna de la aglomeración.

Para cada una de las diecisiete comunas hemos tomado datos comparables de los cuatro años del censo. La fuerza laboral se registra en el lugar de trabajo y tuvo que ser dividida en cuatro tipos de actividad económica. A partir de las clasificaciones existentes sólo es posible calcular el número de personas empleado en la industria, por eso para distinguir tres niveles (local, regional y de exportación) entre las actividades terciarias, hemos aplicado a los datos básicos, la técnica de requerimientos mínimos de esos servicios locales, regionales, etc. Las dos categorías de población residente se derivaron a partir de los datos del censo, agrupando todos los obreros como collar azul y el resto de la población como collar blanco.

Las distancias entre las 17 zonas de la aglomeración se han calculado como distancias geográficas en línea recta. En realidad se ha demostrado (GUERMOND, 1983) que esta distancia daba mejores resultados en los modelos clásicos de interacción aplicados a Rouen que cualquier distancia en tiempo de viaje. Aunque algunos parámetros (por ejemplo la demanda de actividades deportivas) fueron estimados a partir de datos empíricos, la mayor parte de ellos se ajustaron por calibración.

Después de una breve presentación de la aglomeración de Rouen, se analizan los resultados de la calibración.

*Evolución de la aglomeración entre 1954 y 1975*

La figura 1 ilustra la zonación de la aglomeración; el río Seine la cruza y es un eje principal de comunicaciones y un factor decisivo en la localización de la industria. La figura 1 también muestra la heterogeneidad en la distribución de las actividades y de la población residente, así como las diferencias en sus crecimientos totales de una comuna a otra. Se pueden distinguir tres anillos:

- 1 Las comunas central y vecinas con un ritmo de crecimiento muy lento. El fenómeno de saturación explica este reciente estancamiento que puede ser observado en todas las grandes aglomeraciones.
- 2 Un conjunto de comunas en rápido crecimiento situado alrededor de las más viejas áreas urbanizadas. En la orilla izquierda del Seine estas comunas tuvieron un desarrollo industrial importante a lo largo del río.
- 3 Las comunas de la periferia más amplia tuvieron menores índices de crecimiento. Están situadas en los viejos valles industriales de la parte norte y este y en áreas menos desarrolladas de la sur.

La estructura social es también muy diferente de una zona a otra. Por ejemplo, el 16% de los trabajadores del collar azul están en la zona 4, mientras que el 60% lo está en la zona 17. La segregación espacial se ha exacerbado desde 1954. La población de la margen derecha tiene una proporción más alta de trabajadores del collar blanco que la margen izquierda, donde los trabajadores del collar azul forman el principal grupo social. La figura 2 muestra la curva detallada de evolución para cada variable en cada zona desde 1954 a 1975. Por lo tanto tendrá que simular una amplia variedad de trayectorias comunales individuales.

### Calibrado

A causa del gran número de parámetros y de las numerosas interdependencias entre las variables, el calibrado de un modelo tan complejo es complicado.

Los métodos de calibrado automático no son adecuados para tales modelos, por lo que hemos utilizado un método experimental. El modelo tiene una alta propensión a producir bifurcaciones. Entre el conjunto de valores que usamos como parámetros, muchos determinaban cambios irreales en la configuración espacial de nuestra área urbana. Los modelos que nos aparecían con más frecuencia eran de una concentración total de empleo y de población residente en el centro, o en dos o tres subcentros periféricos, o de una completa dispersión con una distribución uniforme sobre todas las zonas urbanas. Entonces el problema fue encontrar un conjunto de parámetros que pudiera producir dinámicas más de acuerdo con la realidad.

Es importante notar que no se puede probar ni la unicidad de una solución, ni siquiera la extensión de la misma. Sin embargo, después de un gran número de simulaciones (unas 300), parece poco probable que otro conjunto de parámetros completamente diferente del que nosotros presentamos pueda reproducir los cambios observados tan correctamente como lo hacen los nuestros.

El análisis de los desajustes, es decir, las diferencias entre la situación observada entre 1975 y la obtenida por calibrado, es útil para ejemplificar la capacidad y las limitaciones del modelo. Como la localización de la industria y de la actividad exportadora terciaria se calibra por medio de un parámetro para cada zona (los parámetros  $\alpha_i$ , que significan la accesibilidad), es posible simular muy ajustadamente la evolución de estas dos variables, por lo que sus desajustes son insignificantes. La figura 3 muestra los desajustes para cuatro variables: collar azul y collar blanco, y las actividades terciarias de pequeño y mediano alcance. Ellos subrayan la coherencia interna del modelo: si la población

residente en una zona es sobreestimado por el modelo, las actividades inducidas de pequeño alcance son también sobreestimadas para la misma zona.

Tres tipos de comunas corresponden a diferentes niveles de compatibilidad con el modelo.

- 1 *Comunas con desajuste bajo.* Las evoluciones de la Comuna de Rouen en sí misma, de las comunas que rodean el centro, de dos comunas de la parte sur, y de la mayoría de las comunas de la parte noroeste son reproducidas bastante bien por el modelo para la mayoría de las variables. Estos resultados se dan incluso en situaciones heterogéneas con variaciones significativas en tamaño (el tamaño de estas zonas varía desde la mayor <el centro> a la más pequeña <zona 6>); localización (desde la posición central a las partes de los extremos sur y noroeste de la aglomeración); y evolución (algunas están estancadas <el centro y la zona 17> y otras están creciendo rapidísimamente <zona 2 y 16>).
- 2 *Un grupo de comunas subestimadas.* El modelo ha subestimado sistemáticamente los valores de dos comunas (las zonas 10 y 15). Estas zonas tienen un crecimiento enorme, especialmente en su población residencial. La simulación en realidad reproduce crecimiento para estas variables pero es insuficiente en comparación con el crecimiento real (un incremento en la simulación del 40% para la población entre 1954 y 1975, mientras que el crecimiento real fue del 154%). Dos factores explican esta deficiencia del modelo. Uno, el enorme tamaño de estas comunas no es suficientemente tenido en cuenta por lo que se llama "disponibilidad de espacio" en la medida del atractivo; y dos, los amplios programas de construcción de viviendas son los principales responsables del rápido crecimiento de estas comunas. La disponibilidad de espacio ha sido sin duda un importante factor en su localización, pero también el

bajo precio del suelo que no es tenido en cuenta por el modelo.

- 3 *Un grupo de comunas sobreestimadas.* Algunas de las zonas situadas al norte y al este del centro y una comuna en la margen izquierda son sobreestimadas para todas las variables. Excepto la de la margen izquierda, todas estas comunas están situadas sobre una meseta que domina la ciudad y esta situación produce ciertas fuerzas que el modelo no tiene en cuenta. El acceso a la meseta es más difícil que a otros lugares y la distancia geográfica usada en el modelo no es apropiada para este relieve empinado. El coste de la construcción es más caro en estas áreas debido a las empinadas laderas, aunque los acantilados son lugares atractivos a causa de la belleza del lugar y de la ausencia de polución. En estas zonas hay principalmente villas construidas sobre grandes parcelas y desde luego reservadas a población rica. Estas observaciones ponen de manifiesto la falta, en el modelo, del efecto de la variable cotización del suelo.

#### ANALISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS PARA LAS CUATRO AGLOMERACIONES.

Las cuatro aglomeraciones de Bordeaux, Nantes, Rouen y Strasbourg se clasifican entre el 5º y 12º puesto en la jerarquía urbana francesa, alcanzando entre 612.000 y 365.000 habitantes en 1965. Las aglomeraciones se dividen en 15-23 comunas. Todas ellas tienen actividades diversificadas; del 24 a 33% del empleo es la industrial, del 35 al 43 % es collar azul. Dichas aglomeraciones difieren más en la importancia relativa de sus principales subdivisiones (los "centros de comuna"): El de Estrasburgo tiene una población muy alta, y la concentración de población residencial en sus centros comunales es más pronunciada en Nantes y Estrasburgo que en Rouen o Bourdeaux.

La hipótesis del modelo de que la redistribución espacial de empleo y población residente en las ciudades viene explicada por modos generales de interacción, se realiza bastante bien. Una calibración simulada fue posible en cada caso y mas fácil que en el caso de Rouen porque teníamos experiencia con el modelo. Sin embargo los desajuste entre la evolución observada y simulada están sujetos a la misma interpretación general que para Rouen. Revelan o bien propiedades específicas del emplazamiento en algunas comunas (el relieve en el norte de la aglomeración de Rouen, la frontera internacional en Estrasburgo), o amplios programas de promoción de viviendas. Naturalmente, un análisis mas fino de los desajustes pone de relieve determinada información sobre evoluciones peculiares en áreas concretas.

Los valores encontrados para los parámetros fueron de la misma escala (tabla 1). Sin embargo, no pueden ser usados directamente para cualificar las dinámicas comparativas de cada aglomeración, ya que muchas de ellas dependen del tamaño de las variables iniciales. Para hacer más fácil la comparación se han calculado índices como medidas del atractivo diferencial entre las zonas de cada aglomeración. Se prepararon para mostrar las respectivas proporciones de los efectos de aglomeración, es decir, accesibilidad y disponibilidad de espacio, en estas diferencias de atractivo. El índice R es una relación entre los componentes correspondientes del primero y segundo valor de la función de atractivo (el valor mas alto corresponde generalmente al del centro). El índice D reemplaza al R en el caso de actividades de servicio y de población residente para medir el papel de la accesibilidad en el atractivo.  $D_1$  es la relación entre el efecto de la distancia de 1 Km. (que es la distancia media dentro de una zona), y el efecto de la distancia de 2,5 km. (que es la distancia media entre dos comunas contiguas);  $D_2$  es la relación entre los efectos de las distancias de 1 km y 5 km. El índice M es la relación entre los valores más alto y más bajo del atractivo y se usa para medir el efecto diferencial en cuanto a disponibilidad de espacio.

La tabla 2 permite comparar la relativa importancia de cada uno de estos tres componentes: efectos de aglomeración, accesibilidad, y disponibilidad de espacio, en la dinámica de las cuatro aglomeraciones. Estas medidas subrayan la importancia de la centralidad y de la accesibilidad, junto al menor papel jugado por la disponibilidad de espacio. El aspecto económico de la aglomeración aparece entonces como el factor explicativo esencial del cambio de distribución geográfica de empleos y poblaciones en la ciudad. Esto expresa una cierta inercia del sistema: la persistencia de las localizaciones. Las actividades básicas terciarias y las actividades regionales terciarias son casos extremos para los cuales ese es casi el único factor efectivo. Las dificultades de localización tienen efectos más fuertes en cuanto a industria servicios locales y poblaciones residentes. En el último caso la distancia aparece menos significativa que la propensión a aglomerarse cuando el lugar de trabajo y el de residencia están situados en la misma comuna o en alguna vecina (véase valores correspondientes a  $D_1$ ). Pero cuando la distancia al trabajo es mayor, se convierte en el factor más importante que diferencia el atractivo de las comunas (valores de  $D_2$ ). La disponibilidad de espacio juega un papel significativo sólo en las actividades industriales y es bastante despreciable en el caso de población residente.

Estos índices también resumen y nos permiten comparar la evolución espacial de las cuatro aglomeraciones en los últimos 30 años. Por ejemplo, el efecto dominante de la centralidad aparece en Strasbourg, pero también en Bourdeaux para el sector terciario y en Nantes para las actividades de servicios. Las diferencias en accesibilidad juegan un mayor papel en Bourdeaux y especialmente en Nantes, donde hay una falta de comunicación entre el centro y otras partes de la aglomeración. Las presiones debidas a la disponibilidad de espacio son casi inesistentes en Rouen, donde hay amplias oportunidades para asentamientos industriales sobre la amplia y plana terraza izquierda del río Seine. Las dificultades espaciales son más importantes en otras ciudades en las que terrenos potenciales para el establecimiento de industrias son menos numerosos.

## CONCLUSION

Teniendo en cuenta el poder teórico de los modelos urbanos dinámicos por una parte y la escasez y novedad de sus aplicaciones por la otra, ¿qué se puede decir de un primer uso exploratorio de tal modelo?

El principal interés conceptual de estos tipos de modelos es que hacen posible el simular cambios cualitativos en una estructura espacial urbana. Pueden reproducir con exactitud las discontinuidades en la evolución del patrón espacial de población y actividades en una sola ciudad; también muestran que las mismas reglas de dinámica urbana pueden conducir a formas diversas de organización espacial en áreas urbanas, de acuerdo con los diferentes valores de sus parámetros.

Además nuestra aplicación del modelo INTRA URBANO de Allen a cuatro grandes núcleos urbanos franceses ha ilustrado su habilidad para reproducir la evolución observada de las ciudades reales existentes. La dinámica global espacial de las aglomeraciones ha sido simulada con bastante precisión, así como una amplia variedad de las trayectorias de las subáreas urbanas. Esto confirma la validez de la hipótesis general del modelo, que explica la dinámica local en una ciudad por los mecanismos generales de evolución e interacción espaciales. También parece que los mecanismos que han sido introducidos en el modelo son relevantes y completos con relación al nivel de explicación y desagregación espacial considerado.

Los resultados del modelo se podrían mejorar introduciendo una expresión del precio del terreno en las ecuaciones. Pero otras dificultades encontradas en su aplicación son menos fácilmente solucionables. El calibrado de la evolución de una ciudad sigue resultando difícil a causa de las propiedades de bifurcación de las ecuaciones. La comparación de la dinámica de varias ciudades no es fácil tampoco, ya que los valores de los parámetros no pueden ser estandarizados y dependen del tamaño de las áreas estudiadas. Dichos valores de los parámetros reflejan entonces no sólo una dinámica espacial particular, sino también el tipo de desagregación espacial que

se usa para cada ciudad. A pesar de esas dificultades de aplicación este modelo sigue siendo un instrumento útil para probar hipótesis diversas a cerca de la evolución de un sistema urbano. Para una mejor valoración de sus especificaciones, los resultados obtenidos con este modelo podrían ser comparados con los de otros por ejemplo el modelo Wilson, usado por Lombardo y Rabino (1963) para Roma. Este será el nuevo paso de nuestra experimentación

-0-0-0-0-0-

Agradecemos a P. Allen y M. Sanglier, su ayuda en la programación de computador, así como las orientaciones científicas que nos han dado durante la investigación. Sin embargo nos hacemos responsables de cualquier error. Esta investigación se ha realizado con una beca del CNRS (Programa PIREN)

### BIBLIOGRAFIA

ALLEN, P. (1978). "Dynamique des Centres Urbains". *Sciences et Techniques*. Avril, 50, 15-19

ALLEN, P., and SANGLIER, M. (1981). "Urban Evolution, Self-organization and Decision Making". *Environment and Planning* 13, 169-183.

ALLEN, P., SANGLIER, M., BOON, F., DENUBOURG, L. and DE PALMA, A. (1981). "Models of Urban Settlement and Structure as Dynamic Self-organizing Systems". Washington. D.C.: Department of Transportation.

ALLEN, P., ENGELN, G., and SANGLIER, M., (1984). "Self-organizing Systems and the Laws of Socio-economic Geography" Brussels Working Papers on Spatial Analysis, Series A, 4.

GRIFFITH, D. A., and LEA, A.C., eds. (1984). *Evolving Geographical Structures*. NATO Advanced Institute Series. Den Haag: Martinus Nijhoff.

GUERMOND, Y. (1983). "Modélisation des Migrarions Alternantes". *L'Espace Géographique* 3, 215-222.

HAAG, G. and DENDRINOS, D.S. (1983). "Toward a Stochastic Dynamical Theory of Location: A Non-Linear Migrations Process". *Geographical Analysis* 15, 3, 269-286.

LOMBARDO, S. and RABINO, G., (1983). *Non Linear Dynamic Models for Spatial Interaction: The Result of Some Empirical Experiments*. Poitiers: Congrès Européen de l'Association de Science Régionale.

LOWRY, I. (1984) *A Model of Metropolis* RM\_4035 RC. Santa Monica: Rand Corporation.

PAELINK, J. (1980) "Dynamic Urban Growth Models". *Papers of the Regional Saciencie Association* 24, 25-37.

PUMAIN, D. and SAINT\_JULIEN, T. (1978). *Les Dimensions du Changement Urbain*. Mémoires et Documents de Géographie. Paris: CNRS.

PUMAIN, D., SAINT-JULIEN, T. and SANDERS, L. (1986). "Urban Dynamics of Some French Cities". *European Journal of Operational Research*, special issue.

PUMAIN, D. (1984). "Vers une Modélisation de la Dynamique Intra-urbaine". *L'espace Géographique* 2, 125-135.

PUMAIN D., SANDERS, L. and SAINT-JULIEN, T. (1985). *Dynamique des Systèmes et Milieu Urbain*. Paris; CNRS. Rapport por le PIREN.

SANDERS, L. (1984). *Interaction sapatiale et Modélisation Dynamique, Application aux Systèmes Urbains*. Université Paris VII, Thèse de 3ème cycle.

WILSON, A.G. (1984) "Making Urban models More Realistic: Some Strategies for Future Research". *Enviroment ad Planning* 16, 1419-32.

TABLA I. Comparación de parámetros calibrados para las cuatro aglomeraciones

Parámetros	ROUEN				BOURDEAUX				STRASBOURG				NANTES			
	IND	TB	TCR	TMR	IND	TB	TCR	TMR	IND	TB	TCR	TMR	IND	TB	TCR	TMR
$\epsilon$	0.7	0.75	0.5	0.5	0.8	0.9	0.5	0.5	0.9	0.85	0.5	0.5	0.8	0.75	0.5	0.5
$\phi$	0.27	0.27	0.1	0.01	0.27	0.27	0.1	0.01	0.27	0.27	0.1	0.01	0.20	0.27	0.05	0.02
$\psi$	0.0027	0.004	0.0051	0.0057	0.0032	0.0043	0.003	0.0036	0.0032	0.006	0.005	0.006	0.008	0.03	0.0025	0.008
$\chi$	0.0029	0.0033	0.0032	0.00187	0.0018	0.001	0.00125	0.00105	0.001	0.002	0.0015	0.00187	0.003	0.009	0.0015	0.0018
$\alpha(\text{center})$	0.08	0.19			0.36	0.31			0.77	0.79			0.18	0.49		
Co	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
r	100	220	160	150	100	220	160	150	100	220	160	150	100	220	160	150
$\beta$			0.25	0.48			0.3	0.5			0.37	0.38			0.41	0.46
Tamaño...	127	93	183	439	420	104	321	416	454	272	373	335	349	11	359	420
TOTAL	389	121	292	561	639	119	714	537	686	303	434	374	425	16	422	501
Parám.	C. Azul	C. Azul	C. Blanco	C. Azul	C. Azul	C. Azul	C. Blanco	C. Blanco	C. Azul	C. Azul	C. Blanco	C. Blanco	C. Azul	C. Azul	C. Blanco	C. Blanco
n	0.36	0.20	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.36	0.36	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.6
b	0.7	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5
v	0.012	0.01	0.018	0.008	0.018	0.018	0.008	0.008	0.025	0.025	0.0115	0.0115	0.005	0.005	0.035	0.035
f	120	150	150	150	120	120	150	150	120	120	150	150	120	120	150	150
Tamaño...	219	316	508	443	508	508	443	443	354	354	586	586	373	373	584	584
TOTAL	582	575	893	768	893	893	768	768	512	512	749	749	583	583	737	737

Nota: IND = industria; TB = terciario básico; TCR = terciario corto alcance territorial; TRM = terciario medio alcance territorial.  
 Tamaño = Tamaño inicial, en cientos, del barrio central. Parám. = Parámetros para la población trabajadora residente.  
 C. Azul = Cinturón Azul; C. Blanco = Cinturón Blanco.

TABLA 2 Componentes de las diferencias de atractivo en cada aglomeración

Categoría de la población	Índice	Componentes de los atractivos	Rouen	Bordeaux	Strasbourg	Nantes
Industria	R	Aglomeraciones económicas	2,3	5,7	62	3,6
	R	Accesibilidad	2,1	2,5	1,5	3,5
	M	Disponibilidad de espacio	2,6	7	6	5,5
Terciario Básico	R	Aglomeraciones económicas	6	25	134	7
	R	Accesibilidad	1,4	2	1,4	2,6
	M	Disponibilidad de espacio	1,6	2,5	2,4	2,3
Terciario Local	R	Aglomeraciones económicas	11	30	110	23
	D <sub>1</sub>	Distancia a los clientes; corta	3,4	3,4	3,4	2
	D <sub>2</sub>	Distancia a los clientes; larga	19	19	19	6
	M	Disponibilidad de espacio	1,0	2,5	3,2	3
Terc.Regional	R	Aglomeraciones económicas	9	226	135	68
	D <sub>1</sub>	Distancia a los clientes; corta	1,3	1,3	1,3	1,3
	D <sub>2</sub>	Distancia a los clientes; larga	1,7	1,6	1,7	2,2
	M	Disponibilidad de espacio	1,9	3,7	3,7	5,0
Collar Azul	R	Tendencias gregarias	2,1	5	3,9	2,2
	D <sub>1</sub>	Distancia al trabajo; corta	2,9	2,8	2	2
	D <sub>2</sub>	Distancia al trabajo; larga	17	11	5	5
	M	Disponibilidad de espacio	1,1	1,1	1	1,1
Collar Blanco	R	Tendencias gregarias	2,7	3,2	4,8	0
	D <sub>1</sub>	Distancia al trabajo; corta	2,3	2,5	2,1	2,1
	D <sub>2</sub>	Distancia al trabajo; larga	9,5	11	7,5	7,5
	M	Disponibilidad de espacio	1	1	1	1,2

Índice R: Valor para la zona del máximo atractivo/valor para la zona con segundo atractivo

M: Valor para la zona del máximo atractivo/valor para la zona con mínimo atractivo

Fig. 1-1

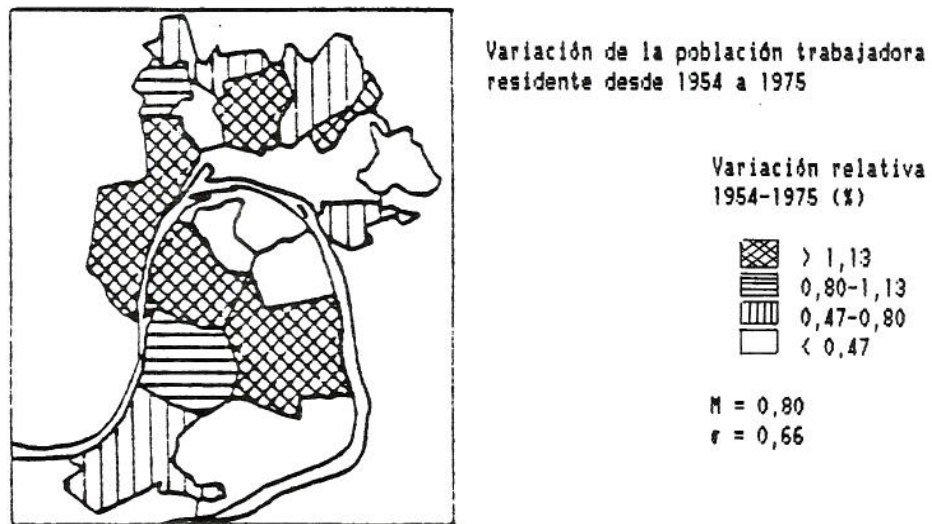
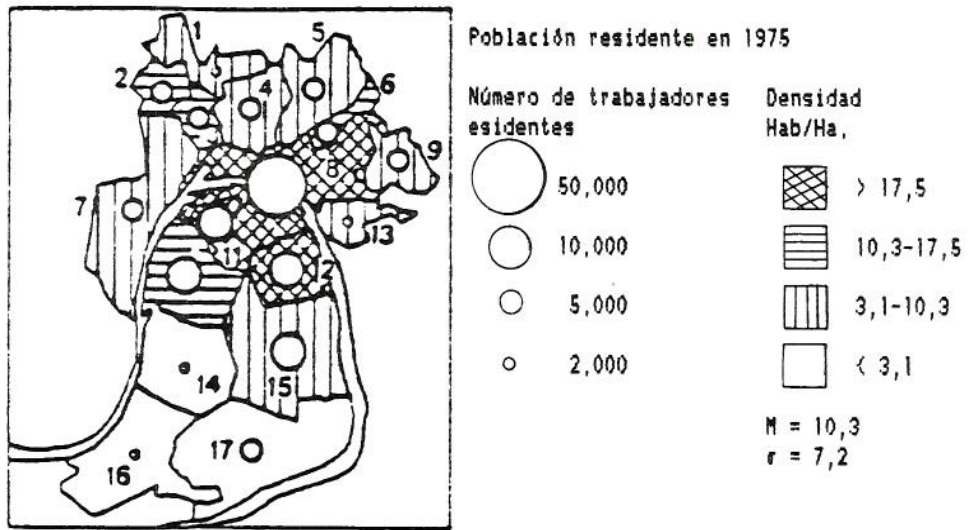
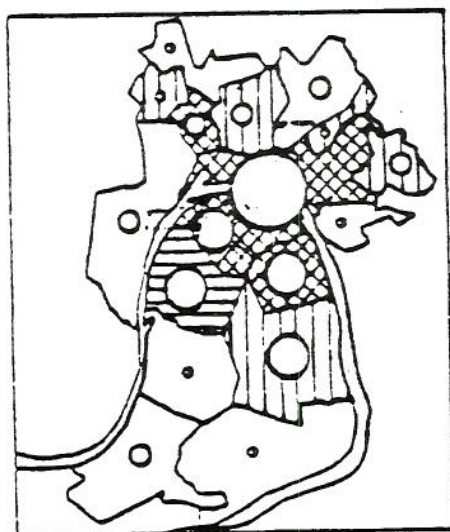
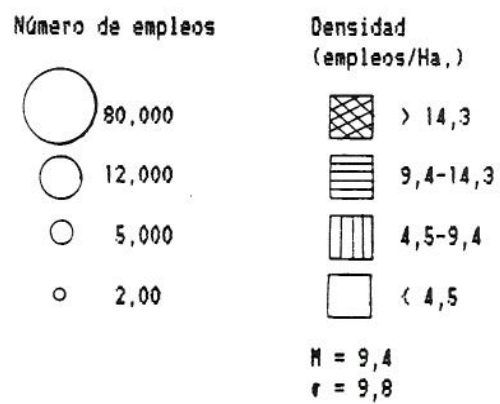


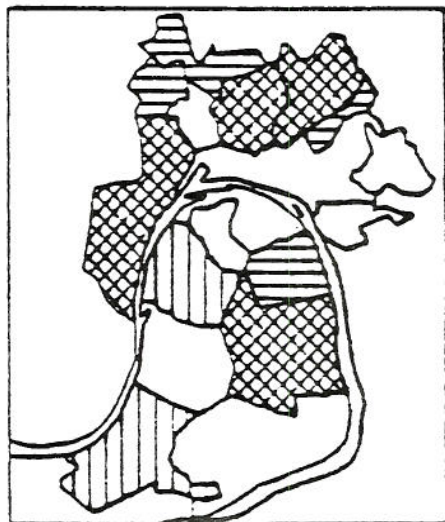
Fig. 1-2



Localización de empleos en 1975



1 número de identificación de la zona



Variación del número de empleos desde 1954 a 1975

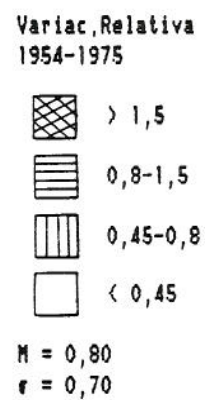
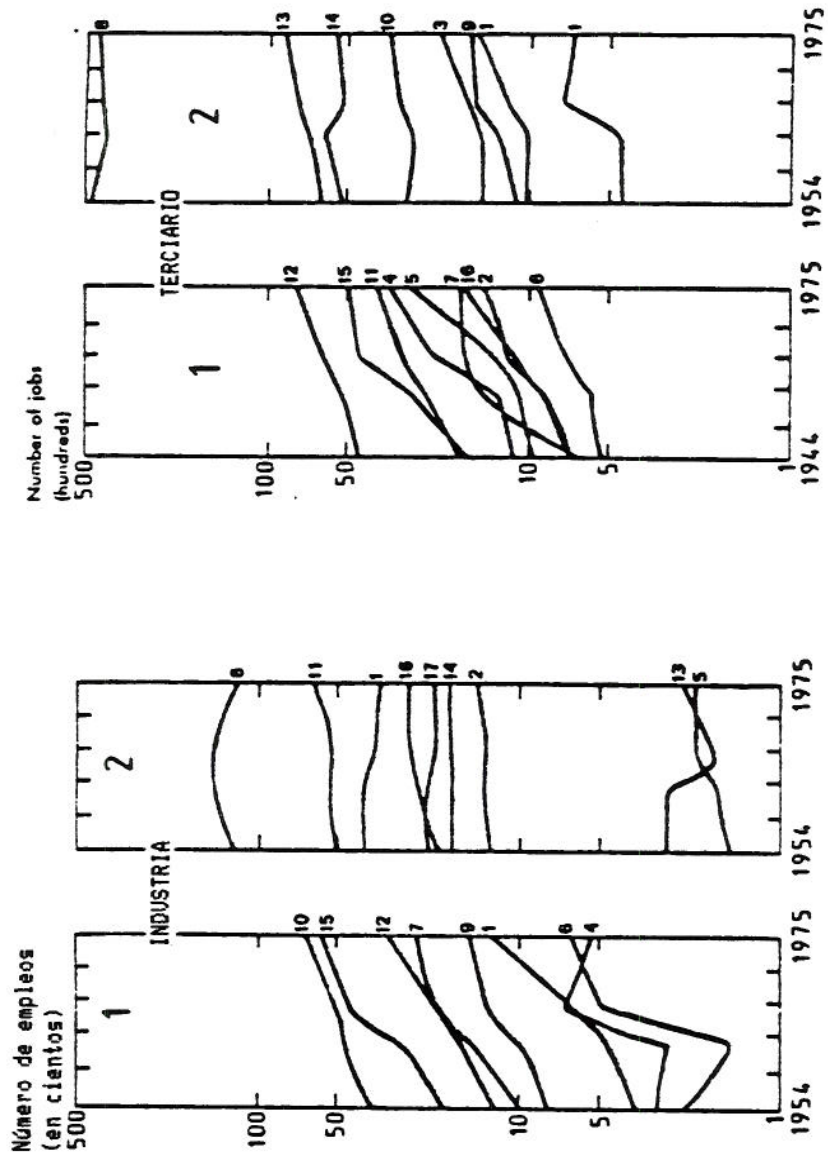


Fig. 2-1



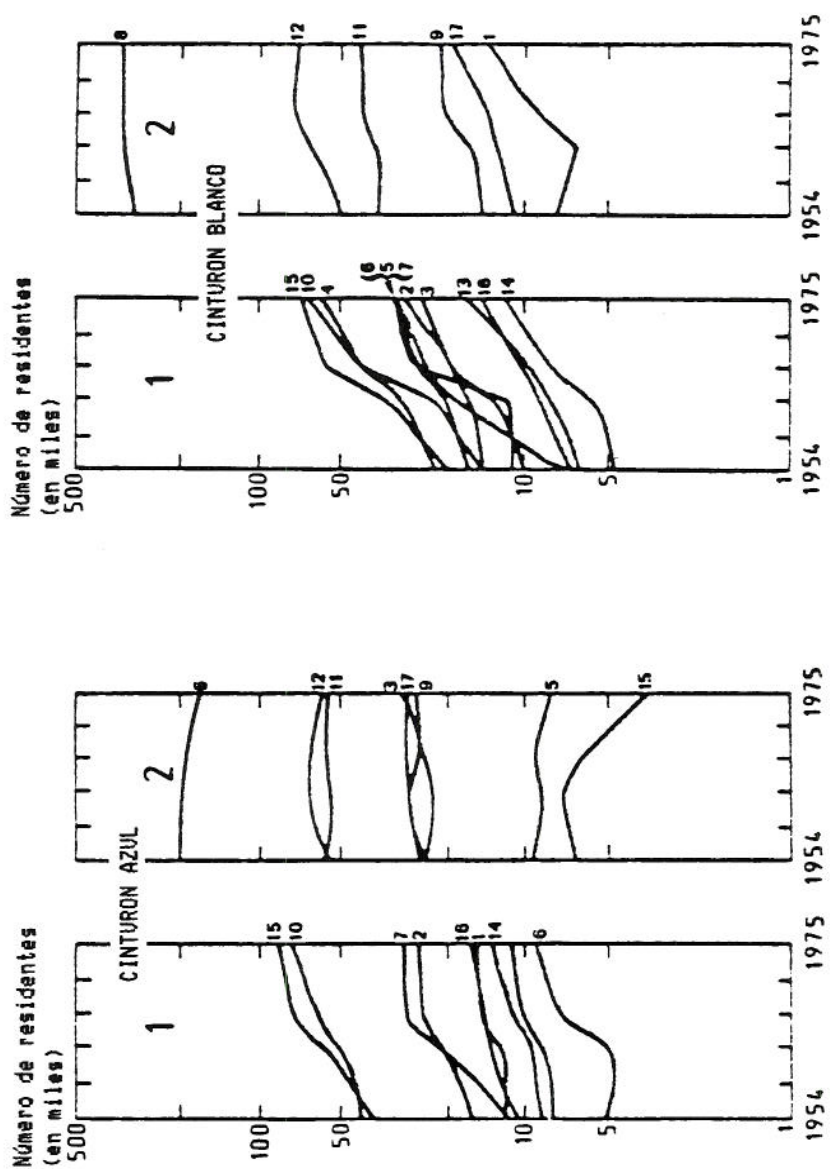





Fig. 2-2

1 Barrios de crecimiento rápido  
 2 Barrios de crecimiento lento

Fig. 3-1

a) TERCARIO DE CORTO  
ALCANCE TERRITORIAL

-  Baja estimación > 25%
-  Residual > 25%
-  Alta estimación > 25%



b) TERCARIO DE MEDIO  
ALCANCE TERRITORIAL







-  Baja estimación > 25%
-  Residual > 25%
-  Alta estimación > 25%






Fig. 3-2

c) CINTURON AZUL

-  Baja estimación > 25%
-  Residual > 25%
-  Alta estimación > 25%



d) CINTURON BLANCO

-  Baja estimación > 25%
-  Residual > 25%
-  Alta estimación > 25%

