

La Serie Universitaria de la Fundación Juan March presenta resúmenes, realizados por el propio autor, de algunos estudios e investigaciones llevados a cabo por los becarios de la Fundación y aprobados por los Asesores Secretarios de los distintos Departamentos.

El texto íntegro de las Memorias correspondientes se encuentra en la Biblioteca de la Fundación (Castello, 77. Madrid-6).

La lista completa de los trabajos aprobados se presenta, en forma de fichas, en los Cuadernos Bibliográficos que publica la Fundación Juan March.

Estos trabajos abarcan las siguientes especialidades: Arquitectura y Urbanismo; Artes Plásticas; Biología; Ciencias Agrarias; Ciencias Sociales; Comunicación Social; Derecho; Economía; Filosofía; Física; Geología; Historia; Ingeniería; Literatura y Filología; Matemáticas; Medicina, Farmacia y Veterinaria; Música; Química; Teología. A ellas corresponden los colores de la cubierta.

Edición no venal de 300 ejemplares, que se reparte gratuitamente a investigadores, Bibliotecas y Centros especializados de toda España.

Este trabajo fue realizado con una beca en el Extranjero, 1973. Departamento de Arquitectura y Urbanismo.

Fundación Juan March



FJM-Uni 23-Bas
Un modelo simple estático : aplicaci
Bastarache Alfaro, Manuel.
1031741



Biblioteca FJM

Fundación Juan March (Madrid)

SERIE UNIVERSITARIA



Fundación Juan March

Un modelo simple estático. Aplicación a Santiago de Chile

Manuel Bastarache Alfaro

FJM
Uni-
23
Bas

23

Un modelo simple estático/Manuel Bastarache Alfaro

Fundación Juan March
Serie Universitaria



23

Un modelo simple
estático.
Aplicación
a Santiago de Chile

Manuel Bastarache Alfaro



Fundación Juan March
Castelló, 77. Teléf. 225 44 55
Madrid - 6

Fundación Juan March (Madrid)

La Fundación Juan March no se solidariza necesariamente con las opiniones de los autores cuyas obras publica.

Depósito Legal: M – 6048 – 1977
I. S. B. N.: 84 - 7075 - 044 - 5
Ibérica, Tarragona, 34.– Madrid-7

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
1 DESCRIPCION DE LOS SUBMODELOS	2
1.1. Actividades	2
1.2. Submodelo residencial	5
1.3. Submodelo de empleo de servicio	13
1.4. El stock	18
1.5. Submodelo de stock	23
2 EL MODELO SIMPLE ESTATICO	26
3 APLICACION A SANTIAGO DE CHILE	33
3.1. Breve descripción de la ciudad	33
3.2. El programa	34
3.3. Resultados obtenidos	37
4 UN MODELO DE EMPLEO BASICO	40
4.1. El modelo	40
4.2. Los submodelos	42
5 APLICACION A SANTIAGO DE CHILE	46
5.1. El programa	46
5.2. Resultados obtenidos	47
CONCLUSIONES	48
REFERENCIA	51

Este trabajo se ha realizado gracias a la concesión de una beca de estudios al autor del mismo por la Fundación Juan March, y al centro Land Use and Built Form Studies, donde se llevó a cabo.

En primer lugar he de agradecer a Marcial Echenique (Director del LUBFS) tanto mi admisión en el centro como su supervisión durante el curso académico 1973-74.

Asimismo quiero expresar mi agradecimiento a los compañeros de trabajo, Mario Kruger, Ian Williams, Richard Baxter y Chris Doubleday, y muy especialmente a Tomás de la Barra por su ayuda en todo momento.

SUMARIO

El trabajo presentado describe fundamentalmente un modelo simple estático, desarrollado teóricamente en el centro LUBFS, y su aplicación posterior a Santiago de Chile.

El objetivo final de una simulación de este tipo es la exploración de diferentes políticas de planeamiento como ayuda a la toma de decisiones posterior.

Para ello, se exponen, en los dos primeros capítulos, las bases teóricas en las que se apoyan los submodelos, el funcionamiento de éstos y el resultado final del simple estático para, a continuación, en el tercer capítulo, aplicarlo a la ciudad de Santiago.

En los capítulos cuatro y cinco se expone un modelo de empleo básico, desarrollado como nexo de unión entre la estructura urbana y regional y su aplicación, junto con el simple estático, a un área ampliada de la ciudad, dejándolo apto para la exploración de políticas de planeamiento.

La simulación obtenida del submodelo de stock es la primera que se lleva a cabo con datos reales. El modelo de empleo básico no ha sido aplicado a ninguna otra ciudad hasta la fecha, por lo que los resultados son lo suficientemente satisfactorios como para invitar a investigaciones posteriores.

INTRODUCCION

Este escrito tiene por objeto la simulación de las actividades residenciales y de empleo, ubicación del stock, viajes al trabajo y servicios, para la ciudad de Santiago de Chile con los datos recogidos en el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo durante el año 1973.

Una primera simulación de este tipo fue realizada en el centro LUBFS de la Universidad de Cambridge, para verificación de la teoría sobre la que se asienta el modelo, aplicándolo a Reading, Cambridge, Stevenage. La simulación de Santiago fue incompleta ya que no se contaba con datos reales de stock por lo que los resultados fueron proporcionales a los que debieran haberse obtenido. En este trabajo se llena el hueco que existía, completando la aplicación anterior.

Para la lectura del estudio se suponen conocimientos muy generales sobre modelos y programación en FORTRAN IV; aunque algunos de los estudios están ya publicados, expondré sintéticamente los tres submodelos y sus bases teóricas así como algunos trabajos anteriores.

Se expone brevemente el programa utilizado, las pruebas necesarias para la calibración del modelo y, finalmente, la aplicación conjunta con el modelo de empleo básico.

1 DESCRIPCION DE LOS SUBMODELOS

La estructura espacial urbana se define en Echenique (1968) como el resultado de un proceso que localiza objetos y actividades en parcelas dentro de un área determinada.

Podemos distinguir dos aspectos interdependientes entre sí: el proceso que localiza actividades y el espacio donde éstas tienen lugar. Chapin utiliza los términos de "within place" y "between place" para denominar las actividades que se dan "en" o "entre" diferentes lugares, formalizándose en dos diferentes modelos: el modelo de actividades y el modelo de stock. El primero de ellos se subdivide a su vez en submodelo de localización residencial y submodelo de empleo de servicio que simulan la localización de las actividades dentro de la superficie construida o stock -el stock tiene un proceso de cambio mucho más lento que las actividades por lo que esta diferenciación es básica-.

1.1 Actividades

El modelo se basa en una teoría general de actividades:

$$Pr: a(i) = f(x_{a1}, x_{a2}, \dots, y(i)_1, y(i)_2, \dots, z(i)_1, z(i)_A)$$

donde la probabilidad Pr de que una actividad se localice en una zona es función de:

1) Las características de la actividad $a(x_{a1}, \dots, x_{an})$.

2) Las características de la zona i ($y(i)_1, \dots, y(i)_i$).

3) La relación entre la zona i y otras actividades A ya localizadas $A(z(i), \dots, z(i)_A)$ expresada en accesibilidad.

El modelo distingue tres actividades principales: empleo básico, empleo de servicio y actividad residencial, determinando el primero la localización de los otros dos. Se considera empleo básico el que genera productos exportables, siendo el resto empleo de servicio (consumo).

La localización de la residencia se basa en las conexiones entre empleo y residencia a través de los viajes al trabajo. La localización de los servicios se basa, a su vez, en las conexiones entre los residentes y los servicios a través de los viajes al servicio.

Para el planteamiento general del tema utilizaremos matrices operadores de la siguiente forma:

Denominamos con letras mayúsculas matrices cuadradas.

Con letras minúsculas vectores (matrices de una columna).

Vectores con asterisco: p^* , empleo básico.

Vectores con dos asteriscos: p^{**} , empleo de servicio.

Letras minúsculas con acento: u' , matrices diagonales.

Letras griegas, parámetros referidos al empleo básico.

Letras griegas con acento, parámetros referidos a la actividad residencial.

Letras griegas con dos acentos, parámetros referidos al empleo de servicio.

Letras griegas con tres acentos, parámetros referidos al stock.

Consideramos un área dividida en zonas. La localización residencial puede conocerse aplicando un operador A que distribuye las personas que trabajan en una zona j sobre otra zona i, de forma que $\sum_i (i,j)=1$ para cada j.

Por ejemplo: $r^*(i) = A(i,j) q^*(j) \quad (1)$

siendo: $r^*(i)$ = número de empleos básicos que viven en i

A = operador que se basa en un modelo conocido.

En la ecuación (1) existe un r_{\max} que lo basamos en un modelo de superficie construida o stock: $r_{\max} = w'^{-1} f$

siendo: w' = estándar mínimo de superficie residencial

f = vector que representa el stock

Llamando ahora u' a la tasa de participación laboral:

$p^* = u' r^*$ por lo que:

$$p^* = u' A q^*$$

La localización de los servicios puede encontrarse mediante un operador B que distribuye la población que tiene actividades de servicio en i y que viven en j, de forma que $\sum_i (i,j)=1$ para cada j.

Por ejemplo: $s(i) = B(i,j) p^*(j)$

siendo: $s(i)$ = personas con actividad de servicio en i

El operador B se basa en un modelo conocido.

Existen un s_{\min} que impide que $s(i)=0$ y un s_{\max} determinado por la disponibilidad del stock, tal que:

$s_{\max} = w''^{-1} f$, obtenido mediante el modelo de stock.

siendo f el vector que representa el stock y w'' el es-

táandar mínimo de superficie para actividad de servicio. Multiplicando ahora $s(i)$ por la proporción: empleo de servicio/población servida, representada por un operador v^* , nos dará el vector de empleo de servicio q^{**} :

$$\text{como: } s = B p^* \quad q^{**} = v^* B p^*$$

Este vector necesita más espacio para la actividad residencial obteniendo un $p^{**} = u^* A q^{**}$, que a su vez, necesitará más servicio y espacio para residir,...etc., obteniendo así un proceso iterativo que finalizará cuando no haya más residentes que distribuir ni más espacio que repartir, alcanzándose un estado de equilibrio. La cantidad de espacio en cada zona dedicada a actividad residencial será el sobrante de superficie (stock) una vez que se haya repartido la correspondiente al empleo básico y al de servicio.

1.2 Submodelo residencial

El propósito del modelo de localización residencial es la simulación de la oferta y demanda del mercado de residencias que, aunque se rigen por leyes muy complejas, es posible obtener una representación aceptable si utilizamos datos muy agregados.

La hipótesis más simple, de la que Wilson parte, es la siguiente: los inquilinos tienden a localizarse en lugares de residencia próximos a sus puestos de trabajo y el número de personas que viven en una zona y trabajan en otra descende a medida que la distancia aumenta.

Lowry estableció la hipótesis de la siguiente manera:

$$P_i = g \sum_j E_j f(c_{ij})$$

donde f es una función del coste de viaje y g es constante. Lowry afirma que el total de trabajadores que viven en una zona i y trabajan en otra j es igual al número de empleos en j por una función del coste de viaje:

$$T_{ij} = E_j f(c_{ij}) \quad (1)$$

En Wilson (1969) se desarrolla esta ecuación a partir de la noción de entropía. Si p_{ij} es la probabilidad de que un trabajador que vive en i trabaje en j :

$$p_{ij} = T_{ij} / E_{ij}$$

siendo la entropía de esta ecuación:

$$S_j = - \sum_i p_{ij} \ln p_{ij}$$

que maximizada con el condicionante: $\sum_i p_{ij} c_{ij} = \bar{c}_j$

$$p_{ij} = \exp(-\beta_j c_{ij}) \quad (2)$$

siendo β_j el multiplicador de Lagrange asociado a la ecuación tomada como condicionante.

Si p_{ij} se reemplaza por $T_{ij}/K E_{ij}$

$$T_{ij} = K E_{ij} \exp(-\beta_j c_{ij}) \quad (3)$$

si además del anterior condicionante consideramos:

$\sum_i p_{ij} = 1$ maximizando S_j obtenemos:

$$T_{ij} = B_j E_j \exp(-\beta_j c_{ij})$$

siendo $B_j = 1/\sum_i \exp(-\beta_j c_{ij})$ el multiplicador de Lagrange.

Wilson introduce una medida de atractividad para la residencia, convirtiéndose la ecuación anterior en:

$$T_{ij} = B_j V_i E_j \exp(-c_{ij})$$

siendo: $B_j = 1/\sum_i V_i \exp(-c_{ij})$

Más adelante veremos la forma como se concreta la medida de atractividad que por ser una noción bastante compleja no resulta fácil de medir ya que en muchas ocasiones las zonas más densas son las más atractivas, por lo que serían las áreas donde el modelo situaría mayor cantidad de stock disponible lo que representaría una contradicción, las zonas más densas se densificarían aún más.

A continuación nos referiremos al submodelo de localización residencial siguiendo a Echenique, Crowther y Lindsay en sus trabajos hechos al respecto.

Veamos brevemente como está estructurado el modelo de Lowry: el empleo básico es el dato previo utilizado en las iteraciones sucesivas, simulando la localización de los residentes y el empleo de servicio (para mejor información sobre el empleo consúltese a Garner -1967- y Massey -1970-).

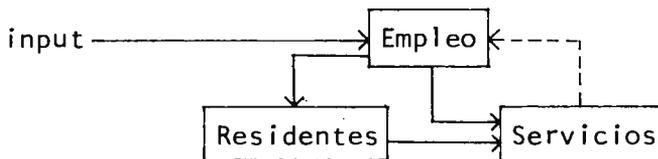


Figura 1. Diagrama del modelo de Lowry.

El modelo trabaja de la siguiente manera: La población

residencial que depende del empleo básico es distribuida en las zonas de la ciudad así como los empleos de servicio, terminándose la primera iteración. A continuación el empleo de servicio, ya localizado, es input de la siguiente generando residentes que, a su vez, generan nuevo empleo de servicio, terminándose la segunda iteración, y así sucesivamente hasta alcanzar un equilibrio. Lowry expresa la localización residencial:

$$R_j = \sum_i E_i u d_{ij}^{-\theta}$$

siendo: R_j = residentes en i

E_i = empleados que trabajan en j

u = tasa de participación laboral

d_{ij} = distancia entre i y j

θ = parámetro

Para que $\sum_j R_j = \sum_i E_i u$ Lowry utiliza el factor de igualación: $P_j = R_j \sum_i E_i u / \sum_j R_j$ que es una identidad.

En el caso de que θ sea bajo los residentes se distribuyen arbitrariamente en la ciudad, mientras que si θ es alto lo harán cerca de los lugares de empleo.

Respecto a la distancia, Lowry la mide en línea recta por lo que introduce medidas no reales, es preferible, por tanto, medirla a través de las vías rodadas, ya que dos zonas pueden estar muy cercanas y tener, a pesar de ello, muy mala accesibilidad por carretera o vía urbana. En cuanto al valor de θ se ha comprobado que se obtienen bajos valores para zonas de alto estándar económico, obteniéndose altos en caso contrario, cosa expli

cable pues los residentes de mayores ingresos emplean más dinero en transporte que los de bajos ingresos, por lo que es necesario una calibración del modelo en cada caso real.

No obstante, pueden hacerse varias críticas al modelo de Lowry, en especial dos importantes: La primera es que, por la función de distancia usada, la población residencial se localizaría en los centros de mayor actividad de empleo, cosa que no ocurre en la realidad. La segunda es que no utiliza medida de 'atractividad' para cada zona, esto es, una medida que exprese que unas zonas son más apetecibles que otras y, al mismo tiempo, tengan mayor capacidad de absorción de población residencial. Estos problemas se pueden resolver análogamente a como lo hace March: introduciendo una función exponencial, de la siguiente manera:

$$R_j = \sum_i A_i E_i u W_j f(d_{ij}) \quad (1)$$

siendo: W_j = una medida de capacidad de la zona i

$A_i = 1/\sum_j W_j f(d_{ij})$ = atractividad de la zona i
al competir con todas las demás

Este sistema tiene las siguientes ventajas:

- La población residencial puede ser distribuida heterogéneamente en toda la ciudad.
- Se suprime el factor que Lowry utiliza para evitar la congestión y altas densidades (R_{\max}).
- Los remanentes de empleo de servicio que se generan en cada iteracción pueden ser redistribuidos en la siguiente sobre la superficie edificada disponible.

En cuanto a la medida de atraktividad empleada, una manera de solucionar este punto aceptablemente es el utilizar el suelo potencialmente urbanizable, exceptuando, naturalmente, las zonas de reserva como parques y jardines y las zonas geográficamente o topográficamente no construibles. El problema, sin embargo, subsiste ya que, en la mayor parte de los casos, los condicionantes del suelo no utilizable para edificación no están muy claros, excepto zonas de manifiestos impedimentos geográficos.

El modelo que nos ocupa utiliza otro tipo similar de medida: el techo urbano o superficie construida en cada zona para la población residente, dado por el total existente menos el empleado para ubicar el empleo básico y el empleo de servicio. Este factor tiene la enorme ventaja que nos sirve como eslabón entre los dos componentes de la estructura urbana: LAS ACTIVIDADES y EL STOCK. El hecho de que el stock utilizado por los servicios provenga de la misma simulación del modelo no representa problema si hacemos "correr" los tres modelos simultáneamente.

Comparemos ahora lo expuesto a partir de la estructura de Lowry con las consideraciones teóricas a partir de la entropía desarrolladas por Wilson. Recordemos:

$$T_{ij} = B_j E_j V_i \exp(-\beta c_{ij}) \quad (2)$$

siendo: $B_j = 1 / \sum_i V_i \exp(-\beta c_{ij})$

Wilson, en un primer desarrollo, llega a establecer la

ecuación de la siguiente forma:

$$T_{ij} = A_i B_j P_j E_i \exp(-\beta c_{ij})$$

siendo: T_{ij} = número de viajes entre i y j

E_i = empleados que trabajan en i

P_j = población que vive en j

β = parámetro

$$A_i = 1/\sum_j B_j P_j \exp(-\beta c_{ij}), \sum_j T_{ij} = E_i$$

$$B_j = 1/\sum_i A_i E_i \exp(-\beta c_{ij}), \sum_i T_{ij} = P_j$$

Esta ecuación puede ser hallada sabiendo que $\sum_j T_{ij} = E_i$ es decir, la suma de todos los viajes que salen de i debe ser igual al número de empleados en i ; y sabiendo $\sum_i T_{ij} = P_j$ es decir, la suma de los viajes que llegan a j debe ser igual a la población que vive en j ; y, por último, $\sum_i \sum_j T_{ij} c_{ij} = C$, es decir, el total gastado en todos los viajes debe ser una constante C .

Este tipo de formulación, como puede observarse, es de doble condicionante, mientras la fórmula hallada antes es de un solo condicionante pues supone sólomente que el número de empleados que trabajan en j es conocido. Wilson, para la obtención de una expresión con un solo condicionante, suprime el factor B_j , obteniendo:

$$\sum_i T_{ij} = \sum_i A_i E_i W_j \exp(-\beta c_{ij})$$

pero: $\sum_i T_{ij} u = P_j u = R_j$

de donde: $R_j = \sum_i A_i E_i W_j u \exp(-\beta c_{ij})$

Nótese que los índices i y j pueden estar cambiados entre sí sin que varíe el significado de la ecuación.

Comparando esta ecuación con la (1), derivada experimentalmente, podemos ver una similitud clarísima:

$$R_j = \sum_i A_i E_i W_j u \exp(-\beta c_{ij})$$

$$R_j = \sum_i A_i E_i W_j u f(d_{ij})$$

La única diferencia entre ambas es la distinta consideración del factor tiempo y función de la distancia.

Wilson propone la medida de distancia en función del coste de viaje entre cada par de zonas ya que, generalmente, ofrece mucha más exactitud, sin embargo, nosotros no consideraremos este tipo de medida porque en la práctica resulta extremadamente difícil la obtención de datos fidedignos. Por lo tanto, mediremos la distancia a través de las vías rodadas, multiplicando por un parámetro, condicionante que la distancia representa en el asentamiento en una determinada zona para los residentes.

Otro factor que Wilson deja indeterminado es la medida de atractividad que nosotros obtenemos utilizando la superficie construida de factor de atracción. La versión final del modelo, por tanto, es:

$$R_j = \sum_i A_i E_i u F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij})$$

siendo: F_j^r = superficie construida en j para residencia

$$A_i = 1 / \sum_j F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij}), \quad \sum_j R_j = \sum_i E_i u$$

β^r = parámetro

Como 'inputs' se requieren: E_i , F_j^r u d_{ij} y β^r

Los 'outputs' o resultados son: R_j y T_{ij}

1.3 Submodelo de localización del empleo de servicio

A continuación me remito a una somera descripción de los trabajos de Lakshmanan y Hansen para después pasar a la descripción más detallada del que nos ocupa.

El modelo utilizado por Lakshmanan y Hansen fué verificado para el área metropolitana de Baltimore (EE.UU.) de forma que se estableciera un sistema entre los volúmenes de ventas y el tamaño de los centros comerciales, o, lo que es lo mismo, la población atraída y el tamaño. L. y H. parten del concepto de "Metrotown" como una reformulación de los ideales perseguidos en las nuevas ciudades inglesas, intentándolo adaptar a la realidad americana. Parten de la siguiente hipótesis: el valor de los productos generados debe ser igual al total de gastos hechos por los consumidores o bien a la cantidad que estos consumidores dispongan para ser utilizada en la compra del producto, minimizando otros gastos de carácter adicional, como el transporte.

Este razonamiento lleva a pensar que, entre varias alternativas de compra, siempre se escogerá el punto más cercano al de partida, a igualdad de oferta, con lo cual, tratamos de delimitar un 'área de mercado' desde fuera de la cual no es probable que los consumidores vayan a realizar compras. El modelo supone que el poder de atracción del centro es proporcional a su tamaño, el potencial de venta proporcional a la cercanía de los consumidores y, por último, a menor competencia más éxito. L. y H. expresan estas relaciones mediante un modelo:

$$S_{ij} = \frac{F_j/d_{ij}^\alpha}{F_i/d_{ij}^\alpha + F_j/d_{ij}^\alpha + \dots + F_n/d_{in}^\alpha} C_i =$$

$$= \frac{F_j/d_{ij}^\alpha}{\sum_{K=1}^n F_K/d_{iK}^\alpha} C_i$$

siendo: S_{ij} = gastos en la zona j

C_i = gastos totales de la población que vive en la zona i

F_j = tamaño de la actividad de venta en j

d_{ij} = distancia en tiempo de coche privado

α = parámetro variable con la distancia

Esta ecuación puede ser modificada de la forma:

$$S_j = \sum_{i=1}^n C_i \frac{F_j/d_{ij}^\alpha}{\sum_{K=1}^n F_K/d_{iK}^\alpha}$$

que suma todas las ventas realizadas desde cada zona a la zona j , lo cual implica suponer que no hay un área de mercado sino una interacción entre todas las zonas.

L. y H. pudieron comparar seis casos distintos de importantes centros, dando particularmente buenos resultados al ser comparados éstos con las ventas que de hecho realizaron en los centros. En particular, se localizaron los viajes a los centros usando la superficie de venta como factor de atracción (observemos el mismo tipo de elemento de atracción que se usaba en el submodelo residencial).

Para la utilización del modelo es necesario una descripción de la zona en los siguientes términos:

- a) Demanda de productos en un área pequeña
- b) Facilidades de competencia entre centros
- c) Conexiones espaciales entre consumidores y vendedores

Asimismo, se suponen dos hechos:

- 1 El proceso de selección de los centros no varía
- 2 La política comercial es estable en la región

Es preciso hacer notar que, aunque el modelo se comportó bien en la simulación de los viajes a compra, las ventas no fueron simuladas aceptablemente debido a la inexplicabilidad del comportamiento de trabajadores y visitantes en lo que se refiere a compras.

Los 'outputs' del modelo son:

- niveles probables de ventas en cada centro existente y futuro
- distancias medias de viajes del conjunto del sistema
- cantidad, en dólares, gastada en cada centro y unidad residencial

El modelo de Lowry, aunque no se comporta tan correctamente, tiene en cuenta la accesibilidad a los servicios de los empleados y residentes. La ecuación es:

$$S_j^k = \alpha^k E_j + \sum_i \beta^k R_i f^k(d_{ij})$$

siendo: S_j^k = potencial de j para atraer servicios tipo / k
 f^k = función de la distancia

α^k = parámetro dependiente de cada servicio k

β^k = parámetro dependiente de cada servicio k

Los empleados de servicio requeridos para la manutención de la zona son distribuidos de acuerdo a:

$$S_j^k = \frac{S_j^{i,k}}{\sum_j S_j^{i,k}} \sum_j S_j^k$$

siendo: S_j^k = empleados que trabajan en j en servicio k .
Si v^k = empleo de servicio/población será:

$$\sum_j S_j^k = \sum_i R_i v^k$$

Lowry utiliza un $S^k(\min)$ para impedir la inexistencia de empleados de servicio en alguna de las zonas, a pesar de ello hay varias objeciones que hacer:

- Como instrumento de exploración es engorroso de manejo
 - El uso de un $S(\min)$ elimina los pequeños servicios
 - La distribución de viajes no es la originalmente hecha
 - Los servicios generados por los residentes que cambian de zona no son distribuidos por carecer de mecanismo-
- * Basándonos en los estudios de L. y H.: /para ello.

$$S_j = \sum_i A_i R_i v W_j f(d_{ij})$$

Ecuación que puede ser hallada por maximización de la entropía.

El problema al introducir un factor de atracción está en que la superficie construida necesaria para los residentes debe ser obtenida de la sustracción: total de superficie menos la utilizada por el empleo que hasta no hacer funcionar el modelo de empleo de servicio no la obtenemos. Además, al ser los residentes los que ge

neran los servicios, el modelo residencial debe utilizarse antes que el de servicio. Veamos cómo Lowry resuelve esta situación:

En la primera iteración los empleos básicos generan residentes que son distribuidos sobre la superficie construida disponible, por su parte los residentes generan servicios que requiere que los empleados sean distribuidos sobre la superficie disponible.

En la segunda iteración los servicios generan nuevos residentes que, añadidos a los anteriores, se distribuyen también sobre el sobrante de superficie.

El problema de este funcionamiento es que la superficie disponible para los servicios tiende a ser la misma que para los residentes, produciendo simulaciones no aceptables. Para subsanar este defecto se escoge como atractividad para el modelo de servicio una combinación entre el empleo localizado en cada zona y la superficie construida disponible. Existe una gran diferencia con el submodelo residencial: éste distribuye residentes que se dispersan a partir de un empleo concentrado, mientras que el de servicio distribuye concentraciones de empleo a partir de residentes dispersos, por lo que introducimos un parámetro que depende de cada caso real. La versión final del modelo es:

$$S_j = \sum_i R_i v W_j^S \exp(-\beta^S d_{ij})$$

siendo: v = tasa de participación laboral en servicios

F_j^S = Superficie construida en j para servicios

$$W_j^S = \text{atractividad} = ((E_j / \sum_j E_i) + (F_j^S / \sum_j F_j^S))$$

α = parámetro (grado de concentración de los servicios)

β^S = parámetro (condicionante de la distancia)

$$A_i = \text{término de normalización} = 1 / \sum_j W_j^S \exp(-\beta^S d_{ij})$$

que asegura: $\sum_j S_j = \sum_i R_i v$

Los inputs requeridos por el modelo son: R v E F^S d_{ij}
 α y β^S .

Los outputs proporcionados son: S_j , n° de viajes desde la residencia a los servicios y su distancia. Como puede observarse, para un conjunto de datos el modelo nos ofrece un solo resultado por lo que puede utilizarse como herramienta de predicción de políticas de planeamiento.

1.4 El stock

Veremos primeramente las bases previas siguiendo a Echenique (1968) y a March (1970) en la validación teórica de las hipótesis de Echenique.

El stock tiene influencia en los resultados de tres matrices:

- Matriz operador A -distribución residencial- que depende de las vías rodadas entre el trabajo y la residencia y la disponibilidad del suelo construido.
- Matriz operador B -distribución de los servicios- que depende de las vías rodadas entre los servicios y la residencia y disponibilidad de la superficie construida.

- Matriz operador G -localización del empleo básico- que depende de las vías rodadas que conectan el empleo con otras actividades relacionadas con éste, así como de la disponibilidad de los 'espacios adaptados'.

El modelo de stock puede dividirse en dos aspectos:

- 1 Localización de los espacios
- 2 Espacios de comunicación

Partiremos de cinco condiciones previas:

- 1 El empleo y los servicios se dan en el centro
- 2 Los viajes se realizan entre el centro y la residencia
- 3 Existe un sistema homogéneo de transporte
- 4 El coste del transporte es función de la distancia
- 5 Suponemos un grupo socioeconómico único

La proporción superficie construida/suelo construible se mantiene constante en toda la ciudad, debido al cambio del valor del suelo en función de la distancia. Sin embargo se prueba empíricamente que:

$$f = \exp -\phi' d$$

siendo: f = proporción de superficie construida

ϕ' = constante que depende del área estudiada

d = distancia al centro

Una situación similar nos encontramos al considerar el caso de los espacios de conexión, debiéndose a Owens la expresión desarrollada para Inglaterra:

$$p = aP + b$$

siendo: p = porcentaje de área central dedicada a viario

P = población expresada en unidades de millar
 a = constante. Calles=12.7, peatones=4.5

Más adelante Owens expresó en un modelo estas relaciones

$$p = a \exp(-cd)$$

siendo: p = porcentaje de suelo ocupado por caminos

d = distancia al centro

c = constante que varía con la ciudad

Exponemos ahora las hipótesis teóricas que nos llevarán al modelo de stock: sean Z_i las zonas a considerar y F el stock, siendo L_i la superficie de terreno en cada Z_i , de modo que $l_i = L_i/L$, la probabilidad de que una cantidad de stock F_i sea localizada en Z_i es:

$$W(F_i) = K F_i! \prod_i l_i^{F_i} / F_i!$$

Maximizando W y siendo c el coste de localización del stock por unidad de área:

$$F_i = F l_i \exp(-\phi c_i) / Q$$

siendo: $Q = \sum_i l_i \exp(-\phi c_i)$ (multiplicador de Lagrange)

La proporción de stock está dada por:

$$f_i = F_i \exp(-\phi c_i) / Q'$$

siendo: $Q' = \sum_i L_i \exp(-\phi c_i)$

que es la ecuación generalizada de la distribución del stock en un área urbana.

Suponemos además:

1 La región o área considerada es monocéntrica

2 Las zonas Z_i son nulas a una distancia del centro en-

tre i e $i+1$

3 El coste de localización del stock es una función de la distancia.

Clark (1967) comprobó el efecto que la variación de la distancia tiene sobre la densidad de población y el stock. Mientras la población tiene un movimiento hacia los bordes de la ciudad, vaciándose, en cierto modo, el centro, el stock aumenta o, al menos, se mantiene. En estos casos lo que ocurre es que poco a poco el centro va desplazando la función residencial hacia otras zonas siendo empleado el stock libre en otros usos distintos. Este proceso es, prácticamente, inevitable en toda ciudad ya que, además de todos los problemas de índole económica, en general los cascos de las ciudades suelen tener un interés histórico-artístico que obliga a su mantenimiento (al menos donde exista una política urbana eficaz), con lo cual, lejos de disminuir, la superficie construida se mantiene o aumenta.

Comparemos ahora, brevemente, otras hipótesis con la sostenida por Echenique:

1 Hipótesis general de distribución de la población urbana:

La población de una zona urbana es proporcional al producto de la población total \times terreno urbanizado y \times exponencial del coste (negativo) de localización.

$$P_i = P L_i \exp(-\phi c_i) / Q$$

siendo: $Q = \sum_i L_i \exp(-\phi c_i)$

2 Hipótesis general de distribución de la superficie urbana construída:

El stock es proporcional al producto del stock total x suelo urbanizado de la zona x exponencial negativa del coste de localización.

$$F_i = F L_i \exp(-\phi c_i) / Q$$

siendo: $Q = \sum_i L_i \exp(-\phi c_i)$

3 Hipótesis de Clark (modificada):

La población es proporcional al producto de la población total x suelo urbanizado x exponencial negativa de la distancia de la zona al centro.

$$P_r = P L_r \exp(-br)$$

siendo: $Q = \sum_i L_i \exp(-br)$

b = parámetro

4 Hipótesis de Echenique:

El stock es proporcional al producto del stock total x x suelo urbanizado x exponencial negativa de una función de la distancia al centro.

$$F_r = F L_r \exp(-c(r)) / Q$$

El stock es proporcional al producto del stock total x x suelo urbanizado x exponencial negativa de la distancia radial al centro.

$$F_r = F L_r \exp(-vr)$$

siendo: v = parámetro

1.5 Submodelo de stock

Partiendo de la hipótesis de Echenique describimos el modelo de stock para incluirlo, más adelante, en el modelo de actividades.

Es de hacer notar que en lo que respecta al stock no se localiza en función de la demanda de actividades, sino que ya previamente lo había sido en función de necesidades anteriores que, a lo largo del tiempo, van cambiando progresivamente. Empíricamente podemos afirmar:

$$f_j = \phi \exp(-\beta d_j)$$

siendo: f_j = proporción de stock en j

d_j = distancia al centro

ϕ = constante de proporcionalidad

β = parámetro

De la anterior formulación de Clark se deduce que la densidad residencial decrece exponencialmente a partir de una cierta distancia de los centros de empleo, aunque, por otra parte, hay zonas donde las actividades residenciales desplazan a éstas a los alrededores disminuyendo los residentes en el centro.

El máximo de la densidad residencial ocurre a una cierta distancia del centro, desde donde han sido desplazados los residentes por las actividades de empleo. A medida que la ciudad crece los residentes más cercanos al centro son desplazados por las nuevas actividades de empleo, mientras que el stock permanece aproximadamente constante, por las razones económicas, técnicas e his-

tórico-artísticas que antes mencionamos.

A partir de estas consideraciones, podemos generalizar la ecuación en la forma:

$$f_j = \sum_i E_i \phi \exp(-\beta d_{ij})$$

El stock total en la zona lo obtenemos multiplicando por el suelo urbanizable en j : $F_j = f_j L_j$. De este suelo no excluimos el utilizable por los edificios con actividades de empleo ni los pequeños jardines de vivienda unifamiliar. En cuanto a la red viaria, debería ser excluida, sin embargo, debido a la agregación y simplicidad del modelo, no se tiene en cuenta en nuestro caso.

Para que exista seguridad de que el stock hallado en la ecuación coincide con el real es más adecuado utilizar el stock total F en vez de una proporción f , convirtiéndose la ecuación en:

$$F_j = \sum_i A_i E_i w L_j \exp(-\beta^f d_{ij})$$

siendo: F_j = stock en j para todo tipo de uso

w = proporción de stock total/empleo total

d_{ij} = distancia entre i y j por la red viaria

$A_i = 1 / \sum_j L_j \exp(-\beta^f d_{ij})$ (término de normalización)

β^f = parámetro que representa el significado de la distancia como condicionante

Según esta ecuación los datos que requiere el modelo - son los siguientes: E_b E_s stock/empleo L d_{ij} parámetro. Por supuesto, es necesario cada dato para cada zona. El modelo proporciona F y la proporción F/L para cada zona.

Hay que tener en cuenta que los únicos inputs específicos que el modelo requiere son: la razón stock/empleo, el suelo disponible y el valor del parámetro, ya que el resto de los valores son también requeridos por el modelo de actividades. Al igual que éste, el modelo de stock nos proporciona un solo resultado para un solo conjunto de datos por lo que puede ser usado como herramienta de exploración de políticas de planeamiento, en cuanto a la localización del stock se refiere.

A lo largo de la exposición hemos visto que la base de apoyo de este modelo es un mercado libre de oferta y demanda, caso de muchas ciudades occidentales como por ejemplo, desgraciadamente a veces, las ciudades españolas por lo que sería aplicable en estos casos. No ocurre lo mismo en ciudades con gran número de controles de planeamiento, como las ciudades inglesas, por lo que, en estos casos, podría utilizarse el modelo como elemento de comparación con los casos en que estos controles no hubieran sido aplicados, incorporando el stock como un componente urbano más.

Como el modelo de actividades, el modelo de stock puede ser desarrollado con mayor precisión si desagregamos los componentes del stock.

2 EL MODELO SIMPLE ESTÁTICO

Una vez conocidos los tres submodelos de que consta el simple estático y con un esquema claro de cada uno de ellos nos ocuparemos del conjunto que forma un modelo en su totalidad con una estructura específica de funcionamiento.

La explicación es de distinto tipo que la anterior, ya que si antes buscábamos unas relaciones funcionales para conseguir una buena simulación, ahora veremos como debe trabajar el sistema de relaciones para que esta simulación sea lo más fidedigna posible.

La estructura, como fácilmente puede verse, es similar a la del modelo de Lowry, la diferencia, en este caso, no sólo estriba en la formulación de las ecuaciones, que son completamente diferentes, sino también en que añadimos el componente de stock al modelo de actividades.

Conectando los dos modelos separadamente el funcionamiento es como sigue: primeramente entra a funcionar el modelo de stock que halla la superficie construida en cada zona en función de los empleos básicos de la misma. A continuación entra a funcionar el modelo de actividades de forma iterativa, distribuyendo primero los residentes y después los empleos de servicio generados por aquellos que, a su vez, vuelven a generar más residentes que son nuevamente distribuidos...etc. hasta llegar a un equilibrio.

El problema que surge con esta forma de funcionamiento es que el empleo que el modelo de stock debe utilizar no es sólo el básico sino el total que no lo obtenemos hasta que el modelo de servicio no haya simulado el empleo de servicio, por tanto es preciso encontrar un sistema para que éste sea hallado antes e incluirlo en el modelo de stock. El procedimiento más efectivo para resolver este punto es hacer que los tres submodelos funcionen simultáneamente y de una manera iterativa en conjunto, de esta forma conseguimos una estructura que no es sólo la suma de las partes de que se compone sino un conjunto distinto que, aparentemente, cuadra con la idea de que la ciudad no es una mera suma de partes sino un conjunto donde éstas están interrelacionadas afectándose constantemente unas a otras.

El proceso es el siguiente:

Partimos del empleo básico, los empleos básicos se distribuyen en el stock disponible y generan residentes que, a su vez, generan empleos de servicio que se distribuyen sobre el stock disponible. En la segunda iteración los nuevos empleos de servicio se añaden a los básicos necesitando más stock; los empleados, considerados como residentes, requieren espacio y generan nuevos empleos de servicio que vuelven a añadirse al empleo anterior, terminado así la segunda iteración. Sucesivamente se distribuyen sobre todo el stock hasta que no queda más por ocupar. De esta forma el input del modelo de actividades se va revisando constantemente distribuyendo,

en el equilibrio, totales de empleo y stock, no proporcionalidades, y localizando empleados y residentes en toda la ciudad.

Esta versión es mucho más exacta, y mucho más simple, - que la anterior ya que produce soluciones más aproximadas a la realidad. De esta manera el stock se va adaptando, en cada iteración, a las necesidades creadas por los empleados y residentes y, a medida que se van generando más empleos, el stock disponible para residencia va - siendo cada vez menor hasta que se han generado todos - los empleos de servicio, de forma que, una vez que los servicios han ocupado todo el stock necesario, los residentes ocupan el restante disponible.

Podemos resumir las ventajas de esta versión en dos mejoras: menor tiempo de computación, ya que necesita menor almacenamiento de datos, y, por otro lado, el hecho de operar con totales y no con proporcionalidades re - presenta una exactitud considerable, aplicando todo el stock, todos los residentes y todos los empleos.

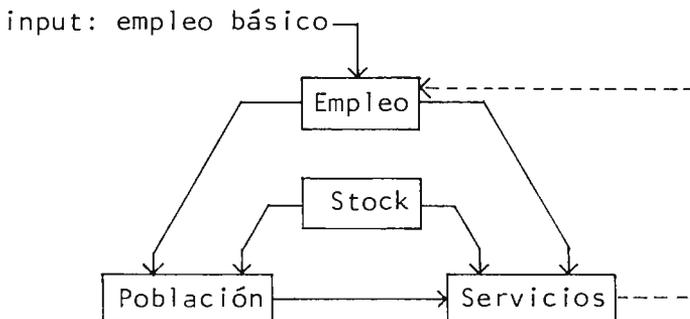


Figura 2. Diagrama del modelo de stock y actividades.

Para terminar la exposición presentamos el esquema de flujos del modelo simple estático, lista de inputs y - outputs y formulación matemática:

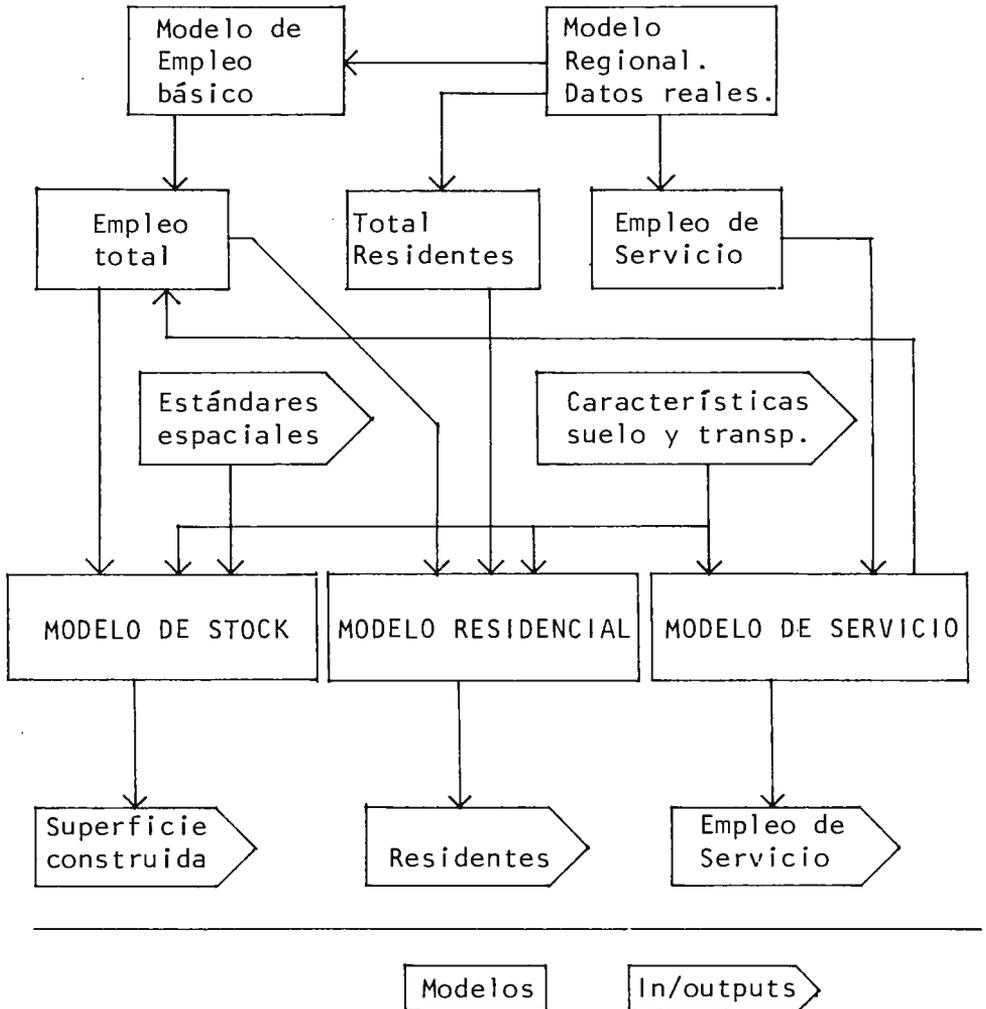


Figura 3. Esquema de flujos del modelo de stock y actividades.

Expresión del submodelo de stock:

$$F_j = \sum_i A_i E_i w L_j \exp(-\beta^f d_{ij})$$

Expresión del submodelo residencial:

$$R_j = \sum_i A_i E_i u F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij})$$

El viaje al trabajo se obtiene:

$$E_{ij} = E_i F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij})$$

Expresión del submodelo de servicio:

$$S_j = \sum_i A_i R_i v W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij})$$

El viaje al servicio se obtiene:

$$P_{ji} = P_j E_i^\alpha \exp(-\beta^s d_{ij})$$

siendo: $W_j^s = ((E_j / \sum_j E_j) + (F_j^s / \sum_j F_j^s))$

F_i^r = stock disponible para residencia

F_j^s = stock disponible para servicios

u = tasa de participación laboral

v = proporción servicios/población

w = stock total por empleado

w^b = espacio estándar por empleado básico

w^s = espacio estándar por empleado de servicio

α = parámetro, concentración de servicios

$\beta^f, \beta^r, \beta^s$ = parámetros, condicionante de la distancia en la localización

Valores bajos de los parámetros indican una ciudad extendida con largos viajes, valores altos una ciudad compacta con cortos viajes al trabajo y servicios.

Los inputs que requiere el modelo son los siguientes:

1. Número de empleos básicos
2. Superficie de suelo disponible para ser urbanizado
3. Distancia entre cada zona y todas las demás
4. Valores de u , v , w (un valor cada uno)
5. Valores de los estándares: w^b y w^s (un valor cada uno)
6. Valores de β^f , β^r , β^s (un valor cada uno, obtenible por calibración)
7. Valor del parámetro α

Dado este conjunto de inputs, los outputs son:

1. Stock para todos los usos en cada zona (F_j)
2. Proporción stock/terreno disponible (F_j/L_j)
3. Residentes en cada zona (R_j)
4. Stock para residencia en cada zona (F_j^r)
5. Densidad residencial en cada zona (R_j/L_j)
6. Empleos de servicio en cada zona (S_j)
7. Stock para servicio en cada zona ($S_j w^s$)
8. Densidad de servicios en cada zona (S_j/L_j)
9. Total de empleos en cada zona (E_j)
10. Stock para el empleo ($E_j w^b + S_j w^s$)
11. Densidad de empleo en cada zona (E_j/L_j)
12. Viajes entre cada dos zonas (E_{ij})
13. Distribución de los viajes. Viaje promedio
14. Viajes al servicio entre cada dos zonas (P_{ji})
15. Distribución de los viajes al servicio. Viaje promedio

Veamos ahora la forma de operar el modelo. Designamos con un asterisco la primera iteración, etc. será:

PRIMERA ITERACION

- 1: input: empleo $E_i^* = E_i^b$
- 2: localización del stock: $F_j^* = \sum_i A_i E_i^* w_{Lj} \exp(-\beta^f d_{ij})$
- 3: localizac. residencial: $R_j^* = \sum_i A_i E_i^* u_{Fj}^{r^*} \exp(-\beta^r d_{ij})$
- 4: localizac. servicios : $S_j^* = \sum_i A_i R_i^* v_{Wj}^{s^*} \exp(-\beta^s d_{ij})$

SEGUNDA ITERACION

- 1: nuevo input: $E_i^{**} = E_i^b + S_i^*$
- 2: localizac. del stock: $F_j^{**} = \sum_i A_i E_i^{**} w_{Lj} \exp(-\beta^f d_{ij})$
- 3: local. residencial: $R_j^{**} = \sum_i A_i E_j^{**} u_{Fj}^{r^{**}} \exp(-\beta^r d_{ij})$
- 4: local. servicios: $S_j^{**} = \sum_i A_i R_i^{**} v_{Wj}^{s^{**}} \exp(-\beta^s d_{ij})$

En las iteraciones siguientes, el modelo opera de una forma similar y así continúa hasta que la diferencia entre el número de empleados de servicio distribuidos en una iteración y el de la anterior sea un valor fijado.

Puede asignarse, también, un valor determinado al número de iteraciones que deseamos se produzca introduciendo el valor en el programa de computación.

Damos por finalizada aquí la exposición del modelo.

3 APLICACION A SANTIAGO DE CHILE

Desde un punto de vista teórico, la experiencia de aplicación del modelo a un caso real es necesaria para demostrar su validez: sus hipótesis y su operacionalidad.

3.1 Breve descripción de la ciudad

Chile es uno de los países de América Latina con grandes concentraciones de población por lo que, en este sentido, puede ser considerado representativo del continente. Por su particular forma puede ser considerada una sola región con centro en Santiago, centro político y administrativo. La zona norte tiene su principal centro en Antofagasta. La zona central está, evidentemente, dominada por Santiago. La zona sur, eminentemente agrícola, tiene su centro más importante en Concepción.

Santiago fué fundada en 1541 por una compañía militar - que siguió viviendo en la zona más de tres siglos siendo, desde entonces, el centro de actividad del país.

Debido a la progresiva industrialización el crecimiento fué rápido, alcanzando a principios del s. XX una población de 300.000 hb., más adelante la población se dobló en 1907 hasta 1940, proceso que se repitió entre 1940 y 1960. Esto produjo una expansión que absorbió los alrededores con las consecuencias de barrios de chabolas que se extendieron por toda la periferia sur.

Para simular la ciudad se dividió ésta en 40 zonas correspondientes a los límites de las comunas, para las que se contaba con información suficiente. Los datos se obtuvieron del Ministerio de Obras públicas y Transporte, y Censo de población de la oficina de Planificación Nacional. La encuesta realizada distinguía cinco categorías de empleo: primario y secundario (agricultura, minería e industria), servicios centrales (gobierno), construcción y transportes, servicios generales, comercio e industria de servicio y otros. Se consideraron las tres primeras categorías como empleo básico, las dos últimas corresponden claramente a empleo de servicio. En cuanto a los viajes al trabajo y servicio se obtuvieron datos de la encuesta origen-destino del Ministerio de O.P. y Transporte y la accesibilidad se basó en la red de transporte primaria: se obtienen los centroides de cada zona y, mediante un programa de caminos mínimos, se halla el itinerario a seguir en cada caso.

3.2 El programa

Para la programación del modelo se utilizó FORTRAN IV como lenguaje de computación y el computador IBM 370/165 del "Computer Centre" de la Universidad de Cambridge. El programa total está compuesto por un programa principal y cuatro subrutinas: TRIPDI, DISTRI, OUTTRI y CORREL. Después de dimensionar en las primeras líneas, la primera parte es la lectura e impresión de los datos: DATA READING AND PRINTING (dentro de esta lectura están los

parámetros que hay que obtener por calibración). En una primera aproximación se tomaron valores escogidos al azar, dentro de unos límites máximo y mínimo, para, en sucesivas aproximaciones, encontrar los valores óptimos. Existen métodos de calibración automática que no fueron empleados.

La subrutina OUTTRI se emplea, primeramente, para escribir la matriz de distancias: CALL OUTTRI (NCEL), siendo NCEL = 40 zonas.

Una vez leídos y escritos los datos se hallan los totales TDSE, TBE, TALA, TDRP, TDFS y los estándares ALPR, SERP, FSS.

A continuación se empieza a operar: ITERATION BEGINS, fijando una variable NIT que al llegar al valor 10 interrumpe las operaciones, con lo cual no volverá a repetirse el ciclo. Comienzan a operar los tres modelos: modelo de stock, modelo residencial y modelo de empleo de servicio. El stock es igual al nº de empleos por el estándar por empleado. En la primera iteración SSE=0 (empleo de servicio simulado) hasta que no funcione el modelo de servicio para añadir este empleo al básico.

El modelo residencial opera similarmente al de stock hallando la población simulada que es igual al empleo total multiplicado por la tasa de población activa.

El modelo de servicio halla el empleo de servicio simulado que es igual a los residentes multiplicado por la proporción empleo de servicio/residentes (proporción -

conocida), los residentes han sido simulados en el modelo residencial.

Todas las operaciones de distribución (operaciones) se realizan mediante la subrutina DISTRI.

La suma del empleo básico más el de servicio se multi - plica por $P(\alpha)$ que representa la economía de escala.

Una vez que los tres submodelos han operado se comprueba El número de iteraciones: CHECK THE NUMBER OF ITERATIONS y si NIT es igual a 10 finalizan las operaciones.

Una vez hallados los valores simulados se comienzan a escribir los outputs (SFS,SRP,SSE) y se hallan y escriben los totales (TSFS,TSRP,TSSE) dibujándose el gráfico con los datos reales y simulados. Representación que se lleva a cabo mediante la subrutina CORREL que también ha - lla las medias aritmética, geométrica, armónica, desviación estándar y valor de la simulación (un $R^2=100$ es una simulación perfecta: la realidad, por tanto imposible de conseguir). La subrutina CORREL se llama tres veces, una para cada submodelo, más una última vez para represen - tar la distribución de viajes.

Se obtienen entonces los viajes al trabajo y su frecuencia de distribución, ésta mediante la subrutina TRIPDI, escribiéndose las tres matrices de los viajes al trabajo mediante la subrutina OUTTRI: trabajo, servicio y tota - les. Se representan en un gráfico y termina el programa con un STOP y END.

3.3 Resultados obtenidos

En la tabla siguiente se resumen las influencias de cada parámetro sobre los factores de cada submodelo:

Submodelo	Generador	Atracción	
Stock	Empleo	Suelo	si AL \emptyset sube \rightarrow Empleo si AL \emptyset baja \rightarrow Suelo
Residencial	Empleo	Stock	si AL1 sube \rightarrow Empleo si AL1 baja \rightarrow Stock
Servicio	Población	Empleo	si AL2 sube \rightarrow Resid. si AL2 baja \rightarrow Empleo

$$AL\emptyset = \beta^f, AL1 = \beta^r, AL2 = \beta^s$$

En la primera prueba ($AL\emptyset = 0.035$, $AL1 = 0.002$, $AL2 = 0.003$) se obtuvieron correlaciones aceptables para el servicio y el stock siendo el más desequilibrado el modelo residencial. Mediante pocas pruebas se obtuvo el valor 0.063 para $AL\emptyset$ que daba una correlación excelente en el modelo de stock (mayor que 90), probándose, al mismo tiempo, un parámetro muy alto para $AL1$ con un $R^2 = 32$. Al mismo tiempo se puede observar la sensibilidad del modelo de servicio al variar $AL2$ de 0.003 a 0.040 siendo las correlaciones 86 y 73 respectivamente.

Fijado $AL\emptyset$, mediante algunas pruebas más, se llegó al resultado final, obteniéndose los siguientes datos:

$$\begin{array}{ll} u = 2.848 & w^b = 0.0015 \\ v = 0.168 & w^s = 0.0037 \\ w = 0.005 & \beta^f = 0.063 \\ \alpha = 1.3 & \beta^r = 0.016 \\ & \beta^s = 0.040 \end{array}$$

Esta calibración no sólo se ejecuta observando las correlaciones de cada submodelo sino también comparando la distribución de viajes simulada con la real.

Como se puede observar, la media de duración de los viajes es más bien alta lo que indica la baja densidad de la ciudad, aunque, siendo el medio principal de transporte el autobús público, se puede pensar que estos tiempos serían mejores si la calidad del servicio mejorase.

Localización de la superficie construida

La correlación es excelente: $R^2 = 93.2127$, valor que es la primera vez que se obtiene en esta ciudad. Son llamativos los valores obtenidos para las zonas 11, 17 y 20. En la 11 hay una clara subestimación mientras que en las otras dos el stock es sobrestimado.

Localización residencial

La correlación es algo más baja: $R^2 = 87$, aunque puede considerarse buena. La zona 11 está muy subestimada de residentes y las 17 y 20 muy sobrestimadas. La razón es, comparando con el modelo de stock, que el modelo simple estático no tiene en cuenta las irregularidades de la ciudad considerándola como un todo homogéneo. La zona 11 es de menor índice de nivel de ingresos que las 17 y 20 por lo tanto la densidad es mucho mayor, simulando, en consecuencia, más stock del que realmente existe y menos residentes. Lo contrario ocurre con las zonas 17 y 20 (área de Las Condes y Universidad Católica) donde existen núcleos de viviendas de muy baja densidad.

Localización del empleo de servicio

La correlación del submodelo es excelente: $R^2 = 92.5994$ siendo incluso demasiado buena si la comparamos con la localización residencial que debiera haber sido algo mejor (posiblemente haya algún error en los datos).

Podemos observar como el modelo simula menos servicios de los que realmente hay debido a que, aunque se simulan menos residentes, en general, que los que realmente existen, los núcleos de altos niveles de ingresos "requieren" gran cantidad de servicios con lo cual el modelo subestima éstos. Si las zonas fueran homogéneas el modelo hubiera simulado más servicios de los reales donde ha simulado menos. Por la razón explicada no sólo no ha equilibrado la situación sino que la desnivela en el otro sentido: prueba, al mismo tiempo, de los grandes desniveles económicos de la ciudad.

Como conclusión de esta prueba podemos afirmar la aplicabilidad de este tipo de modelos a ciudades en desarrollo y de rápido crecimiento, teniendo en cuenta los buenos resultados logrados.

Santiago se adapta más a modelos tipo Hoyt (1939) que al de anillos de la teoría de Burgess (1925) que supone que los grupos de bajos ingresos se localizan cerca del centro. Santiago, en este sentido, puede asimilarse más a ciudades tipo Madrid, aunque con mucha menor densidad, debido, en parte, al índice de chabolismo existente. Es de notar también la gran dispersión de los servicios (valor de AL1 algo bajo en relación a lo usual).

4 UN MODELO DE EMPLEO BASICO

Para la evaluación de políticas de planeamiento es preciso considerar un área de actuación suficientemente am
plia para que las variables de control puedan ser mani-
puladas. El sistema puede ser dividido en dos partes:
ámbito regional (modelo regional) y ámbito urbano (mo-
delo intra-urbano), nos referiremos aquí al segundo, y
dentro del mismo no consideramos el modelo de transport
e que puede ser integrado al conjunto.

4.1 El modelo

El modelo intra-urbano (véase W.P. n°78. LUBFS) consta
de tres submodelos: localización del stock y actividades,
localización del empleo básico y modelo de transporte.
El primero de ellos ha sido explicado hasta aquí, a con-
tinuación haré una breve exposición del segundo ya que
el último de los mencionados se sale fuera de las inten-
ciones de este escrito.

En un modelo de tipo explorativo es suficiente considerar
los dos modelos a que nos referimos por la siguiente ra-
zón: mientras que en la actualidad el empleo básico es
un dato obtenible de la realidad, en la predicción de un
estado futuro no se puede cuantificar pues no es un dato
actual siendo necesario en este caso un modelo que pueda
simularlo que forma con el modelo de stock y actividades

un todo único. Por supuesto el conjunto se completaría con un modelo de transporte y con modelo regional que - englobase los tres anteriores.

La intención del modelo de empleo básico es la distribución de este tipo de empleo sobre las distintas zonas. Consideramos las siguientes clases o sectores: agricultura, minería, industria y administración.

El empleo agrícola se sitúa en el suelo disponible para este uso. El empleo minero depende de las específicas - condiciones de cada zona por lo que no es un caso muy generalizable, aunque por las características de Santiago lo tenemos en cuenta. El empleo industrial se localiza en el suelo destinado a esta actividad. Por último, el empleo administrativo se simula en función de la accesibilidad a los centros siguiendo un patrón "central place".

Para la formulación de cada submodelo se emplea el sistema de maximización de la entropía, con un solo condicionante, tomando como hipótesis inicial: la cantidad de empleo básico de un tipo determinado es función del suelo disponible para dicho tipo de empleo y de la atraktividad de la zona para localizarlo. Se expresa:

$$t_{E_j}^n = t_E^n t_{L_j}^n t_{W_j}^n t_A^n$$

siendo: $t_{E_j}^n$ = empleo básico tipo n en j y en el tiempo t

t_E^n = empleo básico total del tipo n y tiempo t

$t_{L_j}^n$ = suelo disponible en j para localizar empleo tipo n en el momento t

$t_{W_j}^n$ = atractividad de la zona j sobre empleo tipo n en el momento t

$$t_A^n = (\sum_j t_{L_j}^n t_{W_j}^n)^{-1}$$

siendo: $n = 1$ (empleo agrícola), $n = 2$ (empleo minero), $n = 3$ (empleo de manufactura), $n = 4$ (empleo administrativo).

4.2 Los submodelos

4.2.1 Distribución del empleo agrícola ($t_{E_j}^1$)

Nos basamos en tres hipótesis:

La accesibilidad a las áreas de venta determina la distribución del empleo.

La distribución es función también del suelo disponible.

Existe un límite máximo de capacidad productiva en función del nivel tecnológico y productividad del suelo.

Expresando estos condicionantes matemáticamente:

$$t_{E_j}^1 = t_E^1 t_{L_j}^1 t_{W_j}^1 t_A^1$$

siendo: $t_A^1 = (\sum_j t_{L_j}^1 t_{W_j}^1)^{-1}$

La accesibilidad al mercado consumidor la calculamos:

$$t_{W_j}^1 = \sum_i t_i^{-1} P_i \exp(-\beta^1 c_{ij})$$

siendo: $t_i^{-1} P_i$ = población en i en el tiempo t

β^1 = parámetro (función de la distancia)

c_{ij} = coste de viaje entre i y j

Al introducir un condicionante de máxima densidad obtenemos un proceso iterativo:

- 1 Los inputs se introducen en el modelo.
- 2 Se calcula la accesibilidad al mercado consumidor.
- 3 Se distribuye el empleo agrícola total.
- 4 Se calcula la densidad de empleo y se compara con el condicionante previamente establecido, empezando el proceso de nuevo si es menor que éste.
- 5 En el momento en que todas las zonas tienen la misma o menor densidad de empleo que el máximo permitido, el proceso termina.

4.2.2 Distribución del empleo minero ($t_{E_j}^2$)

En este caso utilizamos una distribución extremadamente simple, en contra de lo que usualmente suele hacerse, - pues es suficiente para la introducción en el simple estático. Similarmente al submodelo anterior:

$$t_{E_j}^2 = t_E^2 t_{W_j}^2 t_A^2$$

siendo: $t_A^2 = (\sum_j t_{W_j}^2)^{-1}$

Obtenemos el empleo rural añadiendo al minero el agrícola, de donde obtenemos la población rural:

$$t_{P_j}^r = (t_{E_j}^1 + t_{E_j}^2) t_{V^p}$$

siendo: t_{V^p} = número de habitantes por empleado (rural)

4.2.3 Distribución del empleo de manufactura ($t_{E_j}^3$)

Nos basamos en dos hipótesis de partida:

El principal factor que afecta a la localización industrial es la relación con el resto de las regiones.

La distribución industrial es función del suelo disponible. Expresado matemáticamente será:

$$t_{E_j}^3 = t_E^3 t_{L_j}^3 t_A^3$$

siendo: $t_A^3 = (\sum_j t_{L_j}^3 t_{W_j}^3)^{-1}$

Calculamos la atractividad por:

$$t_{W_j}^3 = \sum_{i=1}^{i=h} t_i^{-1} p_i \exp(-\beta^3 c_{i,j})$$

El costo de viaje se compone de dos elementos:

- viaje urbano, representado por la distancia entre la zona origen y la zona más cercana a la región.
- viaje inter-urbano, termina fuera del área urbana.

Al calcular el viaje total es preciso hacer la distinción entre urbano y rural ya que debe darse más importancia al primero de ellos.

4.2.4 Distribución del empleo administrativo

Es este un tipo de empleo que puede entrar dentro de la opinión de que no está incluido en el básico aunque, debido a poderse considerar que los empleados trabajan para un área mucho mayor que la región, aquí lo incluimos dentro del trabajo 'exportable'.

Aplicando el modelo de patrón central y utilizando un pa
rámetro del tipo del usado en el simple estático:

$$t_{E_j}^4 = t_E^4 (t_{W_j}^4)^\rho t_A^4$$

siendo: $t_A^4 = (\sum_j (t_{W_j}^4)^\rho)^{-1}$
 ρ = parámetro (concentración del empleo)

La atracción se calcula por:

$$t_{W_j}^4 = t_{E_j}^{4*} \sum_i t_i^{-1} P_i \exp(-\beta^4 c_{ij})$$

siendo: $t_{E_j}^{4*}$ = número de empleos administrativos en j lo
calizados en la iteración precedente

4.2.5 Distribución del empleo de servicio generado por la población rural

Similarmente al resto de los submodelos:

$$t_{E_j}^5 = t_E^5 t_L^2 (t_{W_j}^5) t_A^5$$

siendo: $t_{E_j}^5 = \sum_j t_P^r t_v^e$ $t_v^e = t_E^s / t_P$

La atractividad se calcula por:

$$t_{W_j}^5 = \sum_i t_i^{-1} P_i^r \exp(-\beta^5 c_{ij})$$

siendo: P^r = población rural

5 APLICACION A SANTIAGO DE CHILE

A partir del modelo de empleo básico obtenemos el input necesario en la exploración de diferentes políticas de planeamiento. Para ello, necesitamos en primer lugar - 'ampliar la ciudad' ya que, si en un primer paso simulamos la ciudad como se encuentra en la actualidad, las exploraciones es necesario hacerlas sobre un área futura de expansión. Naturalmente, en esta etapa no podemos comparar los resultados obtenidos con los existentes pues estos últimos son futuros, no actuales. Dejamos, así, el modelo apto para la introducción de los datos correspondientes a cualquier exploración.

5.1 El programa

Toda la parte correspondiente al modelo simple estático es exactamente igual que el anterior, diferenciándose únicamente en el aumento de las zonas a tener en cuenta.

En primer lugar se leen e imprimen los datos: DATA - READING AND PRINTING. A continuación se efectúa el cálculo de la accesibilidad al mercado consumidor: AEA, dentro del submodelo agrícola. Se halla el empleo rural: $SER(J) = SEA(J) + DEM(J)$, como suma del empleo agrícola más el minero, y la población rural: $SRR(J) = SER(J) * ALPRA$ (tasa de población activa) y, por último, se halla la densidad del empleo agrícola: $DENSA(J)$ a partir de la razón: suelo rural/empleo agrícola. Una vez halla-

do el empleo agrícola se escribe el output y se hallan los totales: TDEA, TSEA, TDENSA, TSER, TSRR. A continuación se calcula el empleo de servicio generado por la población rural SSER (mediante la subrutina DISTRI) y se escriben los resultados. Una vez hallado entra en funcionamiento el submodelo de empleo industrial calculando - primeramente la accesibilidad a las zonas AEI y el empleo industrial simulado SEI, así como los totales TDEI (reales) y TSEI (simulados). Se escriben los resultados y se ejecutan gráficos mediante la subrutina CORREL.

Aunque no se utiliza directamente el empleo agrícola simulado en la fórmula final de cálculo del empleo total, se emplea indirectamente para calcular el empleo rural.

5.2 Resultados obtenidos

En general son particularmente buenos, obteniéndose una $R^2 = 94.9862$ en el submodelo de distribución agrícola, en donde, a excepción de la zona 53, que simula por exceso, y la 39, que simula por defecto, el resto se encuentra con resultados muy similares a los reales.

El empleo industrial está peor distribuido, aunque la correlación sigue siendo buena: $R^2 = 90.6590$, presentando variaciones por exceso en la zona 43 y por defecto en las 14, 18, 22, 23 y 26.

El submodelo de distribución del empleo de servicio no ha sido dibujado, aunque sería fácilmente comprobable su correlación ya que las simulaciones han sido halladas.

CONCLUSIONES

En la exposición realizada se ha expuesto el modelo de stock y actividades simple estático, basado en estudios previos, así como una breve descripción del modelo de empleo básico, comprobados ambos en una ciudad real: Santiago de Chile, cuyos resultados se han presentado. A través del escrito hemos visto cómo puede formularse un modelo teóricamente y la necesidad de su verificación práctica. No obstante, el diseño de un modelo no consiste sólomente, como espero haber podido demostrar con suficiente claridad, en un proceso de experimentación con diferentes ecuaciones hasta encontrar alguna/s que simulen bien nuestras intenciones, sino más bien, debe basarse en un conjunto de teorías coherente con una serie de hipótesis previamente comprobadas.

Por otra parte la comprobación operacional de estos modelos es igualmente importante; en este sentido, los resultados expuestos son particularmente buenos, en especial el modelo de stock y el modelo de empleo básico que, al no haber sido aplicado a ningún caso concreto, se puede considerar como una nueva aportación en este campo.

En lo que respecta a la exactitud de este tipo de modelos, dada la abstracción simplificada de la realidad, las discrepancias de las simulaciones son producto de la estructura del modelo y no de fallos en su concepción.

El modelo puede desagregarse para obtener las simulaciones tan diversificadas como sea posible, aunque, a veces, el esfuerzo necesario en la obtención de tan grande cantidad de datos es lo suficientemente ímprobo como para que no sea 'rentable' el desarrollar un modelo (véase: 'Requiem for Large Scale Models' -Douglas B. Lee Jr.- JAIP -mayo 1973-).

Otro aspecto que debe ser tenido en cuenta es la dinamicidad del modelo, esto es, la inclusión del factor tiempo en la formulación matemática. El sistema urbano es dinámico, no estático, y los cambios que se registran en él no se hacen aparentes hasta al cabo de un cierto tiempo (existe un 'tiempo de inercia' necesario para que las actividades se acomoden en el stock), este efecto, en los modelos estáticos, puede ser compensado por los parámetros. A este fin, el modelo de empleo básico es un - buen enlace de la estructura urbana con la regional (ámbito necesario a tener en cuenta en los modelos dinámi-cos).

En cuanto a la utilización de estos modelos en el planeamiento urbano, podemos afirmar que éste no se basa en la suplentación de las decisiones de los usuarios de la ciudad sino en el control de los espacios, presentando a aquellos un entorno rico en posibilidades que permita escoger diversas formas de acción dentro de él, controlando la inversión en infraestructura en beneficio del bien común, así como los usos del suelo.

El diseño y aplicación de modelos puede usarse para ob-

tener un mejor planeamiento urbano al poder valorar las situaciones en que debe ser aplicado un modelo, en qué momento y, en todo caso, si debe ser aplicado alguno. Teniendo en cuenta siempre que es una herramienta más en este proceso de y como tal debe ser considerado.

En la actualidad existe en España gran campo de aplicación y, sobretodo, investigación de este tipo de técnicas cuantitativas pues, hasta el momento, no se han hecho más que pequeños intentos en su aplicación.

La experiencia presentada puede servir de contribución a las aplicaciones e investigaciones futuras que se realicen en los intentos de mejorar las condiciones urbanas,

Universidad de Cambridge -Inglaterra-
Julio 1974

REFERENCIAS

- BANCO CENTRAL DE CHILE (1972). Estadísticas Nacionales.
- BAXTER R. y WILLIAMS I. (1973). The third Stage in - Disaggregating the Residential Submodel. WP 66. LUBFS.
- BRIGHAM E.F. (1964). A Model of Residential Land Values. Rand Corporation. Santa Mónica. California.
- CRARK C. (1967). Population Growth and Land Use. New York.
- DOUGLAS B. LEE Jr. Requiem for Large Scale Models. JAIP. Mayo 1973.
- ECHENIQUE M. (1968). Urban Systems: Towards an Explorative Model. WP 7. LUBFS.
- ECHENIQUE M. CROWTHER D. LINDSAY W. (1969). Development of a Model of a Town. WP 26. LUBFS.
- ECHENIQUE M. DOMEYKO J. (1970). A Model of Santiago - Metropolitan Area. WP 11. LUBFS.
- GARNER B. (1967). Models of Urban Geography and Settlement Location. Models in Geography. Methuen. Londres.
- KAIN J.F. (1961). The Journey to Work as a Determinant of Residential Location. Rand Corporation. S. Mónica. California.
- LOWRY I.S. (1964). A model of Metropolis. RC. SM. California.
- LAKSHMANAN T. HANSEN W. A Retail Market Potential Model. JAIP. Mayo 1965.

MARCH L. (1970). A Statistical Theory of Simple Spatial Distributions. WP 5. LUBFS.

MARCH L. (1969). Urban Systems: A Generalized Distribution Function. WP 24. LUBFS.

MARCH L. (1970). Equations Systems for Simple Urban Models. WP 8. LUBFS.

MASSEY D. (1970). The Basic Service Categorisation. WP 63. Centre for Enviromental Studies.

TANNER J.C. (1961). Factors Affecting the Amount of Travel. Road Research. Technical Paper 51. Her Majesty Stationary Office.

WILSON A.G. (1970). Entropy in Urban and Regional Modelling. Pion. Londres.

WILSON A.G. (1974). Urban and Regional Models in Geography and Planning. Wiley. Londres.



FUNDACION JUAN MARCH
SERIE UNIVERSITARIA

Titulos Publicados:

- 1.— *Semántica del lenguaje religioso/A. Fierro*
(Teología. España, 1973)
- 2.— *Calculador en una operación de rectificación discontinua/A. Mulet*
(Química. Extranjero, 1974)
- 3.— *Skarns en el batolito de Santa Olalla/F. Velasco*
(Geología. España, 1974)
- 4.— *Combustión de compuestos oxigenados/J. M. Santiuste*
(Química. España, 1974)
- 5.— *Películas ferromagnéticas a baja temperatura/José Luis Vicent López*
(Física. España, 1974)
- 6.— *Flujo inestable de los polímeros fundidos/José Alemán Vega*
(Ingeniería. Extranjero, 1975)
- 7.— *Mantenimiento del hígado dador in vitro en cirugía experimental*
José Antonio Salva Lacombe (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1973)
- 8.— *Estructuras algebraicas de los sistemas lógicos deductivos/José Plá Carrera*
(Matemáticas. España, 1974)
- 9.— *El fenómeno de inercia en la renovación de la estructura urbana.*
Francisco Fernández-Longoría Pinazo (Urbanización del Plan Europa 2.000
a través de la Fundación Europea de la Cultura)
- 10.— *El teatro español en Francia (1935–1973)/F. Torres Monreal*
(Literatura y Filología. Extranjero, 1971)
- 11.— *Simulación electrónica del aparato vestibular/J. M. Drake Moyano.*
(Métodos Físicos aplicados a la Biología. España, 1974)
- 12.— *Estructura de los libros españoles de caballerías en el siglo XVI.*
Federico Francisco Curto Herrero (Literatura y Filología. España, 1972)
- 13.— *Estudio geomorfológico del Macizo Central de Gredos*
M. Paloma Fernández García (Geología. España, 1975)
- 14.— *La obra gramatical de Abraham Ibn ^c Ezra/Carlos del Valle Rodriguez*
(Literatura y Filología. Extranjero, 1970)

15. – *Evaluación de Proyectos de Inversión en una Empresa de producción y distribución de Energía Eléctrica.* Felipe Ruíz López (Ingeniería. Extranjero, 1974)
16. – *El significado teórico de los términos descriptivos.* /Carlos Solís Santos (Filosofía. España, 1973)
17. – *Encaje de los modelos econométricos en el enfoque objetivos-instrumentos relativos de política económica.* /Gumersindo Ruíz Bravo (Sociología. España, 1971)
18. – *La imaginación natural (estudio sobre la literatura fantástica norteamericana).* /Pedro García Montalvo (Literatura y Filología. Extranjero, 1974)
19. – *Estudio sobre la hormona Natriurética.* /Andrés Purroy Unanua (Medicina, Farmacia y Veterinaria. Extranjero, 1973)
20. – *Análisis farmacológico de las acciones miocárdicas de bloqueantes Beta–Adrenérgicos.* /José Salvador Serrano Molina (Medicina, Farmacia y Veterinaria. España, 1970)
21. – *El hombre y el diseño industrial.* /Miguel Durán–Lóriga (Artes Plásticas. España, 1974)
22. – *Algunos tópicos sobre teoría de la información.* /Antonio Pascual Acosta (Matemáticas. España, 1975)

