

**CAUSALIDAD, SISTEMAS Y MODELOS DINAMICOS.
TRES ENFOQUES DE LA EXPLICACION EN DEMOGRAFIA**

**Olga López Ríos y
Guillaume Wunsch**
Institut de Démographie
Université de Louvain

RESUMEN

Se comparan tres enfoques de la explicación en Demografía: el análisis causal, los modelos de transición y los modelos dinámicos. El objetivo de estos tres enfoques no es el mismo: los modelos de transición examinan la transformación de un sistema en un período dado; el modelo dinámico esquematiza la evolución de un proceso social en el tiempo; el análisis causal describe el mecanismo a través del cual las causas producen sus efectos. Los tres enfoques se diferencian también en la manera en que toman en cuenta el tiempo; en particular los modelos causales estáticos no son pertinentes en la investigación demográfica.

(ANALISIS DE REGRESION)

(ANALISIS CAUSAL)

CAUSALITY, SYSTEMS AND DYNAMIC MODELS. THREE APPROACHES OF THE EXPLANATION IN DEMOGRAPHY

SUMMARY

Three approaches of the explanation in Demography are compared: the causal analysis, the transition models and the dynamic models. The purpose of these three approaches is not the same: transition models examine the transformation of a system during a given period; the dynamic model outlines the evolution of a social process through time; the causal analysis describe the mechanism through which the causes produce its effects. The three approaches differ also in the way they take time into account, particularly causal static models are not pertinent in demographic research.

(REGRESSION ANALYSIS)

(CAUSAL ANALYSIS)

INTRODUCCION

Como las otras ciencias sociales, la demografía no se limita únicamente a la descripción de los fenómenos sociales, sino que trata de orientarse poco a poco hacia el análisis de sus causas, llamadas modestamente por los demógrafos¹ "determinantes". No es el propósito de este trabajo definir el término "causalidad";² sin embargo es necesario decir que una característica que será retenida es la *anterioridad temporal* de la *causa* con respecto a su *efecto*,³ lo que podemos expresar como $C(t_0) \rightarrow E(t_1)$ donde $t_0 < t_1$, y suponiendo además que la causa C y el efecto E están ordenados en el tiempo. Considerando lo anterior no podemos admitir la causalidad recíproca $C \longleftrightarrow E$, ni de efecto de retroacción $C \rightarrow C$ en un mismo momento. Habrá necesariamente una *cadena temporal causal* $C(t_0) \rightarrow E(t_1) \rightarrow C(t_2)$ donde $t_0 < t_1 < t_2$. Análogamente el efecto de retroacción se expresará $C(t_0) \rightarrow C(t_1) \rightarrow C(t_2)$.

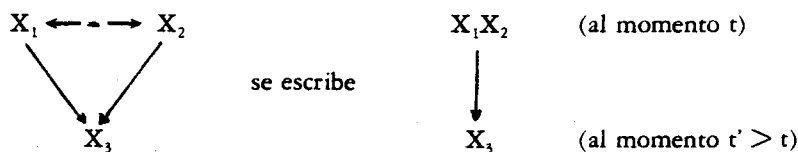
Así pues, nos limitaremos a los *modelos recurrentes* ya que de acuerdo a la teoría de la causalidad no consideramos las relaciones recíprocas simultáneas⁴ entre la causa y su efecto o de una causa y ella misma. Los modelos lineales recurrentes son siempre identificados (o subidentificados), y pueden ser ajustados utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios (véase, por ejemplo,

¹Es curioso constatar que hay una resistencia a la utilización del término "causa", siendo que el concepto de causalidad se encuentra de nuevo integrado en la ciencia.

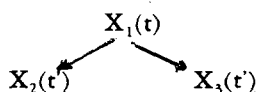
²Para una visión completa actualizada véase J. Duchêne, G. Wunsch y E. Vilquin (editores) (en prensa).

³No puede haber causalidad simultánea (A.D. Kline, 1980). Forzosamente el efecto no puede preceder la causa. El único orden causal que es aceptado es el orden temporal. Otras definiciones deben tomarse con cuidado (véase especialmente G. Wunsch 1988). Para una discusión reciente del problema se puede referir por ejemplo a C.W.J. Granger (1988).

⁴Puede existir, sin embargo, una relación simultánea entre dos variables causales que actúen *conjuntamente* sobre una tercera. En ese caso el modelo



Es así, que la presencia simultánea de una chispa y una fuga de gas causan una explosión. Se puede también tener una causa *común* actuando simultáneamente sobre dos efectos como en el caso (con $t' > t$):



O.D. Duncan 1975). En la práctica los datos disponibles frecuentemente no permiten efectuar el análisis siguiendo esta óptica, por lo que la recolección de datos adecuados (longitudinales) debería ser uno de los objetivos primordiales de la investigación en ciencias sociales. El desarrollo del método de historias de vida parece ser una opción, en ese sentido, con gran futuro, dado que este método nos permite conocer el orden temporal en el cual los eventos en la vida del individuo acontecen. Sin embargo, se deberá relacionar estas historias de vida con datos contextuales del momento, para poder considerar los diferentes niveles (individual, contextual) de las variables explicativas en las ciencias sociales.

El objetivo de este trabajo es comparar el análisis causal con otros dos métodos de análisis de los fenómenos sociales: los modelos de sistemas de transición y los modelos dinámicos. En el contexto de los modelos lineales recurrentes, el método de análisis de trayectoria ("path analysis") es una de las técnicas más utilizadas en las ciencias sociales y de manera particular en demografía.⁵ En una primera parte de este trabajo presentamos brevemente las hipótesis y las características de este método, situándonos en una óptica de análisis causal. En seguida analizaremos las diferencias y similitudes entre este método y el método de sistemas considerado en términos de modelos de stock y flujos, como el sistema demográfico; y finalmente analizamos la relación que existe con el modelo dinámico. En todo el desarrollo suponemos la utilización de variables continuas, dado que el método de coeficientes de trayectorias no da resultados aceptables para escalas nominales de medición (F.S. Ellett y D.P. Ericson 1985).

EL ANALISIS CAUSAL

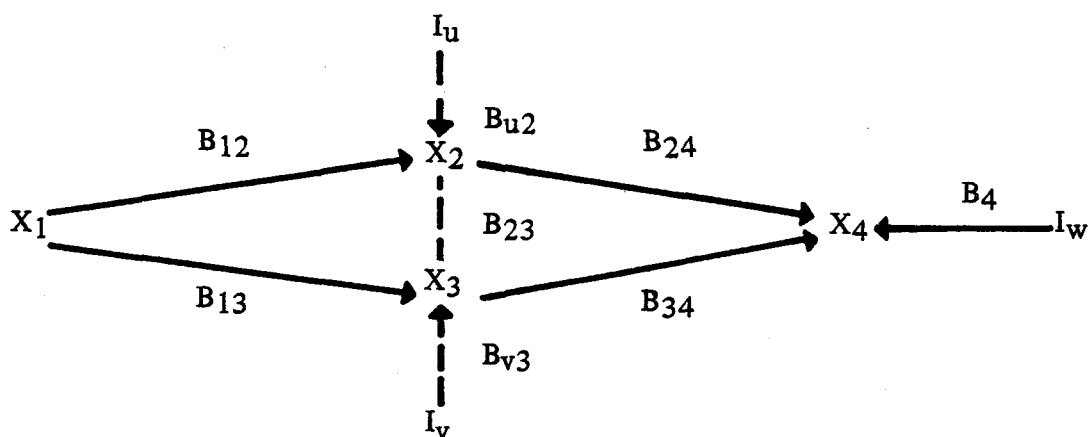
Supongamos que nos interesamos en estudiar las causas de la mortalidad diferencial regional en México. Escogeríamos para ello un indicador de la mortalidad regional y afirmamos que la variación espacial y temporal⁶ de este indicador está relacionada con la oferta y demanda de servicios de salud. Partimos de una *teoría* compuesta de un conjunto de variables (indicadores de conceptos) y de las relaciones entre éstas. La teoría describe el mecanismo por el cual la oferta y demanda de servicios de salud influyen en las diferencias de la mortalidad regional. No pudiendo recurrir a la experimentación en este terreno, tratamos de confirmar nuestra hipótesis⁷ con un modelo estadístico, por ejemplo el de análisis de trayectoria. Para tal efecto es necesario controlar la influencia de las variables causales que no son parte del mecanismo descrito (como las diferencias

⁵Para una presentación resumida, véase por ejemplo M.G. Kendall y C.A. O'Muircheartaigh (1979). El análisis de trayectorias es un caso particular del *análisis de estructuras de covarianza*, desarrollado principalmente por Jöreskog. Este último enfoque es claramente presentado, dentro de la óptica del análisis causal, en la obra de R.P. Bagozzi (1980).

⁶En lo que sigue, nos limitamos a un eje del espacio-tiempo, por ejemplo la óptica temporal, dado que el análisis causal resulta más complejo cuando se toma en cuenta la doble dimensión espacio y tiempo.

⁷K. Popper (1959) mostró, sin embargo, que no se puede probar que una teoría es cierta, solamente "falsificarla", es decir invalidarla.

Gráfico 1



de estructura por edad entre regiones, por ejemplo) pero que pueden llevar a conclusiones erróneas. Este tipo de variables se conoce generalmente como "variables de confusión" (confounding variables). Por otro lado las otras variables causales (y las no causales también) pueden ser excluidas de la teoría en la medida que ésta representa solamente una parte de la realidad.

Como ejemplo consideremos el esquema causal⁸ que se presenta en el gráfico 1.

La variable dependiente X_4 es influenciada por las causas inmediatas X_2 y X_3 , dependientes ellas mismas de la causa anterior X_1 ; X_2 influye directamente en X_4 , e indirectamente a través de X_3 ; X_1 es una variable "exógena". Las variables X_2 , X_3 y X_4 son llamadas "endógenas". Y finalmente I_k representa las variables "implícitas" (mejor conocidas como residuos o errores), que no forman parte del mecanismo propuesto y a las cuales no les asignamos un nombre específico. Los coeficientes B_{ij} indican la incidencia de la variable i en la variable j y se definirán más adelante.⁹

Por otro lado, el modelo estadístico establece que se cumplan una serie de supuestos. Por lo que a nosotros nos interesa, es necesario que las relaciones entre las variables sean lineales y aditivas, condiciones que en modelos más complejos pueden ser violadas. Es necesario, además, que las variables implícitas influyan directamente sólo en una de las variables X_i del mecanismo postulado y que no estén correlacionadas entre ellas.¹⁰ Esta hipótesis se conoce como la

⁸ Este esquema, que se basa en los trabajos de sociología política de Miller y Stokes, es bien discutido en H.B. Asher (1976). Se considera generalmente que $X_1 = I_y$, variable explícita exógena, que traduce de manera privilegiada el impacto que viene del exterior del mecanismo propuesto.

⁹ En la literatura sobre las ecuaciones estructurales, estos coeficientes se escriben generalmente como B_{ji} ; puesto que se lee de izquierda a derecha, nuestra notación nos parece más clara: la causa i precediendo en este caso el efecto j .

¹⁰ Si esta condición no es satisfecha, el ajuste del modelo por mínimos cuadrados corriente es causa de sesgo y se deben utilizar otros procedimientos para el ajuste, como el método de "mínimos cuadrados dobles"; para referencia véase L.L. Hargens (1988).

“cerradura débil” del gráfico. Se supone además, que las variables I_k tienen esperanzas nulas y varianzas constantes. Observemos en el gráfico propuesto que X_4 depende de X_2 y de X_3 , pero X_3 depende ella misma de X_2 , lo que implica que existe multicolinealidad entre los dos predictores de X_4 , situación que frecuentemente se presenta en el análisis causal.¹¹

El método de análisis de trayectoria fue elaborado por Sewall Wright (1934, 1960, 1968) con un objetivo de interpretación de datos, utilizando los coeficientes de correlación. El método parte de un esquema como el que hemos descrito en el gráfico 1, en el cual se representan las diferentes variables que intervienen. Las variables consideradas pueden ser determinadas totalmente por otras variables también incluidas en el esquema (variables endógenas) o ser factores finales (variables exógenas). Se necesita representar en el esquema las variables residuales (variables implícitas) que tengan un efecto sobre las variables endógenas. Por hipótesis una variable implícita no debe estar correlacionada con ninguna de las variables anteriores del esquema. Las relaciones entre las variables se suponen lineales.

Consideremos la regresión de una variable v_0 con sus causas inmediatas $v_0 = b_0 + b_{10}v_1 + b_{20}v_2 + \dots + b_{n0}v_n + \epsilon$ donde: los b_{j0} son los coeficientes de regresión y ϵ es el término de “error”. Definamos ahora las variables estandarizadas $V_i = (v_i - \bar{v}_i) / \sigma_i$ y los *coeficientes de trayectoria* $B_{j0} = b_{j0} \sigma_j / \sigma_0$ tendremos entonces $V_0 = B_{10}V_1 + B_{20}V_2 + \dots + B_{n0}V_n + B_{u0}I_u$ donde el último término representa el “error” o la contribución de la variable I_u . Puesto que las variables son estandarizadas, la recta de regresión pasa por el origen y la ordenada al origen es igual a cero.

Partiendo del hecho que trabajamos con variables estandarizadas, la correlación entre V_0 y otra variable del sistema V_q se puede expresar como $r_{0q} = (\sum V_0 V_q) / N$. Sustituyendo V_0 por su ecuación correspondiente, se tiene:

$$\begin{aligned} r_{0q} &= [\sum V_q (B_{10}V_1 + \dots + B_{u0}I_u)] / N \\ &= B_{10}r_{1q} + \dots + B_{n0}r_{nq} + B_{u0}r_{uq} \\ &= \sum B_{j0}r_{jq} \end{aligned}$$

Considerando el esquema del gráfico 1, efectuamos la regresión de cada una de las variables consideradas con respecto a sus causas directas y obtenemos el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} X_2 &= B_{12}X_1 + && + B_{u2} I_u \\ X_3 &= B_{13}X_1 + B_{23}X_2 && + B_{v3} I_v \\ X_4 &= & B_{24}X_2 + B_{34}X_3 & + B_{w4} I_w \end{aligned}$$

¹¹ Este problema es tratado en la literatura sobre el análisis de trayectorias. Para una discusión interesante de los efectos de multicolinealidad en la regresión múltiple, véase especialmente M.S. Lewis-Beck (1980).

Calculemos por ejemplo la correlación entre X_1 y X_4 :

$$\begin{aligned} r_{14} &= (\Sigma X_1 X_4) / N \\ &= [\Sigma X_1 (B_{24} X_2 + B_{34} X_3 + B_{W4} I_W)] / N \\ &= B_{24} r_{12} + B_{34} r_{13} \end{aligned}$$

De manera análoga podemos calcular r_{12} y r_{13} y obtenemos:

$$\begin{aligned} r_{13} &= B_{13} + B_{23} r_{12} \\ r_{12} &= B_{12} \end{aligned}$$

y finalmente por sustitución, se obtiene $r_{14} = B_{12} B_{24} + B_{13} B_{34} + B_{12} B_{23} B_{34}$.

Se puede observar que la relación entre las variables X_1 y X_4 puede ser representada por la suma de productos de los coeficientes de trayectorias relativos a las trayectorias directas e indirectas que van de X_1 a X_4 . De esta manera se puede medir la intensidad de las diferentes relaciones causales postuladas por medio de las combinaciones lineales de los coeficientes de trayectorias, respetando evidentemente las condiciones del modelo. Pueden también aplicarse las pruebas clásicas de inferencia sobre los coeficientes de regresión estandarizados.

LOS MODELOS DE SISTEMAS DE TRANSICION

Consideremos un sistema de cuatro variables W, X, Y, Z . El *estado* de este sistema en un momento dado está representado por los valores que las cuatro variables toman en ese momento. En el momento 1 se tendrá el estado W_1, X_1, Y_1, Z_1 . El estado del sistema en el momento 2 se puede expresar como: W_2, X_2, Y_2, Z_2 . Podemos pasar de un estado al siguiente por medio de la *matriz de transición* que traduce las modificaciones que pueden intervenir en el sistema entre los momentos 1 y 2. Suponiendo que se trata de un sistema lineal aditivo tendremos el producto escalar de vectores $W_2 = (a_{WW} a_{XW} a_{YW} a_{ZW}) (W_1 X_1 Y_1 Z_1)$ donde cada elemento a_{KW} representa la acción de las diferentes variables K sobre la variable W durante el tiempo considerado. De manera más general se puede escribir $(E_2) = (T)(E_1)$ donde (T) representa la matriz de transición y (E_i) los vectores de estado.

La teoría de sistemas supone, como el modelo de causalidad, que el futuro no afecta el estado actual del sistema. En cuanto al pasado, ya está considerado en el estado actual (D. Karnopp y R. Rosenberg 1975). Observamos así una característica similar a la de los procesos markovianos. Por otra parte refiriéndose a las ideas de Erwin Laszlo (1969), un sistema recibe información de su medio ambiente (las "entradas" del sistema); esta información es filtrada y transformada pertinentemente al interior del sistema, y una respuesta (las "salidas") es dada por el sistema. Así, en el caso europeo, una presión demográfica muy fuerte en la agricultura ha tenido en el pasado como resultado una reducción de la nupcialidad y de la natalidad y una migración hacia las ciudades o al extranjero.

Cabe señalar que según esta visión el sistema es considerado como un objeto esencialmente *pasivo* que reacciona a estímulos que vienen del exterior. No se puede entonces comprender el papel *activo* de una de las componentes del sistema. Esta observación es una crítica fundamental que se puede hacer al enfoque de sistemas.

Una gran parte de los sistemas dinámicos involucra los modelos "entradas-salidas" de reservas y flujos. El estado del sistema se define por los niveles de reservas; estos se modifican a través del tiempo por los flujos de entrada y salida. Los modelos económicos de Leontief son de este tipo, lo mismo que el sistema de la población activa (por ejemplo A. Mehlmann 1982). El ejemplo clásico, en el mundo de la ingeniería, son los sistemas hidráulicos. Las reservas de los líquidos contenidos en un conjunto de depósitos son modificados en el tiempo por los flujos que circulan en los depósitos o que vienen de (o van hacia) el exterior del sistema, es decir de su medio ambiente.

En demografía el crecimiento de una población se puede traducir en términos de reservas y flujos: el estado de la población (e.g. su estructura absoluta por edad) varía de un censo al otro bajo el efecto de la evolución de la fecundidad, de la mortalidad y de la migración. El conjunto de ecuaciones lineales que describen el estado del sistema: $(P''2) = (M) (P'1)$ donde (P') y (P'') representan dos vectores de los efectivos por edad (y eventualmente también por región) en los momentos 1 y 2 (los vectores de estado), y (M) es la matriz de Leslie (o de Rogers) que representa el movimiento demográfico de esta población cerrada (o abierta) en el período de tiempo considerado. Observemos, sin embargo, que los modelos demográficos de este tipo no son realmente de sistemas, en el sentido que no existen estímulos y respuestas en lo que respecta a su medio ambiente.¹² Desde el punto de vista de la causalidad no son suficientes tampoco: no se conoce por qué los elementos de la matriz (M) toman estos valores, o por qué, la matriz varía en el tiempo.

Consideremos ahora la analogía formal entre el modelo de sistemas que ha sido presentado en esta sección y el análisis de trayectorias expuesto en la sección precedente. Dado que estamos utilizando variables estandarizadas tendremos en este caso un sistema de ecuaciones del tipo $(X_j) = (B_{ij})(X_i) + (\Theta)$ donde (X_j) es el vector de las variables endógenas, (X_i) es el vector de las causas directas, (B_{ij}) es la matriz de coeficientes de trayectoria y (Θ) es la contribución de las variables implícitas. Las relaciones correspondientes al gráfico 1 nos dan, recordémoslas, el sistema de ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} X_2 &= B_{12}X_1 + B_{u2}I_u \\ X_3 &= B_{13}X_1 + B_{23}X_2 + B_{v3}I_v \\ X_4 &= B_{24}X_2 + B_{34}X_3 + B_{w4}I_w \end{aligned}$$

¹² Véase con este propósito P.M. Boulanger (1979).

y además incluyendo la variable x_1 , se tendrá el modelo de trayectoria siguiente:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ B_{12} & 0 & 0 & 0 \\ B_{13} & B_{23} & 0 & 0 \\ 0 & B_{24} & B_{34} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} + (\theta)$$

donde el vector (θ) representa la contribución de las variables implícitas; se puede también distinguir las relaciones directas entre las variables endógenas X_2 , X_3 , y X_4 . Estas relaciones se traducen en la sub-matriz.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ B_{23} & 0 & 0 \\ B_{24} & B_{34} & 0 \end{bmatrix}$$

Observemos la forma *estrictamente triangular* de esta matriz. Por debajo de la diagonal nula, todos los elementos son nulos, lo que muestra la característica recursiva del modelo.

Podemos también considerar este modelo de causalidad como un sistema, como se presentó anteriormente. Desde este punto de vista, se dispone de un estado inicial de variables X_i y deseamos representar la transformación de este estado siguiendo los mecanismos descritos abajo. Utilizando las propiedades del análisis de trayectorias, podemos escribir el modelo del sistema siguiente, suponiendo que el mecanismo causal produce todos sus efectos durante el período de tiempo considerado.¹³

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ B_{12} & 1 & 0 & 0 \\ B_{13} + B_{12}B_{23} & B_{23} & 1 & 0 \\ B_{12}B_{24} + B_{13}B_{34} + B_{12}B_{23}B_{34} & B_{24} + B_{23}B_{34} & B_{34} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} + (\theta)$$

Se puede observar en este caso la diferencia entre el modelo de causalidad y el modelo de sistemas. El primero describe el *mecanismo* que opera en el sistema mientras que el segundo traduce la *transición* de un vector de estado al siguiente.

¹³Esta hipótesis es discutida en la última sección del trabajo.

La óptica de sistemas (presentada aquí) es entonces macro-analítica mientras que el análisis de trayectorias es micro-analítico. Observemos también que el modelo puede por analogía representarse por un sistema hidráulico. Las variables X_i serán en el caso presente cuatro depósitos de los cuales las reservas de flujos se modifican, por una parte, por los aportes exteriores (θ) y, por otra, por los flujos que circulan de un depósito al otro. Estos flujos están bajo la acción de los coeficientes de trayectorias que tendrían aquí el papel de válvulas.

En econometría el vector (θ), cuyos elementos representan la varianza residual no explicada por las variables X_i , es considerado generalmente como un término de error debido a un efecto aleatorio que proviene de los errores (no sistemáticos) de medida y/o de un componente puramente estocástico.¹⁴ Este punto de vista es posible, si el modelo causal tiene en cuenta todas las variables causales, es decir si está perfecta y enteramente especificado. En ciencias sociales, se considera al residuo como la acción de las variables implícitas, como la entrada/salida de informaciones concernientes al medio ambiente.

Esta segunda interpretación nos parece mucho más correcta, primero porque el modelo explicativo no es más que un aspecto de la realidad (hay otras variables causales que pueden intervenir la realidad conjuntamente con las que están incorporadas en el mecanismo postulado) y también porque los hechos sociales son tan complejos que no se puede suponer que el modelo que se propone está perfectamente especificado. Este último modelo se amolda más al concepto de sistema que pertenece a un medio ambiente dado o de la explicación causal considerada en un campo causal apropiado.

Finalmente, aunque los fenómenos sociales no están en parte determinados, tenemos interés, —por razón de operacionalidad¹⁵— de simular que se encuentra uno frente a una explicación de naturaleza determinista. En ese caso un "error aleatorio" importante (traducido por la varianza residual) no puede venir más que de las variables ocultas, excluidas del modelo explicativo. Investigaciones posteriores deben encontrar estas variables todavía no conocidas. Entre tanto, debe suponerse al menos que las variables implícitas se ajustan a las condiciones establecidas.

LOS MODELOS DINAMICOS

En esta sección estudiamos brevemente los modelos dinámicos, los cuales expresan matemáticamente las relaciones entre las variables identificadas con respecto al tiempo. Cualquier demógrafo conoce la ecuación diferencial que representa la evolución de una población que en cualquier momento t , presenta

¹⁴ Los trabajos de econometría son muy discretos en cuanto al origen de este término de error, aunque son "exigentes" en cuanto a las condiciones que deben cumplir. Se puede encontrar, sin embargo, una discusión que se refiere a esta situación en A.A. Walters (1968) y S. Valavanis (1959).

¹⁵ Véase con este propósito el interesante trabajo de S. Nowak en J. Duchêne, G. Wunsch y E. Vilquin (editores) (en prensa).

un crecimiento proporcional al efectivo $N(t)$ de la población. Bajo esta hipótesis, se puede escribir $dN(t)/dt = kN(t)$ (para k constante) o $dN(t)/N(t) = kdt$. En efecto se trata de un caso particular de una ecuación diferencial más general (véase A. Hillion 1986) expresada por la relación $dN(t)/dt = kN(t) - f(t)N(t)$. En el presente caso $f(t) = 0$; integrando, se tiene $\ln N(t) = kt + \ln C$. Finalmente $N(t) = C \exp(kt)$ y escribiendo $N(0)$ la población en el tiempo $t=0$, se obtiene el crecimiento demográfico exponencial $N(t) = N(0) \exp(kt)$.

Consideremos ahora otro ejemplo: el caso de dos poblaciones. Si las poblaciones N_1 y N_2 están en interacción, un modelo dinámico simple (propuesto por A. Lotka), se puede escribir por medio del sistema de ecuaciones diferenciales lineales de primer orden, al instante t , como:

$$\begin{aligned} dN_1(t)/dt &= k_{11}N_1(t) + k_{12}N_2(t) \\ dN_2(t)/dt &= k_{21}N_1(t) + k_{22}N_2(t) \end{aligned}$$

En el trabajo de N. Keyfitz (1968) se encuentran aplicaciones de este modelo a diversas situaciones como la competencia.¹⁶ De nuevo se tiene un sistema de ecuaciones lineales, que puede ser expresado como una ecuación matricial del tipo $(N') = (K)(N)$, donde la variación N' de las dos poblaciones con respecto al tiempo está relacionada con sus efectivos respectivos por medio de una matriz (K) de componentes k_{ij} ; cuyos signos determinan el tipo de relaciones existentes entre las dos poblaciones.

Una relación causal se puede igualmente expresar como un modelo dinámico. Consideremos un modelo simple como por ejemplo $Y_t = f(X_{t-1}, Y_{t-1})$, y supongamos que la relación es lineal. Bajo esta condición, podemos escribir $Y_{qt} = bX_{t-1} + aY_{t-1}$ con $0 < a < 1$, y a y b independiente de t . Se trata de una ecuación lineal en diferencias finitas, de primer orden. Supongamos además que el modelo está completamente especificado. La evolución de Y en función del tiempo se obtiene entonces (por sustitución y recurrencia) por la solución general.

$$\begin{aligned} Y_t &= a \left(\sum_{i=0}^{t-1} b_i X_j \right) + b_t Y_0 \\ j &= (t - 1) - i \end{aligned}$$

Este tipo de modelo dinámico tiene por objetivo esencial predecir la trayectoria temporal del efecto Y_t en función de esta misma variable en un instante precedente, y de su causa X en los momentos anteriores. El interés principal no es de determinar empíricamente los parámetros del modelo, sino estudiar la evolución teórica de Y , así como su eventual tendencia al equilibrio y a la estabilidad. Contrariamente al análisis de sistemas, no buscamos describir los estados sucesivos del sistema, ni evaluar la incidencia de las relaciones causales al

¹⁶Para modelos más complejos véase S.N. Busenberg y K.L. Cooke (1981).

interior del mecanismo explicativo como en el caso del análisis causal. El modelo se puede extender fácilmente a un conjunto de causas $X_t(1), X_t(2), \dots$. Por otra parte, todo sistema de ecuaciones lineales, en diferencias finitas, puede igualmente ser presentado, como los dos enfoques anteriores, bajo forma matricial (véase e.g. R.R. Huckfeldt *et. al.*, 1982).

DISCUSION Y CONCLUSION

Como se señaló en la Introducción, hemos considerado por razones de naturaleza filosófica que provienen de la teoría de la causalidad, que las relaciones de causa y efecto, cuando existen, están ordenadas en el tiempo. Tal punto de vista, que es cercano al propuesto en econometría hace más de treinta años por H. Wold (1954; véase también R.H. Strotz y H.O.A. Wold 1960), conduce a rechazar las relaciones recíprocas simultáneas y a no proponer modelos explicativos de tipo recurrente si los datos lo permiten. En el caso contrario deberían recopilarse datos más adecuados de tipo longitudinal (tales como las historias de vida).

Este punto de vista plantea el problema de la incorporación del tiempo en las interpretaciones que hemos desarrollado anteriormente. En los modelos de sistemas de transición, el tiempo está incluido en la medida que relacionamos dos vectores de estado por intermedio de una matriz de transición, sobre un período dado, como el modelo de proyección demográfica. La adopción de modelos dinámicos considera períodos de tiempo correspondientes a dt , la diferencial del tiempo, o intervalos δt constantes en el caso de modelos a diferencias finitas. Los modelos dinámicos prevén también plazos o retardos entre la modificación de variables dependientes e independientes. En cuanto a los modelos de causalidad, fueron al contrario concebidos para responder a una situación intemporal, esencialmente estática, puesto que recurren generalmente a la técnica de las ecuaciones estructurales aplicadas a datos del momento, luego entonces, simultáneas.

Los modelos de causalidad utilizados en ciencias sociales no toman curiosamente en cuenta una variable crucial: *el tiempo*. Se puede, entonces, dudar seriamente de su validez. Aun la física, largo tiempo partidaria de un mundo intemporal en el cual el pasado, el presente y el futuro se confunden, reconoce ahora el papel del tiempo en la evolución de los fenómenos.¹⁷ A pesar de las analogías formales, no es evidente pasar fácilmente en la práctica de un enfoque al otro, en la medida que los tres enfoques tratados aquí no se refieren al tiempo de la misma manera.

Como Gollob y Reichardt (1985, 1987) lo mostraron, un modelo causal que utiliza solamente datos del momento es incapaz de medir válidamente las influencias causales que actúan en el tiempo. Luego entonces se requieren datos longitudinales para probar los modelos causales que, como lo sostenemos, deben

¹⁷Los trabajos de Ilya Prigogine son fundamentales en este dominio. Para una presentación resumida de la historia de las ideas en esta materia, véase por ejemplo, C.A. Rubino (1987).

necesariamente situarse en el tiempo. En este caso, un problema fundamental al nivel de la observación es de tener en cuenta el plazo necesario para que una causa produzca eventualmente el efecto. Por ejemplo, la ebriedad puede tener consecuencias inmediatas sobre la mortalidad causando un accidente automovilístico; el efecto del alcoholismo sobre la cirrosis del hígado o sobre las enfermedades cardiovasculares no se hará, evidentemente, sentir más que a largo plazo. Dentro de un mismo mecanismo causal, podemos tener variables que actúan con temporalidades diferentes. Raros son los modelos causales que, en la práctica, toman en cuenta este hecho que, sin embargo, proviene del sentido común.¹⁸

En este documento, comparamos el análisis causal basado en dos enfoques clásicos: los modelos de transición y los modelos dinámicos. Estos dos últimos no tienen necesariamente el mismo objetivo que el análisis causal. Los modelos de transición tienen esencialmente por objetivo examinar la transformación de un sistema en el transcurso de un período dado, bajo la acción de una matriz que traduce las probabilidades de cambio de estados. El modelo dinámico tiene más bien por objetivo representar la evolución de un proceso social en el tiempo, por medio de un modelo matemático, y de buscar las propiedades teóricas de esta evolución. El análisis causal, por último, busca describir el mecanismo por el cual las causas producen los efectos, y estimar la incidencia de las primeras sobre las segundas por métodos estadísticos.

Los tres enfoques no se excluyen mutuamente. Sería necesario, al contrario, poder integrarlos para poder comprender mejor la realidad social. Por ejemplo, un modelo dinámico se debería basar normalmente sobre un análisis causal previo. Aparte del problema no necesariamente trivial de obtener los datos adecuados, nos parece que de cualquier manera uno de los obstáculos mayores a esta situación es el diferente lugar que se da al tiempo en estos tres enfoques. Es necesario entonces, reconocer el papel que le corresponde al *tiempo*.

¹⁸Cabe recalcar, sin embargo que esta visión se encuentra muy a menudo en la investigación epidemiológica. Las ciencias sociales harían bien en inspirarse en ella (véase, sin embargo, J.R. Kelly y J.E. McGrath (1988)).

BIBLIOGRAFIA

- Asher, H.B. (1976), *Causal modeling*, Sage, Beverly Hills.
- Bagozzi, R.P. (1980), *Causal models in marketing*, Wiley, Nueva York.
- Boulanger, P.M. (1979), L'approche systémique et les sciences de la population, en Chaire Quetelet 178, *Approche systémique en sciences de la population*, Ordina, Liège.
- Busenberg, S.N. y K.L. Cooke (1981), *Differential equations and applications in ecology, epidemics and population problems*, Academic Press, Nueva York.
- Duchêne, J., G. Wunsch y E. Vilquin (en prensa), *Explanation in the social sciences. The search for causes in demography*, CIACO, Louvain-la-Neuve.
- Duncan, O.D. (1975), *Introduction to structural equation models*, Academic Press, Nueva York.
- Ellett, F.S. y D.P. Ericson (1985), Causal modeling and dichotomous variables, *Quality and quantity*, 19, pp. 131-148.
- Gollob, H.F. y C.S. Reichardt (1985), Building time lags into causal models of cross-sectional data, American Statistical Association 1985, *Proceedings of the social statistics section*, pp. 165-170.
- Gollob, H.F. y C.S. Reichardt (1987), Taking account of time lags in causal models, *Child development*, 58, pp. 80-92.
- Granger, C.W.J. (1988), Some recent developments in a concept of causality, *Journal of econometrics*, 39, pp. 199-211.
- Hargens, L.L. (1988), Estimating multiequation models with correlated disturbances, en J.S. Long (ed.), *Common problems/proper solutions. Avoiding error in quantitative research*, Sage, Newbury Park, pp. 65-83.
- Hillion, A. (1986), *Les théories mathématiques des populations*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Huckfeldt, R.R. et al. (1982), *Dynamic modeling. An introduction*, Sage, Beverly Hills.
- Karnop, D. y R. Rosenberg (1975), *Systems dynamics, a unified approach*, Wiley, Nueva York.
- Kelly, J.R. y J.E. McGrath (1988), *On time and method*, Sage, Newbury Park.
- Kendall, M.G. y C.A. O'Muircheartaigh (1977), *Path analysis and model building*, World Fertility Survey, Technical Bulletins Nº 2/Tech. 414.
- Keyfitz, N. (1968), *Introduction to the mathematics of population*, Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Kline, A.D. (1980), Are there cases of simultaneous causation?, en P.D. Asquith y R.N. Giere (eds), *PSA 1980*, Vol. 1, East Lansing, pp. 292-301.
- Laszlo, E. (1989), *System, esturcture and experience*, Gordon and Breach, Nueva York.
- Lewis-Beck, M.S. (1980), *Applied regression*, Sage, Beverly Hills.
- Mehlmann, A. (1982), On manpower systems - dynamics and control, en R. Trappl et al., (eds), *Progress in cybernetics and systems research*, Vol. X, Hemisphere, Washington.
- Nowak, S. (en prensa), Causality and determinism in the social sciences, en J. Duchêne, G. Wunsch y E. Vilquin (en prensa).
- Popper, K. (1959), *The logic of scientific discovery*, Basic Books, Nueva York.
- Rubino, C.A. (1987), Time in ancient thought and in modern science, *Bulletin de la classe des sciences*, Académie Royale de Belgique, LXXIII(11), pp. 465-476.
- Strotz, R.H. y H.O.A. Wold (1960), Recursive vs. nonrecursive systems, an attempt at synthesis, *Econometrica*, 28(2), pp. 417-427.
- Valavanis, S. (1959), *Econometrics*, McGraw Hill, Nueva York.
- Van de Geer, J.P. (1971), *Introduction to multivariate analysis for the social sciences*, Freeman, San Francisco.
- Walters, A.A. (1968), *An introduction to econometrics*, MacMillan, Londres.
- Wold, H. (1954), Causality and econometrics, *Econometrica*, 22(2), pp. 162-177.
- Wright, S. (1968), Path analysis theory, en *Genetic and Biometric Foundations*, Vol. 1, The University of Chicago Press, Chicago.
- Wright, S. (1934), The method of path coefficients, *The annals of mathematical statistics*, 5, pp. 161-215.
- Wright, S. (1960), Path coefficients and path regressions, alternative or complementary concepts? *Biometrics*, 16, pp. 189-202.
- Wunsch, G. (1988), *Causal theory and causal modeling*, Leuven University Press, Leuven.