

MARIA ESTELA FURLANI DE CIVIT
MARIA JOSEFINA GUTIERREZ DE MANCHON

AFINIDADES ENTRE MODELOS DESCRIPTIVOS Y MODELOS DE SIMULACION DEL CRECIMIENTO URBANO

I. Introducción

Con este trabajo se intenta un acercamiento entre los conceptos derivados de dos posiciones que han abordado el desarrollo interno de las ciudades. Por un lado, el conjunto de modelos descriptivos, inductivos y estáticos ajustados por las ciencias sociales durante más de cien años, que pertenecen a la reflexión de especialistas interesados por diferentes aspectos del fenómeno ciudad; y por otro, el modelo deductivo y dinámico que acuñara Forrester en la década del sesenta, utilizando una metodología sistémica propia. Las siguientes páginas toman como punto de partida los trabajos de Rego¹ sobre la estructura y crítica del modelo urbano de Forrester; y de Barrio y Rego² sobre la relación centro—suburbio en Forrester y en la teoría geográfica. Estos antecedentes motivaron la revisión de aquellas ideas de alguna manera incluidas tanto en el modelo dinámico como en los modelos locacionales. Las ideas aisladas son dos:

- a) La organización a partir de un centro
- b) El proceso de deterioro que afecta a los espacios adaptados para actividades domésticas y empresariales en el área central.

1 REGO, J., *El modelo urbano de Forrester: Estructura, crítica y aplicabilidad al caso argentino*, Mendoza, 1983, 19 p. En prensa.

2 BARRIO, P. y REGO, J., *Relación centro—suburbio supuesta por Forrester y el caso del Gran Buenos Aires*, Mendoza, 1984, 14 p. En prensa.

II. Las ideas locacionales

- a) *La organización a partir de un centro, incluye dos conceptos muy relacionados: el de centralidad y el de pendiente, escalonada o continua, que se produce a partir de un núcleo.*

Teóricamente las ideas se sintetizan así: "Los sitios en las ciudades ofrecen dos bienes, tierra y localización. . . La más deseable propiedad locacional de los sitios urbanos es la centralidad o máxima accesibilidad en el área urbana, ya que las rutas de transporte convergen hacia el centro. . . cuanto menos central es la localidad se incurre en los mayores gastos de transporte y las rentas netas son más bajas. Las funciones de renta declinan con las distancias desde el centro de la ciudad. Sin embargo, la intersección (utilidad derivable de la centralidad máxima) y la pendiente (balance entre renta y distancia) de esta función varían según las actividades, y en un equilibrio locacional competitivo, con cada sitio ocupado por el uso que paga más por la tierra, la estructura espacial del uso del suelo resultante estará zonificada de acuerdo a la accesibilidad relativa. Los precios de la tierra disminuyen hacia afuera y como eso sucede aunque no haya otros cambios, los gastos de tierra serán sustituidos por otros y se reducirá la intensidad del uso del suelo. Por eso pueden esperarse densidades residenciales declinantes"³.

Los modelos de Von Thünen, Burgess, Hoyt, y Harris y Ullman⁴, se estructuran a partir de un núcleo o varios núcleos centrales. No nos detenemos en sus contenidos, en su orientación disciplinaria, o en el espacio afectado, ya que son aspectos muy debatidos, probados, criticados, invocados con diferentes motivos, desde diferentes ángulos de observación en obras sociológicas, económicas y geográficas. Sólo se indicarán o se retendrán las variaciones fundamentales que caracterizan a cada uno. Fig. 1.

Esta centralidad fue magistralmente captada y plasmada en un modelo inspirado en el mundo rural a fines del siglo XVIII y principios del XIX: es el modelo de Von Thünen, donde la distancia representa la variable independiente y es el elemento generador de los "escalones" de variación. Un siglo más tarde el fenómeno urbano contemporáneo, con sus manifestaciones de crecimiento de la población urbana, concentración en las grandes y muy grandes ciudades y la suburbanización, motivó otro modelo descriptivo, con punto de partida en el centro comercial de la ciudad.

Burgess resume sus observaciones en una secuencia de "anillos" concéntricos que limitan 5 zonas: el centro de negocios internos, zona residencial de transición, zona residencial obrera, zona residencial de mejores viviendas, línea extensa con migraciones cotidianas que com-

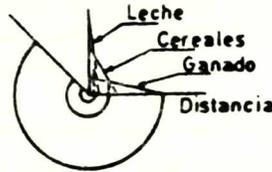
³ BERRY, B., SIMMONS, J. W., TENNANT, R. J., *Urban Population Densities: Structure and Change*, en "Geographical Review", Vol. 53, N^o 3, 1963, pp. 389-405.

⁴ CARTER, H., *El estudio de la geografía urbana*, Madrid, IEAL, 1974, pp. 183-218.
HAGGETT, P., *Análisis locacional en la Geografía Humana*, Barcelona, Gili, 1975, pp. 198-237.

ORGANIZACION A PARTIR DE UN CENTRO CENTRALIDAD

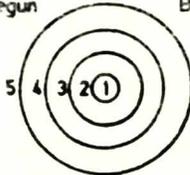
1. Modelo clásico de uso del suelo agrario

Según Von Thünen



2. Modelos clásicos de uso de suelo urbano

Según Burgess



TEORIA DE ZONAS CONCENTRICAS

- 1 Distrito central de negocios
- 2 Zona de transición
- 3 Zona de viviendas de obreros
- 4 Zona de residencias mejores
- 5 Zona de conmutadores

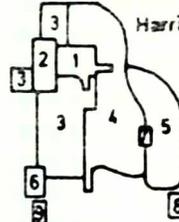
Hoyt



TEORIA DE SECTORES

- 1 Distrito central de negocios
- 2 Mayoristas e industria ligera
- 3 Zona residencial de clase baja
- 4 Zona residencial de clase media
- 5 Zona residencial de clase alta

Harris y Ullman



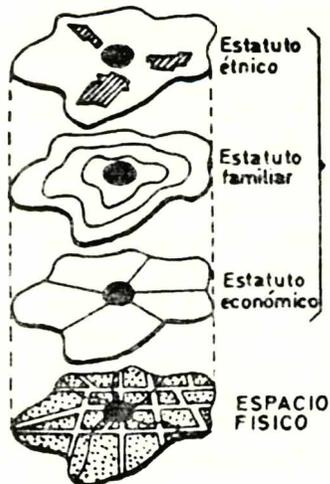
TEORIA DE LOS NUCLEOS MULTIPLES

6. Industria pesada
7. Distritos periféricos de negocios
8. Suburbios residenciales
9. Suburbios industriales

3. La complementación de los modelos urbanos

Según

Murdie



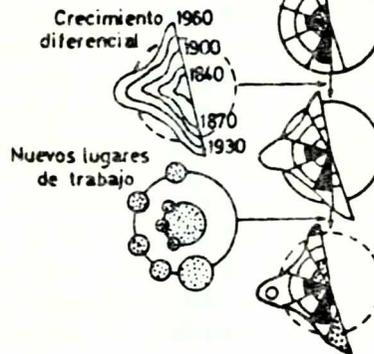
Rees

Sectores económicos



Zonas y edad de la familia

Segregación étnica



1. Tomado de Abler, R.-Adams, J.-Gould, P. - 1972, p. 357
2. Tomado de Chapin, F. - 1977, p. 22
3. Tomado de Racine - 1977, p. 199
3. Tomado de Berry, B. - Horton, F. - 1970, p. 310

prende áreas suburbanas y ciudades satélites.

Junto a la idea de organización en torno a un centro, Burgess introduce otra, de colonización, invasión, crecimiento de cada anillo interno a expensas del externo siguiente. Da idea de un dinamismo interno transformador de los "escalones" o "anillos" de variación.

En torno a un centro se desarrolla el modelo de Hoyt, que afina el anterior al considerar en sus variaciones no sólo la distancia sino también la dirección. No se opone sino que se superpone al modelo de Burgess.

Harris y Ullman, empíricamente, establecieron que la centralidad no es exclusiva de un núcleo único, sino que pueden coexistir varios centros distintos a los cuales puede atribuirse las propiedades o funciones del núcleo único.

Estos modelos no se excluyen sino que se complementan y son la respuesta presentada por científicos con ópticas diferentes, pero en todos los casos conmovidos por los problemas urbanos; en síntesis, provienen de una búsqueda de organización. Murdie⁵, aplicando el análisis factorial logró despejar, cómo el *status* familiar forma en torno al centro urbano una disposición anular, el *status* económico, en sectores, y como sus datos se referían a ciudades norteamericanas, el *status* étnico se difundía en núcleos aislados. El análisis de este autor se completa más adelante con el de Rees⁶, el cual agrega otros factores que también influyen en el modelo urbano: crecimiento diferencial temporal y lugares de trabajo.

Complementa la idea de centralidad la de gradiente, que, como ya se anticipó, puede asumir dos formas: discretas o continuas. Fig. 2.

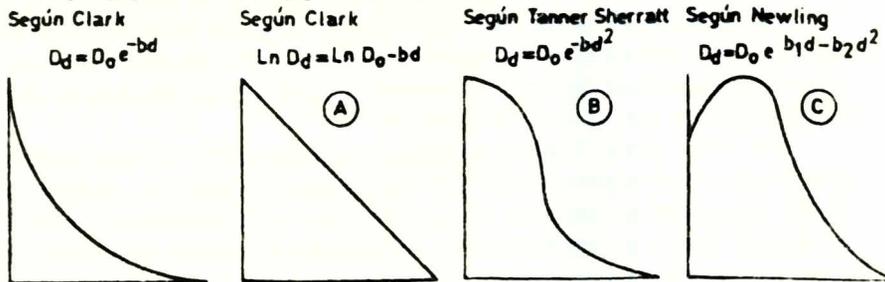
El término gradiente evoca la idea de organización, de cambios ordenados a partir de un centro y que se suceden en relación a la distancia. Sus dos apariencias dependen de la cualidad discreta o continua de la variable. Así las ciencias humanas, han observado variadas pendientes, entre las cuales incluimos, los cambios evidentes que se producen en el uso del suelo agrario, industrial y urbano, y las gradaciones que experimentan la densidad de población y los valores del suelo. Los autores que se han interesado en el primer tema son muy numerosos. En la agricultura, después del modelo de Von Thünen, con su sucesión de explotación lechera y hortícola, de madera, cereales y ganadería. . . se han observado algunas como viña, olivo, cereales en el Mediterráneo, y otros de acuerdo con las condiciones ecológicas, que guían la elección de las clases de cultivos; pero lo fundamental es la variación en la intensidad de la agricultura que es decreciente a partir del centro. En relación a la industria, Martín, ha diseñado para el gran Londres una zonificación que inician las industrias gráficas de confección. . . , segundo, los depósitos e industrias como la de mue-

5 MURDIE, R. W., *Factorial ecology of metropolitan Toronto. 1951-1961*, Chicago, Universidad de Chicago, Res. Pap. 116, 1969, pp. 5-8.

6 REES, P. H., *The Factorial Ecology of Metropolitan Chicago* (Master's Thesis), en: BERRY, B., HORTON, F. E., *Geographic perspectives on urban systems*, New Jersey, Prentice Hall, 1970, pp. 308-394.

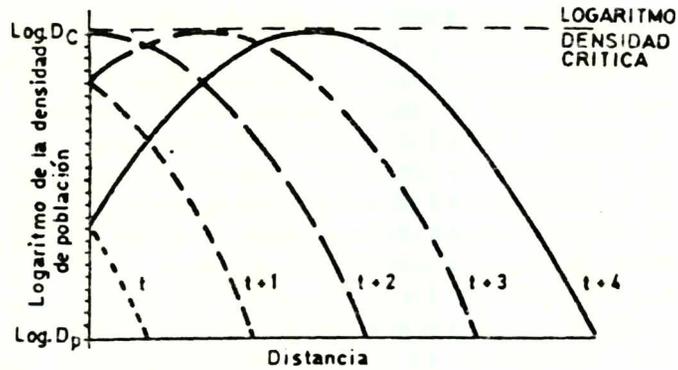
PENDIENTE

4. Gradientes de densidad



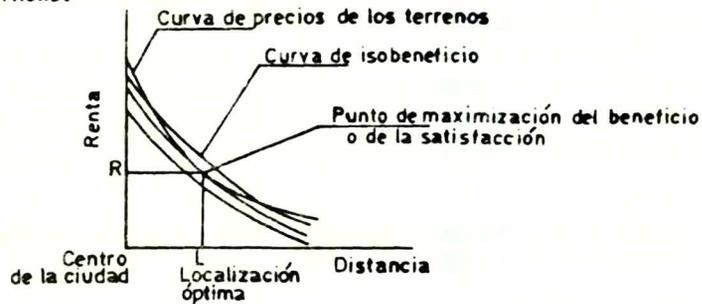
5. Curvas de densidad de población entre un tiempo t_0 y un tiempo t_4

Según Newling



6. Gradientes de valores del suelo

Según Alonso



4 - Tomado de Haggett, P - Cliff, A - Frey, A - 1977, p.194

5 - Tomado de Newling, B - 1965, p.249

6 - Tomado de Ciceri, M - Marchand, B - Rimbert, S - 1977, p.67

bles y productos alimentarios; en tercer lugar, las de material eléctrico, y finalmente el montaje de automóviles, mecánica pesada y refinería.

Brian Berry establece la sucesión comercio de venta al detalle, área industrial y comercial, y barrios de viviendas familiares, múltiples e individuales.

Estos trabajos se han divulgado en su aspecto más simple, aunque están encuadrados en contextos teóricos más o menos profundos. Sin embargo, limitándonos al problema urbano, las pendientes de densidad, también han atraído la atención.

En 1951, Colin Clark⁷ estableció una ecuación, la que expresa que la densidad urbana, al margen del tiempo y el espacio, declina de modo exponencial negativo en relación con la distancia al centro de la ciudad. Apoya su argumento con el estudio de treinta ciudades a lo largo de ciento cincuenta años. A pesar de las críticas, su contribución es esencialmente la idea de la variación sistemática de la densidad de población urbana. Berry, Simmons y Tennant modifican la ecuación de Clark, considerando que la densidad varía en relación al cuadrado de la distancia. Para explicar la atenuación relativa de ese fenómeno en el centro, observan algunas de las debilidades del modelo y comprueban que hay desvíos con respecto a él ligados al tamaño de la ciudad, su evolución en el tiempo, tipo de cultura, y agregan: "La ciudad occidental de mayor tamaño evoluciona en el tiempo hasta alcanzar los estadios de desconcentración, en el que disminuye la densidad del centro, y suburbanización o descompactación, en la que disminuye el gradiente de densidad"⁸. Más adelante Newling⁹ intenta describir el descenso absoluto que provoca lo que él llama "efecto de cráter". Su fórmula exponencial cuadrática se adapta a las tres etapas que el autor distingue en una ciudad: juventud, descrita por Clark, madurez, explicada por Berry, Simmons y Tennant, y vejez. Introduce una noción que enriquece el modelo de densidades urbanas: la densidad crítica. Corresponde en un punto de la ciudad a un "umbral" hacia el que tienden a ascender las densidades para luego declinar. Especifica este escalón en término de costo social, advirtiendo que las densidades sobre el óptimo provocan condiciones que llevan a una caída autorreguladora de densidad.

De acuerdo con las metas de este trabajo, y ahora en relación al valor del suelo, se toman las palabras de Hurd¹⁰, quien en 1903 escribía: "el valor en el terreno urbano, como en el agrícola, es el resultado de la renta económica o de suelo capitalizada. . . en las ciudades, la

⁷ CLARK, C., *Urban Population Densities*, en "Journal of the Royal Statistical Society", London, Series A, 114, 1951, pp. 490-496.

⁸ *Ibidem*, pp. 404-405.

⁹ NEWLING, B., *The spatial variation of urban population densities*. En: "Geographical Review", Vol. 59, N^o 2, 1969, pp. 242-252.

¹⁰ HURD, R. M., *Principles of city land values*, New York, 1924, cit. por CARTER, *op. cit.*, pp. 207-208.

renta económica se basa solamente en la superioridad de situación, siendo la única función de la ciudad proveer un área para la construcción de edificios. . . Ya que el valor depende de la renta económica, y la renta de la localización, y la localización de la conveniencia, y la conveniencia de la proximidad, debemos eliminar los escalones intermedios y decir que el valor depende de la proximidad. . . Concluye. . . el gusto y la preferencia individual y colectiva, según se expresa en las costumbres y hábitos sociales”.

Otros muchos —Berry, Colby, Garner, Hamilton, Johnson, Murphy, Simmons —han tratado el tema, pero es a nuestro criterio el modelo de Alonso¹¹, el que representa mejor el problema. Tiene una formulación deductiva, es riguroso, y se orienta hacia el valor del suelo residencial.

Deduca que el valor fluctúa según la maximización de las satisfacciones; que resulta de la combinación de tres factores: accesibilidad, cantidad de terreno y el balance de los ingresos y egresos por transporte, bienes. . .

Esta revisión muestra que la accesibilidad y las preferencias, colman los espacios centrales, hasta un punto crítico, en el que se inician cambios, cuyo aspecto visible es el deterioro.

b) *El deterioro de los espacios adaptados para actividades domésticas y empresariales en el área central.*

Es un tema que no puede desgajarse del de diferenciación urbana a partir de un centro. Explícitamente está desarrollado por Burgess, Newling, los que también observaron dinamismo al expresar, invasión, sucesión, sustitución, renovación, en sus trabajos. Son fenómenos descritos con mucho detalle por la ecología humana, de carácter cíclico y de naturaleza muy diferente a la de los procesos puramente económicos. Comenta Rimbert: “Los barrios situados inmediatamente alrededor del centro de negocios han sido mucho tiempo el reducto de los económicamente débiles, esto se explica por consideraciones psicológicas, los ricos huyen de las viviendas degradadas y exiguas del centro, para buscar casas con jardín en la periferia para luego volver al corazón histórico renovado”¹².

Estas mutaciones de los paisajes urbanos son aplicables al descender al nivel de la calle en las ciudades argentinas más grandes y observar en las áreas centrales el deterioro, y los espacios vacíos y ocupados por playas de estacionamiento, que son el prólogo a un nuevo ciclo de ocupación.

III. El modelo urbano de Forrester

Los temas precedentes provienen de modelos descriptivos, pero

¹¹ ALONSO, W., *Location and land use*, Cambridge, MASS, 1964.

¹² RIMBERT, S., *Les paysages urbains*, Paris, Colin, 1973, p. 201.

planificar requiere modelos de simulación, como los de gravedad, en los que también juega destacado papel la función distancia. Se les atribuye el "defecto" de ser parciales, limitados a una variable individual aislada; sin embargo, todos los problemas urbanos se caracterizan por estar interrelacionados y es fundamental captar esas interrelaciones. Empresa muy difícil, a tal punto que establecer conexiones sólo entre dos subsistemas significa ya tratar con un modelo general.

Entre estos últimos se cita el modelo de Lowry y el de Forrester. El primero persigue un doble objetivo: prever el nivel y la localización de las actividades. Sus componentes son la población, el empleo y los medios de comunicación. Es muy utilizado por los encargados de planeamiento urbano debido al interés que presenta su propuesta espacial, pero¹³ se le critica el carácter estático y de equilibrio variable.

Aunque poco probado empíricamente y cuestionado en varios aspectos, el modelo de Forrester interesa porque es dinámico, establece etapas y su duración; pero además, Forrester afirma que su interés fundamental es reproducir la estructura de los problemas urbanos¹⁴.

Siguiendo a Rego¹⁵ se puede explicar sucintamente la metodología, estructura y dinámica del modelo de Forrester.

Sobre la base de una metodología sistémica y apoyado en conceptos de control de sistema y teoría de la toma de decisiones, Forrester elabora el modelo de la dinámica urbana, el cual se desdobra en una descripción de los elementos constitutivos, la interacción que entre ellos se suscita y una simulación de su trayectoria en el tiempo.

A través del modelo, el autor describe las fuerzas causantes de movimientos de población hacia y desde la ciudad. Son estos cambios los que producen el crecimiento, la transición y decadencia de cualquier área urbana. Componen el modelo tres subsistemas primarios que expresan la actividad económica, vivienda y población. Toma como fundamentales tres aspectos del hecho urbano: a) el uso de la tierra como límite al crecimiento económico; b) la atracción urbana como factor que regula el movimiento de población; c) el envejecimiento y obsolescencia de las estructuras urbanas. Afirma Rego¹⁶ que el supuesto básico del subsistema económico en Forrester es que la dinámica económica es clave para explicar la vida de la ciudad, ya que al generar actividad atrae más actividad económica, la cual es medida por la cantidad de edificios que a ella se destinan porque el espacio adaptado de un negocio representa uso del suelo, empleo, tasas, capital invertido. . . Al iniciarse el proceso de ocupación de una ciudad hay baja densidad, la construcción aumenta; a medida que es mayor la densidad, aparecen signos de envejecimiento en la infraestructura de la actividad económi-

¹³ LEE, C., *Modelos de Planificación*, Madrid, Pirámide, 1975, pp. 123-137.

¹⁴ WILSON, G., *Geografía y planeamiento urbano y regional*, Barcelona, OIKOSTAU, 1980, pp. 291-295.

¹⁵ REGO, J., *op. cit.*, pp. 2-8.

¹⁶ *Ibidem*, p. 4.

ca. Así se limita el proceso de crecimiento empresarial que, sin estos frenos, sería de tipo exponencial.

Por su parte, la población tratada como otra variable de estado es medida por sus elementos positivos, natalidad e inmigración; y negativos, mortalidad y emigración. Semejante al caso anterior, un aumento de la densidad estimula en un primer momento la inmigración y luego la desalienta.

La vivienda, tercera variable del modelo, regula la población, anima la construcción de nuevas viviendas y compite con la infraestructura de la actividad económica por el uso de la tierra. "Demasiada vivienda en el área aleja la inversión en edificios destinados a generar empleo, lo cual produce a su vez desocupación"¹⁷.

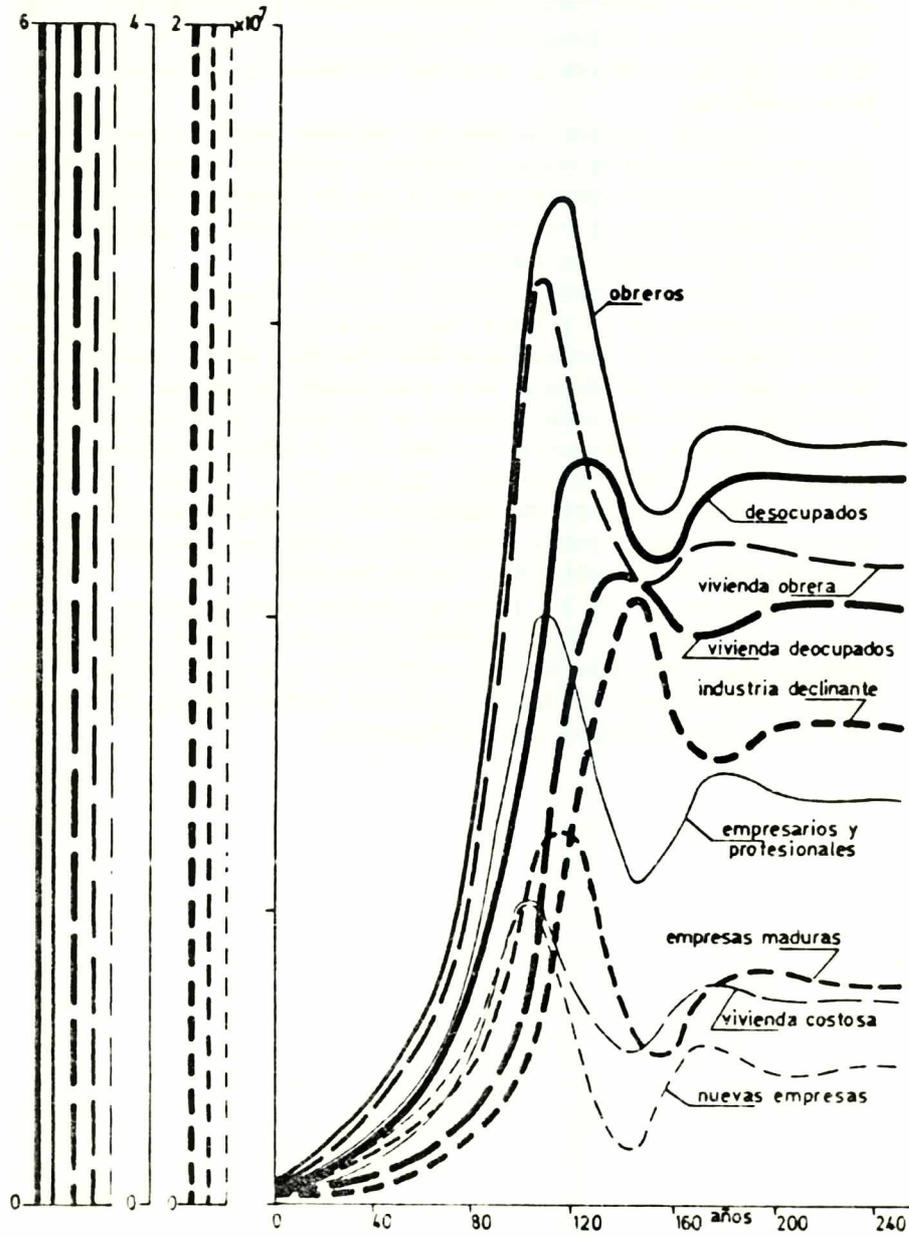
Por último, Forrester muestra el modo en que interactúan los tres subsistemas, en un proceso que abarca desde la iniciación de un sector interior de la ciudad hasta 250 años después. La simulación la realiza con nueve variables de nivel o causantes del sistema urbano. La población clasificada según el modo de participar en la vida económica en tres niveles, el directivo—profesional, empleado y subempleado; el subsistema vivienda dividido de acuerdo con la calidad y antigüedad en, viviendas de lujo, de trabajadores y subempleados, y por último el subsistema empresarial subdividido también en empresas de nueva formación, bien establecidas y en declinación.

El diagrama¹⁸ Fig. 3 expresa la interacción de las nueve variables a lo largo del tiempo. A un notable crecimiento exponencial de los primeros cien años sucede un decrecimiento más o menos destacado porque se sobrepasan niveles de equilibrio, hecho que se atribuye a la saturación de la superficie urbana disponible.

¹⁷ *Ibidem*, p. 4-5.

¹⁸ *Ibidem*, p. 6-7.

DESARROLLO, MADURACION Y ESTANCAMIENTO URBANO
SIMULADO POR EL MODELO DE FORRESTER



El modelo fue corrido usando el compilador DYSMAP desarrollado en la Universidad de Bradford, UK, que es equivalente a DINAMO, usado en MIT. Reproduce con otro formato la figura de Dinámica Urbana.

Tomado de Rego, J.-1983, p. 7

IV. Conclusiones

Retomando las dos posiciones con las que se presenta este trabajo y habiendo hecho notar los puntos de contacto entre ellas se concluye que, a propósito de los cambios de densidad a partir de un centro y del proceso que conduce al deterioro ambiental—poblacional, con su posterior difusión, y después de numerosas evidencias empíricas, las ciencias sociales han logrado una formulación teórica que se sintetiza en dos axiomas: la densidad de población declina con la distancia al centro de la ciudad y el gradiente de densidad declina con el tiempo. De ellos derivan un conjunto de supuestos fundamentales como el que establece la alometría del crecimiento intraurbano; la relación inversa entre densidad y tasa de crecimiento, la existencia de una densidad crítica, que afecta primeramente al centro de la ciudad, y con el tiempo se traslada hacia la periferia urbana. Esta densidad crítica va unida a una serie de trastornos económicos y sociales. Estos últimos presupuestos se han comprobado especialmente en ciudades del mundo occidental, pero se contradicen en otras culturas y en diferentes etapas de la evolución de una ciudad. Agreguemos que dentro de esta línea de pensamiento el cambio de densidad se explica por la teoría del valor del suelo urbano.

Es indudable el valor científico de los aportes precedentes, pero el modelo dinámico de Forrester, además de medir por ecuaciones todas las interacciones que explican estos fenómenos, los proyecta hacia el futuro, en largos plazos, con cortes en puntos bien delimitados. De este modo la perspectiva del autor de *Urban Dynamics* no sólo descubre el mecanismo de un proceso sino que abre nuevas posibilidades a los estudios urbanos, y en especial a las políticas urbanas.