

Posibilidades del análisis causal en el estudio de la educación

Por Víctor GARCIA HOZ

1. EL INTENTO DEL ANALISIS CAUSAL

Desde el concepto tradicional de ciencia como «conocimiento por causa» hasta la moderna investigación experimental científica en la que se manipula la realidad cambiando los objetos de una situación a otra con el fin de alcanzar no sólo el conocimiento de los fenómenos sino también su control, la noción de causalidad subyace en la construcción de la ciencia.

El «análisis causal» intenta descubrir la potencia de las relaciones causales entre varios acontecimientos, «estableciendo medidas cuantitativas de conexión causal entre variables. No prueba que una variable sea causa de otra sino, por el contrario, puede aplicarse solamente si se formulan supuestos concernientes a la posible dirección de la causalidad entre variables». (Birnbaum, 1981, 3).

La noción de causalidad se aplica cuando la ocurrencia de un acontecimiento permite esperar la producción de otro. Aunque propiamente el pensamiento causal se refiere a la actividad porque la ocurrencia o la modificación de un acontecimiento implica alguna forma de cambio, el análisis causal propiamente se refiere, más que a los cambios, a la configuración y relaciones causales de un hecho. El análisis causal puede ser utilizado incluso cuando no es posible manipular la realidad, razón por la cual es objeto de un creciente uso en las ciencias humanas en las que muchos problemas, educativos, políticos, éticos, no son susceptibles de someterse al experimento clásico (Heise, 1975, 3).

De las anteriores palabras fácilmente se infiere la posibilidad de utilizar el análisis causal en el estudio de los problemas educativos. Concretamente, las investigaciones *ex post facto* en las que «el científico no tiene control directo de variables independientes» (Kerlinger, 1975, 395).

El análisis causal procura expresar la fuerza o potencia de las relaciones causales que ligan entre sí a distintos fenómenos o variables. Las posibilidades que para el cálculo estadístico ofrecen los ordenadores, facilitan el estudio de las complicadas relaciones que vinculan entre sí a los

distintos fenómenos educativos. Pero la misma complicación de los cálculos y de las sofisticadas tecnologías impiden al educador profesional medio entender y tomar parte en el estudio científico de los problemas educativos.

Teniendo presente que la expresión matemática del análisis causal se apoya básicamente en el análisis multivariado que se complica progresivamente a medida que se van poniendo en relación sincrónica nuevas relaciones, el presente trabajo tiene como objetivo inmediato presentar un modelo de análisis causal en el cual cada variable dependiente se halla afectada únicamente por dos variables anteriores, con lo cual los cálculos se reducen a los problemas de regresión múltiple con tres variables. De esta suerte, el modelo refleja suficientemente la complejidad del aprendizaje humano y los problemas de cálculo que plantea pueden ser resueltos por quien posea unos elementales conocimientos estadísticos. El modelo que presento puede servir como orientación y base para aplicar el análisis causal al estudio del aprendizaje escolar.

2. MODELO MATEMATICO Y ANALISIS CAUSAL DEL APRENDIZAJE

Si las variables incluidas en un modelo de aprendizaje se suponen de algún modo relacionadas causalmente, el modelo se puede convertir en un diagrama dispuesto para servir de base al análisis causal del proceso de aprender.

La razón más fuerte que apoya el supuesto de la existencia de causalidad en el proceso de aprendizaje es la de que, en última instancia, la expresión, verbal o no verbal, es la manifestación del rendimiento y el rendimiento ciertamente es el efecto de la actuación de los factores educativos. Resulta razonable suponer que entre los distintos elementos del proceso de aprendizaje hay alguna relación causal, ya sea entre ellos mismos, ya sea con algún factor existente fuera del sistema.

La tarea de construir un diagrama causal no parece difícil. Bastará determinar la causalidad y señalar su dirección así como simbolizar variables y sendas para poder establecer la ecuación estructural correspondiente a cada variable y con ellas, el conjunto de ecuaciones simultáneas que constituirán la ecuación estructural del modelo.

Más la aparente facilidad se complica enormemente a medida que intentamos identificar y relacionar el gran número de elementos que influyen en un aprendizaje cualquiera.

2.1. El punto de partida

Punto de partida del diagrama causal es el modelo de aprendizaje que tiene como componentes fundamentales la *recepción de estímulos*, la *elaboración* de los datos recibidos y la *expresión* ($S \longrightarrow L \longrightarrow X$) (García Hoz, 1981).

Antes de diseñar el diagrama es menester preguntarse, como antes

apunté, si no existen otros factores no incluidos en el modelo de aprendizaje y que, sin embargo, inciden en sus elementos. En palabras técnicas, si a los elementos del modelo de aprendizaje susceptibles de ser convertidos en variables del diagrama causal, no habrán de añadirse otras variables exógenas que representen fuerzas o factores que, anteriores al proceso de aprender, entran en él para influir en el aprendizaje mismo.

Si de las operaciones básicas pasamos a considerar sus factores condicionantes aparecen enseguida la situación del sujeto (experiencia anterior y disposición actual) y en especial su capacidad mental como factores o variables que inciden en la recepción de estímulos.

Fácilmente se comprende que en el componente elaboración sigue actuando la capacidad mental. Pero a este elemento se habría de añadir aquel factor de originalidad que, en mayor o menor medida, en todo ser humano, haciéndole capaz de seguir caminos propios en su actividad.

Una breve digresión respecto del componente expresivo del modelo. El conocimiento humano adquiere plena realidad cuando se fija en el sujeto y queda en disposición de ser utilizado en situaciones posteriores. Más tal utilización —respuesta a los problemas que la realidad plantea— tiene diferentes formas que implican, de un lado, la posesión de un contenido expresable y, de otro, la peculiar aptitud, verbal o no verbal, para expresarse. Por esta razón, al componente de expresión o respuesta se le ha dado una simbolización compleja, ya que se tiene en cuenta la variable «contenido expresable» y los factores peculiares de las expresiones verbal, técnica y ética, a saber, la aptitud verbal, la aptitud técnica y la fuerza o energía moral.

En el gráfico 1 se hallan representadas las distintas variables y sus relaciones.

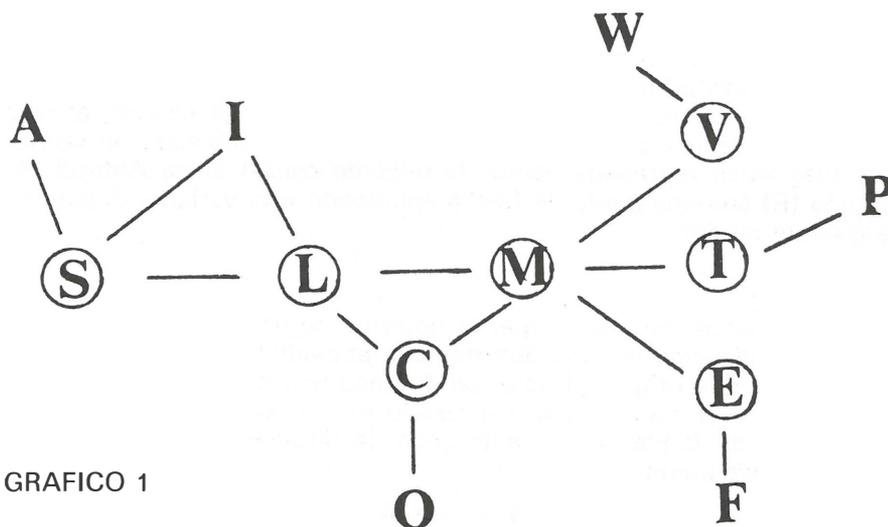


GRAFICO 1

donde

- A. Experiencia adquirida por el sujeto. Conocimientos, intereses y hábitos culturales.
- C. Creatividad.
- E. Expresión ética, conducta moral.
- F. Fuerza moral.
- I. Inteligencia, aptitudes.
- L. Elaboración de datos recibidos, reflexión.
- M. Memoria, disposición para expresarse.
- O. Originalidad.
- P. Aptitudes prácticas.
- S. Estimulación, recepción de estímulos.
- T. Expresión técnica y/o artística.
- V. Expresión verbal.
- W. Aptitud expresiva, verbal y gráfica.

Las variables contorneadas con un círculo son las variables dependientes, mientras que las que no tienen círculo son las variables independientes.

2.2. Dirección de la causalidad

En el gráfico 1, cada línea continua entre los símbolos de dos variables indica una conexión causal directa. Pero no se indica la dirección de la causalidad porque este asunto requiere una breve reflexión.

Si pensamos en una actividad educativa —por ejemplo, una lectura, una composición escrita, un dibujo, una observación— el acto y sus resultados es o son efectos cuya causa está en la aptitud que ponemos en actividad para realizar el acto de que se trate; así la aptitud para leer, la aptitud para escribir, la aptitud para dibujar, la aptitud para observar. Con esta idea, la aptitud sería la causa, y el resultado —la lectura, el escrito, el dibujo, el hecho observado— sería el efecto. Utilizando la simbolización corriente en los diagramas representaríamos la relación causal entre Aptitud (A) y Resultado (R) con una punta de flecha apuntando a la variable dependiente del siguiente modo:

$$A \longrightarrow R$$

Pero si tenemos en cuenta que el objetivo de un acto escolar no tanto está en la realización de una determinada actividad sino en el desarrollo de una aptitud que origina el acto, tendríamos una causalidad de dirección opuesta, porque el acto mismo, expresado en su resultado, sería la causa del desarrollo de la aptitud. En este caso, la dirección causal se expresaría del modo siguiente:

$$R \longrightarrow A$$

De lo dicho se desprende que la causalidad educativa realmente recorre un camino en doble dirección. De la aptitud va al acto y del acto va a la aptitud.

Como en la actividad escolar el objetivo inmediato es la realización del acto bien hecho dejamos para otra ocasión el estudio de la causalidad $R \longrightarrow A$ para fijarnos en la más patente causalidad $A \longrightarrow R$.

En el gráfico 2 está representado el mismo diagrama del gráfico 1, pero con indicación de la dirección de la causalidad. En él, cada línea representativa de una pista causal va rotulada también con una letra minúscula que que se utilizará como símbolo de identificación.

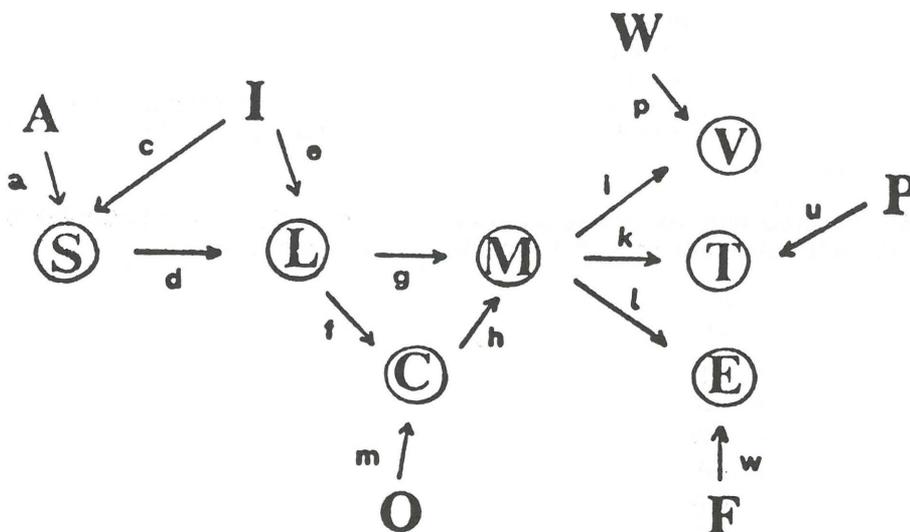


Gráfico 2. Diagrama causal.

2.3. Coeficientes y ecuaciones estructurales

Los símbolos de identificación de las sendas causales se pueden entender como «coeficientes estructurales» en la medida en que expresan la fuerza de una relación causal existente entre variables. Es posible estimar el valor de los coeficientes estructurales partiendo de observaciones empíricas de las variables.

Conocidos los coeficientes estructurales se puede predecir el valor de cada variable dependiente. Conviene recordar las siguientes reglas:

1. El valor de una variable determinada por una sola fuente es el valor de esa fuente multiplicado por el coeficiente estructural.
2. El valor de una variable determinada por dos o más fuentes es la suma de los valores de las fuentes multiplicado cada uno por su respectivo coeficiente estructural.

3. La ecuación estructural para cada variable dependiente en un sistema se obtiene atendiendo a las reglas anteriores y teniendo presente que las sendas que se ramifican fuera de una variable se ignoran al formular su ecuación, pero cada flecha que incide señala un término que debe ser incluido.
4. Cuando una variable determina una segunda y la segunda determina una tercera, el valor de la tercera variable puede ser expresado como el valor de la primera multiplicado por el producto de los coeficientes estructurales a lo largo de la cadena. El mismo principio se aplica cuando la cadena tiene más de dos enlaces.
5. Para expresar el valor de una variable dependiente en términos de fuentes múltiples, directas e indirectas, los efectos separados en cada cadena se obtienen primero por las reglas 2 y 3. Después la suma de todos los efectos se obtiene por la regla 4. Si una fuente y una variable dependiente están ligados por múltiples sendas el efecto total entre las dos es la suma de los efectos de cada senda separada.

De acuerdo con las reglas anteriores, las ecuaciones estructurales de las variables dependientes del modelo son las siguientes:

$$\begin{array}{l}
 S \quad aA + cI \\
 L \quad dS + eI \\
 C \quad fL + mO \\
 M \quad gL + hC \\
 V \quad iM + pW \\
 T \quad kM + uP \\
 E \quad lM + wF
 \end{array}$$

que desarrolladas se convierten en

$$\begin{array}{l}
 S \quad aA + cI \\
 L \quad daA + dcl + eI \\
 C \quad fdaA + fdc + fel + mO \\
 M \quad gdaA + gdcl + gel + hfdaA + hfdcl + hfel + hmO \\
 V \quad igdaA + igdcl + igel + ihfdaA + ihfdcl + ihfel + ihmO + pW \\
 T \quad kgdaA + kgdcl + kgel + khfdaA + khfdcl + khfel + khmO + uP \\
 E \quad lgdaA + lgdcl + lgel + lhfdaA + lhfdcl + lhfel + lhmO + wF
 \end{array}$$

Como se puede ver, cada ecuación estructural desarrollada indica las diferentes sendas que unen a cada variable dependiente con las variables independientes llamadas también variables de entrada (input).

El conjunto de ecuaciones simultáneas de las variables es la ecuación estructural del modelo estático del sistema representado en el diagrama (Heise, 1975, 49-52).

Una vez que se han obtenido las ecuaciones estructurales desarrolladas se puede dibujar un diagrama para cada variable dependiente en el que se muestre su relación directa con cada una de las variables independientes, eliminando las intermedias. (Ver los diagramas correspondientes a cada una de las variables dependientes del modelo en páginas 9 y 10).

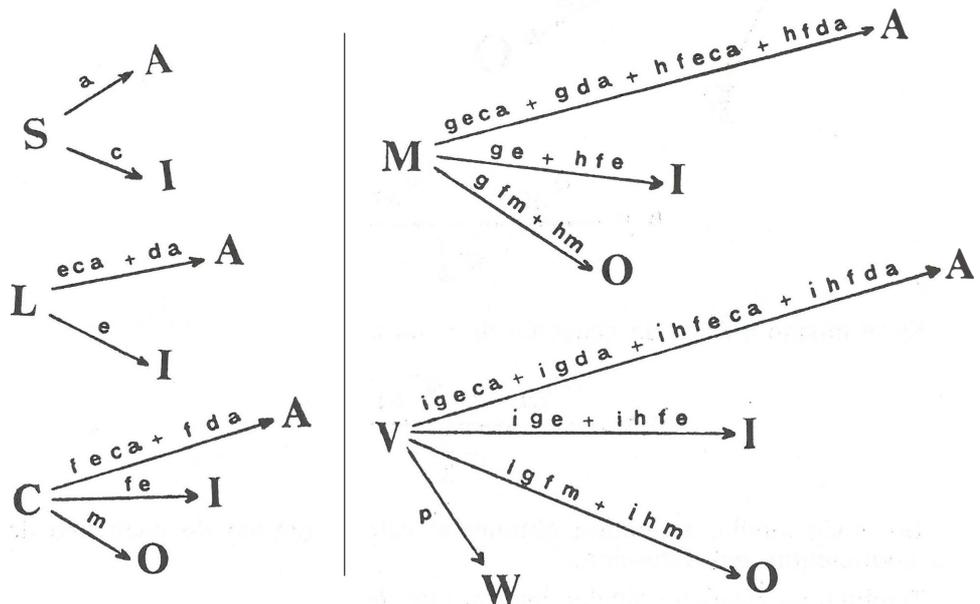
2.4. Valor numérico de los coeficientes estructurales

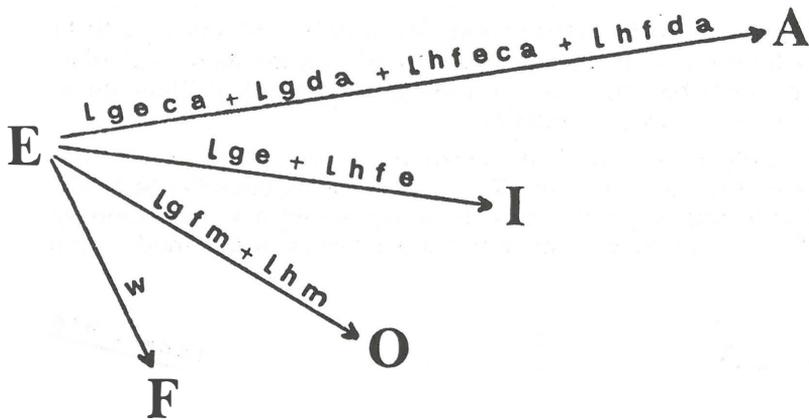
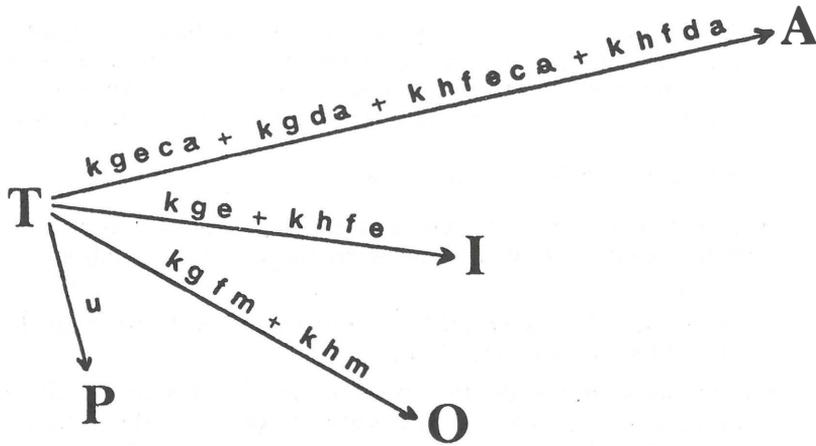
Para utilizar el diagrama, una vez obtenidas las ecuaciones estructurales es menester asignar un valor numérico tanto a las variables cuanto a los coeficientes.

El valor numérico de las variables viene dado por la medida de todos los casos estudiados dentro del sistema.

De las medidas directas de las variables implicadas se puede obtener la varianza de cada una de ellas y la covarianza de dos relacionadas. Estos cálculos proveen directamente un parámetro necesario para analizar las características de la distribución del simple sistema σ_x^2 . Si hubiera más de una fuente que incide en una variable es menester calcular las varianzas y covarianzas que nos permitirán utilizar el análisis de sendas para expresar los valores residuales.

Llamando a al coeficiente estructural que indica la relación causal entre la variable independiente T y la variable independiente X en la que también incide una segunda variable independiente V, tal como se indica en el gráfico 2, la ecuación de a vendría expresada del modo siguiente:





$$a = \frac{\sigma_{AS} - \sigma_{AI}}{\sigma_A^2}$$

En el mismo gráfico, la ecuación de c sería,

$$c = \frac{\sigma_{IS} - \sigma_{AI}}{\sigma_I^2}$$

De modo similar se podría obtener el valor numérico de cada uno de los coeficientes estructurales.

También se pueden calcular los valores de los coeficientes estructura-

les utilizando los coeficientes de correlación entre las variables. En el caso de una sola variable incidiendo en otra, el mismo coeficiente de correlación sirve como coeficiente estructural. En el caso de más de una variable incidiendo en otra, los coeficientes de regresión parcial son precisamente los coeficientes que determinan el valor de cada coeficiente estructural, que cuando se utiliza para el análisis de pistas suele simbolizarse con una p que lleva como suscritos las variables que une. Así

$$a = p_{AS}$$

En el modelo que estamos examinando, cada variable se ve afectada por otras dos, de suerte que la fórmula es la del coeficiente de regresión parcial entre tres variables.

Así tendremos,

$$a = p_{SA} = \frac{r_{AS} - r_{IA} r_{IS}}{1 - r_{IA}^2}$$

para c tendríamos,

$$c = p_{SI} = \frac{r_{IS} - r_{IA} r_{AS}}{1 - r_{IA}^2}$$

y así con los demás coeficientes.

3. UTILIZACION DEL DIAGRAMA

Aunque propiamente sean distintos, el modelo didáctico, «para la actuación en el aula», y el de aprendizaje, se hallan estrechamente vinculados (Rodríguez Diéguez, 1981, 146). Sin forzar las cosas podría decirse que cualquier modelo didáctico razonable se apoya en un concepto y un modelo de aprendizaje.

El modelo y diagrama causal puede ser utilizado tanto para aprendizajes concretos, realizables a corto plazo, cuanto para aprendizajes amplios que exijan un largo período de tiempo. Tal por ejemplo el diagrama para el aprendizaje de una materia que cubra uno o varios cursos escolares o el diagrama de aprendizaje de una habilidad concreta, como el dominio y aplicación de una o varias reglas de ortografía, el aprendizaje de la multiplicación, la interpretación de distancias en un mapa, el funcionamiento de un aparato mecánico.

En cualquier caso, la utilización del diagrama implica la realización de las siguientes tareas:

1. Establecer con claridad qué es lo que se pretende que el estudiante llegue a ser capaz de realizar una vez terminado el aprendizaje, o, lo que es lo mismo, qué es lo que el estudiante debe saber decir, variable V; qué es lo que el estudiante debe ser capaz de hacer, variable T; en qué situaciones humanas se puede encontrar y con qué conducta ética debe responder a ellas, variable E.
2. Especificar los indicadores necesarios para evaluar los objetivos señalados.
3. Especificar las funciones implicadas en las variables S, L, C y M en función del contenido de los objetivos señalados.
4. Especificar los indicadores para evaluar todas y cada una de estas actividades.
5. Especificar el material necesario para las actividades prescritas con especial referencia a las actividades iniciales implicadas en la variable S y y las finales implicadas en las variables V, T, E.
6. Seleccionar o disponer las técnicas y material necesario para diagnosticar la situación del sujeto en relación con las variables independientes A, I, O, W, P, F.
7. Estudio de las correlaciones entre las variables relacionadas y cálculo de los coeficientes estructurales.
8. Predicción del cambio presumible, en cada alumno, respecto de cada una de las variables dependientes como consecuencia del proceso de aprendizaje.
9. Decisión sobre las actividades necesarias o convenientes para reforzar los resultados del proceso.

4. EL PROBLEMA DEL TIEMPO

Las consideraciones que hasta ahora he venido haciendo respecto del diagrama causal se refieren al análisis estático del proceso de aprendizaje.

Pero es evidente que la palabra misma *proceso* lleva encapsulada la idea de tiempo. Es lógico que así sea porque la acción causal misma se realiza según un antes y un después. La causa es siempre antes que el efecto; y si bien este «antes» puede tener muchas significaciones, la experiencia ordinaria y común nos está diciendo constantemente que para aprender algo es menester tiempo.

En palabras técnicas, entre los supuestos y variables de entrada y los resultados o variables expresivas hay un período de tiempo, hecho que abre la puerta a la consideración dinámica del diagrama causal.

Una cuestión teórica y una cuestión práctica surgen de la consideración

del tiempo en el aprendizaje. Teóricamente, nos podemos preguntar por la influencia que el tiempo ejerce en la acción de las variables, sobre el supuesto de que el tiempo tiene una función diferenciante y discriminante (MILLOT, 1981, 63). En la práctica educativa podemos formularnos la pregunta de cuánto tiempo necesitará un sujeto, teniendo en cuenta sus condiciones, para alcanzar un aprendizaje eficaz determinado.

No voy a entrar en el estudio de las implicaciones del análisis dinámico del diagrama causal. Esta cuestión será objeto de un posterior trabajo; pero quede dicho por adelantado que la consideración especial del «tiempo educativo» tiene una riquísima problemática (Vázquez, 1981, 127-143), porque en este concepto va implicado no solamente la cantidad sino la calidad del tiempo en relación estrecha con la calidad del aprendizaje.

B I B L I O G R A F I A

- ANDERSON, J. G., & EVANS, F. B., (1974), «Causal models in educational research: Recursive models». **American Educational Research Journal**, 11, 1, 29-39.
- BIRNBAUM, I., (1981), **An Introduction to Causal Analysis in Sociology**, Hong Kong, Mac Millan.
- BLALOCK, H. M., Jr., (1975), **Causal Inferences in Nonexperimental Research**, Chapel Hill, The University of North Carolina Press.
- CROUCHER, J. S., (1980), **Operations Research**, Sydney, Pergamon Press.
- DUNCAN, O. D., (1975), **Introduction to Structural Equation Models**, New York, Academic Press.
- GAGNE, R. M., and BRIGGS, L. J., (1979), **Principles of instructional design**, Holt, New York.
- GARCIA HOZ, V., (1981), «Del vocabulario a un modelo de aprendizaje humano», **Revista Española de Pedagogía**, n.º 152.
- GILCHRIST, W., (1978), **Statistical Forecasting**, New York, John Wiley.
- HEISE, D. R., (1975), **Causal Analysis**, New York, John Wiley.
- JORESOG, K. G., (1976), **Causal Models in the Social Sciences: The Need for Methodological Research**, (Research report 76-8). Uppsala, Sweden: University of Uppsala.
- KERLINGER, S. M., (1975), **Investigación del comportamiento**, México, Interamericana.
- MILLOT, B., (1981), «Le temps, element unificateur des Sciences de l'éducation» en CESE'81, **X^e Conference Europeenne d'Education Comparés**, Resumes, Genève.
- PAGE, E. B., (1981), «El extraño en el barrio, la nueva disciplina en las ciencias de la educación», en INSTITUTO DE PEDAGOGIA, **La calidad de la educación**, Madrid, C. S. I. C.

RAO, D. C., MORTON, N. E., ELSTON, R. C., & YEE, S., (1977), «Causal Analysis of Academic Performance», **Behavior Genetics**, 7, 2, 147-159.

RODRIGUEZ DIEGUEZ, J. L., (1981), «La optimización del acto didáctico y la calidad de la educación», en INSTITUTO DE PEDAGOGIA, **La calidad de la educación**, C. S. I. C., Madrid.

THORNDIKE, R. M., (1978), **Correlational Procedures for Research**, New York, Gardner Press.

VAZQUEZ GOMEZ, G., (1981), «El tiempo educativo: un nuevo concepto en la ordenación de la educación básica», **Bordón**, n.º 237.