ecuación subyace a todos nuestros modelos de crecimiento.

La ecuación ( f' ) se especificó adicionalmente como sigue:

$$\ln (t^m{}_{ij}) = a + b \ln (t^t{}_j / t^t{}_i) - c \ln (d_{ij})$$

Esta es la forma de la ecuación ajustada con la información estadística disponible.

La forma antilogarítmica ajustada de la ecuación es:

$$t\ m_{ij} = 2901.04 / (t\ t_i / t\ t_j)^{1.5249} (d_{ij})^{1.1928}$$

El coeficiente de determinación múltiple fue de 0.3728. La proporción F fue del orden de 54.19. Esto nos permite concluir que el ajuste fue bueno. Sin embargo, el problema más serio es el signo contrario de la variable de productividad. Esto nos conduce al rechazo de la hipótesis de Myrdal-Kaldor, al menos en la forma aquí presentada.

## III. MODELOS FISICOS Y SOCIALES.

En el presente capítulo se discute otro conjunto de hipótesis relacionadas con la migración interregional. Este tipo de hipótesis no enfatiza el crecimiento económico como una determinante de la migración, sino que más bien presupone que las decisiones de migración son independientes del desempeño del crecimiento económico de las regiones de origen y destino. Una de las hipótesis es la bien conocida ley de gravedad de la interacción espacial o "física social"; una segunda hipótesis constituye una derivación económica de tal ley de gravedad. Un tercer modelo a ser presentado enfatiza la importancia de los factores sociales en la decisión de migrar, constituyendo así un modelo más "sociológico" que "económico". Finalmente, la cuarta hipótesis a ser probada está en clara contradicción con los tres modelos presentados en el capítulo anterior, pues específicamente sostiene que los flujos brutos de migración dependen de las condiciones sociales y económicas que prevalece en la región de origen, casi a exclusión de la situación que se pueda encontrar en la región de destino; así, la migración se convierte en una función directa del nivel de retraso que prevalece en la región de origen.

### A. Modelos de Gravedad.

Se proporciona en el punto presente una exposición de la literatura teórica, especificación y prueba de los modelos físico y económico de gravedad.

1. Literatura Teórica.

En primer lugar, el modelo de "física social" se deriva de la discusión por Isard y Bramhall[1/] de varias especificaciones del modelo básico. Primero proporcionan una derivación del modelo de gravedad desde un punto de vista probabilístico, a saber:

$$a) \quad I_{ij} = G \frac{P_i \; P_j}{d^b_{ij}}$$

donde $I_{ij}$ es el volumen de interacciones (por ejemplo, número de viajes) entre las áreas i y j, $P_i$ y $P_j$ son los tamaños respectivos de las poblaciones en estas áreas; d, como siempre, significa distancia, y b, G, son parámetros. Los autores también proporcionan una versión del "modelo potencial básico", que es la siguiente:

$$b) \quad {}_iV = G \frac{P_j}{d^b_{ij}}$$

donde ${}_iV$ es el potencial de atracción en el punto i, en el contexto de un sistema que consiste de n puntos.

Posteriormente Isard y Bramhall comentan sobre la formulación de gravedad. Luego de comentar sobre los problemas de medición de las variables de masa y distancia, argumentan que se debe dar alguna ponderación a las masas, en virtud de las diferentes contribuciones que las diferentes masas realizan a las interacciones sociales. Por lo tanto, Isard y

1/ Walter Isard, David F. Bramhall et al: Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science. Second Printing. The M.I.T. Press. Cambridge, Massachusetts. 1962.



Bramhall proponen una corrección a la ecuación (a) para propósito de tomar este factor en cuenta:

$$c) \quad I_{ij} = G \frac{(w_i \; P_i)\;(w_j \; P_j)}{d^b_{ij}}$$

$$d) \quad {}_iV = G \frac{w_j \; P_j}{d^b_{ij}}$$

Isard y Bramhall también se refieren a los trabajos de Anderson y Carrothers. Este último autor señala que la presencia de economías de aglomeración y deglomeración requiere una modificación del supuesto de que los exponentes de las variables de masa son unitarios. El resultado es una modificación adicional de las ecuaciones (c) y (d):

$$e) \quad I_{ij} = G \frac{w_i \; (P_i)^{\alpha} \; w_j \; (P_j)^{\beta}}{d^b_{ij}}$$

$$f) \quad {}_iV = G \frac{w_j \; (P_j)^{\alpha}}{d^b_{ij}}$$

Una derivación alternativa de la ley de gravedad de la interacción espacial se proporciona por Niedercorn y Bechdolt.[2/] El marco teórico que usan para su derivación es el de la teoría de la utilidad marginal. Los autores

2/ J.H. Niedercorn and B.V. Bechdolt, Jr.: "An Economic Derivation of the 'Gravity Law' of Spatial Interaction". Journal of Regional Science. Vol. 9, No. 2 (August 1969). pp. 273-282.

comienzan suponiendo un sistema de $n + 1$ áreas con un individuo localizado en un área $i$ con $n$ áreas de destino alternativas. La primera relación que los autores proponen es la de la utilidad de realizar viajes ( neta de cualquier desutilidad) del individuo dado (k) al viajar del origen $i$ al destino $j$ :

$$1)\quad {}_kU'_{ij} = f({}_kT_{ij})$$

donde ${}_kT_{ij}$ es el número de viajes que hace el individuo de $i$ a $j$ por unidad de tiempo. Esta relación es válida para el caso en que existe sólo un individuo en el punto $j$ con quien el individuo $k$ desearía interactuar. Bajo el mismo supuesto, la utilidad total de $k$ de la interacción con todos los destinos es como sigue:

$$2)\quad {}_kU'_i = \sum f({}_kT_{ij})$$

cuando se toma en cuenta el hecho de que existe más de un individuo en cualquier punto $j$ con quien $k$ desearía interactuar, la ecuación (2) se convierte en:

$$3)\quad {}_kU_i = a\sum P_j\ f({}_kT_{ij})$$

donde $P_j$ es la población total en el destino $j$, y se supone proporcional a (y, en consecuencia, representativa de) el número total de individuos en el área con quienes nuestro individuo $k$ desearía interactuar, y $a$ es la constante de proporcionalidad. Esta es la forma en que los autores representan la utilidad neta total de $k$ de interactuar con personas en todos los lugares de destino, por unidad del tiempo.



El siguiente paso consiste en imponer limitaciones sobre la función de utilidad. Tales limitaciones son el dinero y el tiempo que el individuo desea asignar para viajar, de un presupuesto y un horario limitados. La limitación monetaria se expresa como sigue:

$$4)\quad {}_kM_i \geq r\sum d_{ij}({}_kT_{ij})$$

donde $M$ es la cantidad total de dinero que el individuo desea gastar en viaje, $r$ es el costo por unidad de distancia viajada y $d$ es la distancia entre el origen $i$ y el destino $j$. La limitación monetaria simplemente expresa la condición de que la suma de las cantidades gastadas para viaje en todos los destinos no sea mayor que el presupuesto total para viaje.

Similarmente, la limitación de tiempo expresa la condición de que la cantidad total de tiempo de viaje a todos los destinos sea igual o menor que la cantidad total de tiempo asignado para viaje. La limitación se expresa formalmente como:

$$5)\quad {}_kH_i \geq 1/s\sum d_{ij}({}_kT_{ij})$$

donde $H$ es la cantidad total de tiempo que el individuo desea asignar para viaje y $s$ es la velocidad promedio de viaje.

El que la condición (4) o la (5) sea la limitante dependerá de los valores que tomen los parámetros $r$, $M$, $s$ y $H$. Si ${}_kM_i/r < s\,{}_kH_i$,

la condición (4) será la limitante; por el contrario, si $s\,k\,H_i < k\,M_i / r$ la condición limitante será el tiempo.

En seguida, la utilidad total del individuo para interactuar con personas en todos los destinos se maximiza, por medio del método de multiplicadores de Lagrange, y suponiendo que el dinero sea la condición limitante, los autores obtienen:

$$6)\quad {}_kU_i^* = a \sum P_j f({}_kT_{ij}) - \lambda\left[r \sum d_{ij}({}_kT_{ij}) - {}_kM_i\right]$$

Los autores en seguida proporcionan el conjunto de condiciones de primer orden para la maximización de la función de utilidad total del individuo k para viajar:

$$7)\quad \frac{\partial\, {}_kU_i^*}{\partial\, {}_kT_{i1}} = a\, P_1 \frac{\partial f({}_kT_{i1})}{\partial\, {}_kT_{i1}} - \lambda r\, d_{i1} = 0$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$\frac{\partial\, {}_kU_i^*}{\partial\, {}_kT_n} = a\, P_n \frac{\partial f({}_kT_{in})}{\partial\, {}_kT_{in}} - \lambda r\, d_{in} = 0$$

y

$$\frac{\partial\, {}_kU_i^*}{\partial \lambda} = r \sum d_{ij}({}_kT_{ij}) - {}_kM_i = 0$$

Se sigue el proceso acostumbrado de eliminación. Así se obtiene:



$$8)\quad P_2 \frac{\partial f({}_kT_{i2})}{\partial\, {}_kT_{i2}} - \frac{d_{i2}}{d_{i1}} P_1 \frac{\partial f({}_kT_{i1})}{\partial\, {}_kT_{i1}} = 0$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$P_n \frac{\partial f({}_kT_{in})}{\partial\, {}_kT_{in}} - \frac{d_{in}}{d_{i1}} P_1 \frac{\partial f({}_kT_{i1})}{\partial\, {}_kT_{i1}} = 0$$

y

$$r \sum d_{ij}({}_kT_{ij}) - {}_kM_i = 0$$

En seguida, para obtener los valores maximizantes de $k\,T_{ij}$ para toda j, los autores suponen una función logarítmica de la actividad de viajar:

$$9)\quad f({}_kT_{ij}) = \ln({}_kT_{ij})$$

Esto implica que:

$$10)\quad \frac{\partial f({}_kT_{ij})}{\partial\, {}_kT_{ij}} = \frac{1}{{}_kT_{ij}}$$

Sustituyendo la ecuación (10) en las ecuaciones (8) obtenemos:

$$11)\quad {}_kT_{ij} = \left(\frac{{}_kM_i}{r}\right)\left(\frac{P_j}{P_j}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

Así, el número de viajes que realiza el individuo que maximiza su altitud de la actividad de viajar es directamente proporcional a

$k\ M_i / r$, la distancia total viajada por él a todos los destinos, y a la proporción de la población regional total ubicada en el destino j, y está inversamente relacionada a la distancia.

El paso final que toman los autores en la derivación económica de la ley de gravedad es obtener el número total de viajes realizados por todos los individuos del origen i al destino j.

$$\text{Si} \quad T_{ij} = \sum_k T_{ij}$$

$$\text{y} \quad M_i = \sum_k M_i$$

podemos tener, finalmente,

$$\sum_k T_{ij} = \left(\frac{\sum_k M_i}{r}\right)\left(\frac{P_j}{\sum P_j}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

o bien

$$12) \quad T_{ij} = \left(\frac{M_i}{r}\right)\left(\frac{P_j}{\sum P_j}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

2. Especificación y Prueba de los Modelos.

En primer lugar, probaremos la versión de física social de la ley de gravedad de la interacción espacial. Para esto usaremos una especificación similar a la de la ecuación (e) anterior. Esto es, nuestra especificación del modelo de gravedad de física social es:

$$t^m{}_{ij} = G \frac{t - 1 \ (PD^a \ PO^b)}{d^c{}_{ij}}$$



donde m es la migración del estado i al estado j, como proporción de la población total en el estado i, P D y P 0 son los tamaños de la población en los lugares de destino y de origen, respectivamente, para 1960, y d i j es la distancia entre el origen y el destino. Puede observarse que esta ecuación difiere de la ecuación (e) en términos de las ponderaciones: El presente autor prefirió no utilizar el ingreso promedio como ponderación para las masas de población en base a que tal empleo tal vez arrojaría resultados erróneos en vista de la evidencia en relación con la distribución del ingreso en México; en otras palabras, dado el alto grado de desigualdad de ingreso. En este país y, además, dado que la distribución del ingreso no es igual para todas las entidades federativas, el empleo de cifras de ingreso promedio no parece aconsejable.3/

En segundo lugar, también se incluye en el presente trabajo una prueba de la versión económica de la ley de gravedad de la interacción especial. La forma de la ecuación a ser probada es una transformación y simplificación de las ecuaciones (12) anteriores: En primer lugar, en lugar de T i j, el número total de viajes realizados entre las áreas i y j,

3/ Del examen del trabajo de Isard y Bramhall hemos visto que el empleo de oportunidades intermedias en lugar de la distancia en el denominador de la ecuación no necesariamente mejora los resultados estadísticos. De esto y del hecho de que las cifras para la variable de oportunidades intermedias son más bien difíciles de calcular, el autor ha decidido emplear, en cambio, distancia por carretera.

tenemos $M_{ij}$, el número total de migrantes de i a j entre 1960 y 1970. Segundo, se estandarizan las cifras para la migración (como se hace para todos los demás modelos probados) dividiéndolas por el tamaño de la población en la entidad federativa de origen en 1960. Por lo tanto, tenemos:

$$\text{i)} \quad T_{ij} = \left(\frac{M_i}{r}\right)\left(\frac{P_j}{\Sigma P_j}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

que es la ecuación (12) de Niedercorn y Bechdolt.

$$\text{ii)} \quad {}_tM_{ij} = \left(\frac{\bar{M}_i}{r}\right)\left(\frac{PD}{\Sigma P}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

que es muestra adaptación a la ecuación (i). ${}_tM_{ij}$ es la migración; $\bar{M}_i$ es la cantidad total de dinero gastado en viaje, y corresponde a $M_i$ de la ecuación ( i ). La barra se emplea para evitar confusión entre migración y dinero. P D es el tamaño de la población de la entidad federativa de destino, y es el equivalente a $P_j$ en la ecuación ( i ). Finalmente, $\Sigma P$ es el tamaño de la población en México; este concepto es equivalente a $\Sigma P_j$ en la ecuación ( i ).

En seguida, estandarizamos $M_{ij}$ por PO :

$$\text{iii)} \quad \frac{{}_tM_{ij}}{PO} = \left(\frac{1}{PO}\right)\left(\frac{\bar{M}_i}{r}\right)\left(\frac{PD}{\Sigma P}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

Ahora simplificamos definiendo:



$$\text{iv)} \quad \frac{{}_tM_{ij}}{PO} = {}_tm_{ij}$$

$$\text{v)} \quad \frac{1}{PO}\,\frac{\bar{M}_i}{r} = b$$

Sustituyendo (iv) y (v) en (iii), tuvimos, finalmente :

$$\text{vi)} \quad {}_tm_{ij} = a + b\left(\frac{PD}{\Sigma P}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

que es la versión de la derivación económica de la ley de gravedad de la interacción espacial que probaremos. De acuerdo con Niedercorn y Bechdolt, tenemos E (a) = 0.

La forma antilogarítmica de la ecuación del modelo de gravedad de física social, ya ajustada, es:

$${}_tm_{ij} = 7.39\,\frac{{}_{t-1}PD^{0.7639}}{{}_{t-1}PO^{0.3128}\,d_{ij}^{1.0894}}$$

con $R^2$ = 0.4983 ($R^2$ de tablas: 0.038) y F = 61.2938 (F de tablas: 2.65).

Por otra parte, la forma ajustada de la ecuación que representa a la versión económica de la ley de gravedad es:

$${}_tm_{ij} = 2.87 + 402.35\left(\frac{PD}{\Sigma P}\right)\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)$$

con $R^2$ = 0.3823 y F = 115.84.

Podemos concluir que el ajuste de ambas versiones de la ley de gravedad de la interacción espacial fue satisfactoria. La hipótesis de