

Análisis evaluativo de las características teórico-empíricas de los sistemas de ecuaciones estructurales

Joan Guàrdia
Jaume Arnau
Universitat de Barcelona

El empleo generalizado de los modelos de ecuaciones estructurales ha llevado al planteamiento de distintas estrategias de trabajo en el ámbito de los diseños no experimentales. Es por ello que este tipo de análisis estadístico está relacionado en su propia configuración con aspectos de carácter estrictamente metodológico. Ello no es en sí mismo una novedad, puesto que técnicas como el Anova presentan esa misma configuración. Sin embargo, no puede pensarse en los sistemas de ecuaciones estructurales en los mismos términos que el resto de pruebas estadísticas.

De ahí que en este artículo se pretenda efectuar un análisis de la técnica en cuestión desde una perspectiva teórica y empírica para mostrar algunos de los elementos críticos de este tipo de tratamiento de datos. Así, se efectúa una revisión del proceso de modelización estadística estructural, comentando la posibilidad de interpretación causal a partir de la estimación de parámetros, su adecuación en diseños experimentales y, de forma general, una evaluación de los procedimientos de ajuste global de los datos obtenidos.

Palabras clave: *Modelos de ecuaciones estructurales.*

The widespread use of structural equation models causes different work strategies in the field of non-experimental design. That is why this sort of statistical analysis, in its own configuration, is related to a strictly methodological aspect. This is not a new question as techniques such as Anova show the same configuration. Nevertheless we cannot deal with the structural equation models the way we deal with the rest of statistical tests.

This paper tries to present a thorough analysis of this technique from a theoretical and empirical view to show some critical aspects of this sort of data analysis. The structural process modelling is reviewed, regarding the possibility of causal interpretation from parameter estimation, its adjusting into experimental design and the evaluation of procedures of general fitting of data.

Key words: *Structural Equation Models.*

No es un tema exento de cierta polémica el estudio del papel del análisis de datos, y por generalización de las Matemáticas, en el desarrollo teórico de las Ciencias Sociales y en concreto de la Psicología (véase a este respecto Thurstone, 1986). Una clarificación de las verdaderas dimensiones del concepto Psicología Matemática es un objetivo de no fácil resolución.

En consecuencia, no es de ningún modo trivial dedicar una especial atención a los aspectos que configuran una parte de esa Psicología Matemática. En concreto, creemos interesante abordar el estudio de aquellos elementos técnicos que, en los últimos tiempos, han elevado al análisis estadístico de datos al nivel de etapa fundamental en la elaboración de modelos de carácter teórico. Recuérdese a este respecto, y como simple ejemplo, el papel del modelo lineal de la regresión en el desarrollo de aspectos teóricos en distintos campos temáticos. Como se ha dicho, es ésta una temática que ha generado comentarios y trabajos de cierta tradición y relativamente lejana en el tiempo. Por ejemplo, Brown (1936a, 1936b) hizo referencia a esta serie de cuestiones, y puede ser un punto de partida interesante puesto que temáticas abordadas por este autor siguen en total vigencia. Por citar algún ejemplo, valga mencionar aquí la polémica entre Psicología académica y matemáticas o el papel de algunas disciplinas matemáticas en el desarrollo sustantivo de la Psicología; piénsese, por ejemplo, en la incidencia de la Topología en el campo de las imágenes mentales.

En general, son pocos los autores centrados en campos aplicados que recogen en sus escritos aspectos relacionados con las características generales de sus análisis empíricos. Dicho de otro modo, no es frecuente encontrar justificaciones claras que sustenten la elección de la técnica estadística empleada. No es intención de este trabajo el centrarse en polémicas ya vistas, aunque algunas no resueltas (por ejemplo: las técnicas paramétricas versus no paramétricas), ni poner de relieve la adecuación de una u otra técnica a un campo concreto de trabajo psicológico (por ejemplo el empleo de modificaciones del análisis de la varianza en diseños conductuales), puesto que ello exigiría un debate mucho más amplio.

Nuestro objetivo es plantear aquí algunas consideraciones generales en torno a los modelos de ecuaciones estructurales en base al marco general descrito anteriormente. Es decir, no tanto en función de «en qué ámbito» se aplican, sino en base a «cómo» se aplican. Ésta no es, en nuestra opinión, una cuestión de fácil análisis, puesto que los distintos objetivos que se persiguen con su aplicación, convierten en versátil una técnica estadística que, en principio, no parece diseñada a este efecto. Su propia definición no ha sido un extremo de rápido consenso (Bentler y Bonet, 1980; Goldberger, 1973; Everitt, 1984; Blalock, 1985; entre otros), sino que supone una primera fuente de desacuerdo como recoge adecuadamente Bonet (1980) en un trabajo a este respecto. Quizá sea su propia denominación (modelos causales versus modelos estructurales, por ejemplo) la que sitúe gran parte de la discusión posterior en torno a su auténtica dimensión; puesto que puede entreverse una diferencia teleológica de contenido entre los términos «causal» y «estructural».

Su incidencia en los últimos años en algunas vertientes aplicadas ha sido enorme. En la actualidad estudios en el campo social, educativo, sociológico, econométrico, etc., son planteados en base a la modelización de distintos fenóme-

nos propios de esas disciplinas mediante la técnica que nos ocupa. Evidencia de esto último es fácilmente detectable en publicaciones como las de Green (1986); Bentler (1986); Appelbaum (1986) o Mulaik (1986). En consecuencia, es necesario establecer algunas consideraciones tanto técnicas como conceptuales en torno a la aplicación de los modelos de ecuaciones estructurales, en tanto en cuanto se relacionen con procesos de modelización teórica.

Los sistemas de ecuaciones estructurales, ¿técnica o método?

Ésta es la primera cuestión que debe abordarse, puesto que se refiere a su característica más acusada. No debe olvidarse que los sistemas de ecuaciones estructurales han sido definidos por distintos autores en base a esa utilización concreta. Se ha mantenido durante cierto tiempo que este tipo de modelización venía a suponer un punto de unión entre la modelización del *Path Analysis* y la del Análisis Factorial. Es indudable la gran mejora que supone el establecer modelos en los que se incluya, tanto la relación entre variables observables como entre latentes. Sin embargo, dejaremos de lado el comentar las características del Análisis Factorial Confirmatorio (Mulaik, 1988) para centrarnos en el estudio del propio sistema estructural. Evidentemente, un análisis de los sistemas de ecuaciones estructurales en términos teórico-empíricos supone plantear una serie de cuestiones críticas que no solo se corresponden con esta técnica, sino que pueden ser objeto de generalización a otras estrategias de análisis de datos.

La conexión entre modelización y sistemas de ecuaciones estructurales no aparece ligada directamente a esta técnica sino que ya es un aspecto propio de su antecedente *Path Analysis*. Si el algoritmo matemático de resolución de parámetros estructurales permite conceder nivel teórico al modelo propuesto (suponiéndose su ajuste), deberemos empezar a considerar la polémica entre prueba estadística entendida como técnica o como método. A este respecto, es necesario recuperar el papel de las Matemáticas en la formalización de teorías psicológicas (Thurstone, 1986).

Para responder a la cuestión planteada creemos necesario introducir la dicotomía clásica entre el empleo de la técnica estadística en términos exploratorios o confirmatorios (Guttman, 1977). En concreto, se puede establecer que el diseño de un *path* diagrama puede considerarse como una esquematización de un determinado contenido teórico (James, Mulaik y Brett; 1982). Añadiríamos a esa formulación la idea complementaria de que dicha esquematización no debe suponer una pérdida de la información inicial, de modo que esa etapa del proceso de modelización estructural se convierta en más trascendental de lo que en general se considera. Es, a veces, extremadamente difícil justificar algunos de los efectos «dibujados» en un diagrama, más aún, si se considera la repercusión conceptual de cualquier efecto (Hellevik, 1984).

Como señala Bentler (1988) no parece excesivamente plausible el conceder a la «técnica» la capacidad científica (en términos de método científico) de esta-

blecer «corpus» teórico en ninguna disciplina. De ahí a conferir a los modelos de ecuaciones estructurales un papel eminentemente confirmatorio hay una simple argumentación. Si, como parece evidente, la técnica está desprovista de características propias del método, éstas vendrán determinadas por la propia manipulación o no de las variables relevantes. En consecuencia, el carácter modelizador no residirá en la estrategia estadística sino en la configuración del diseño de recogida de datos. Consecuentemente, definir a los modelos de ecuaciones estructurales como «sistema de ecuaciones estructurales» no es descabellado. Aún más, establecer su finalidad en base a describirlos como un conjunto de ecuaciones de regresión que pretenden describir una serie de relaciones y efectos entre variables (Kenny, 1979) representa una definición simple, pero ajustada a las características de la técnica en cuestión.

En consecuencia, el empleo adecuado de la técnica se puede asociar con su utilización fundamentalmente confirmatoria. La manipulación directa de los parámetros del modelo para obtener un modelo final ajustado no debe ser contemplada como estrategia metodológicamente aceptable de modelización teórica. Como señala Cliff (1983) esa utilización es uno de los argumentos que se ponen de manifiesto para no atribuir a los sistemas de ecuaciones estructurales un carácter más estable. Sin embargo, si el modelo estadístico no tiene vigencia sin una base teórica que lo sustente, será necesario definir claramente cuál es la auténtica dimensión de los modelos estructurales. ¿Es útil emplearlos de modo general? o, por el contrario, ¿su correcta utilización convierte a esta técnica en más restringida de lo que parece?; son cuestiones que deberán abordarse.

Interpretación causal de los parámetros estructurales

La incorporación de la causalidad, implicada directamente con una técnica estadística, parece surgir más de la necesidad de agotar las posibilidades interpretativas de los diseños correlacionales, que de la falta de estrategias concretas para la evidencia de relaciones causales. Sucede, sin embargo, que estas últimas son de carácter más restrictivo que las estrategias correlacionales. El argumento inicial que sustenta la posibilidad de interpretación causal a partir de un parámetro estructural se vincula con la idea de la correlación como indicador de tal relación. El binomio causalidad-correlación se plantea a partir de los trabajos basados en la correlación trans-retardada (Arnau y Guàrdia, 1990). El análisis de las correlaciones «cruzadas» entre las variables medidas, en su forma más simple, en dos momentos temporales, permite establecer evidencia empírica del sentido y significación de la posible relación causal. A pesar de lo controvertido del tema y de sus aspectos poco debatidos (sirva como ejemplo la conocida paradoja de Lord), creemos importante destacar que los sistemas de ecuaciones estructurales pueden ir un poco más allá de los estudios clásicos en correlaciones transretardadas (Kenny, 1975; Loehlin, 1987; Jones y Kenward, 1989).

Analizar el vínculo entre campo sustantivo y un sistema de ecuaciones es-

estructurales puede efectuarse desde una perspectiva puramente metodológica. Es decir, el lazo que debe ponerse en cuestión es el que se establece entre la técnica de análisis por un lado y la estrategia concreta de recogida de datos. Quizá, como se ha dicho anteriormente, sea más irrelevante el análisis del campo temático en el que se desarrolla la recogida de información,

De ahí que centremos nuestro interés en el modo en que se conectan los modelos estructurales con el diseño concreto de recogida de datos. Se ha defendido un papel renovador de los modelos estructurales en base a conferirles la posibilidad de interpretación de relaciones causales entre variables a partir de diseños no experimentales (Lovie, 1976). No debe olvidarse la denominación de «modelos causales» para esta técnica estadística. Como es lógico, establecer interpretaciones causales a partir de diseños experimentales no depende de la técnica estadística con la que se analicen los datos, sino de la manipulación de las variables independientes. La cuestión, pues, puede plantearse en los siguientes términos: ¿Es factible establecer relaciones causales entre variables a partir de diseños no experimentales mediante el uso de los sistemas de ecuaciones estructurales?

Para responder a esta cuestión deberemos efectuar algunas consideraciones previas. En primer lugar parece claro que el mecanismo estadístico no es distinto en diseños experimental o en no experimentales (Dykstra, 1985); es decir el algoritmo matemático para la obtención de los parámetros estructurales no se modifica en función del diseño empleado, sino que la descomposición de los coeficientes de correlación o de la covarianza se conecta únicamente con los diferentes efectos planteados en el modelo. Así, si un parámetro estructural en un diseño no experimental puede ser interpretado causalmente no dependerá de la estrategia matemática sino de otras consideraciones que deberemos establecer adecuadamente.

Descartado el argumento matemático, veamos qué posibilidades tiene ese parámetro como indicador de relación causal. El valor cuantitativo del parámetro no supone, en sí mismo, una información relevante. Su importancia viene determinada en base a la obtención de su nivel de significación con respecto a la correspondiente distribución muestral de media cero; y por consiguiente el impacto de ese parámetro queda reflejado en un valor de probabilidad. Supongamos que asociamos causalidad con probabilidad (Eells, 1985; Eells y Sober, 1983) y generamos la siguiente situación simulada. Obtenemos un valor d como estimación de un parámetro estructural en un sistema de ecuaciones a partir de un diseño no experimental y, a su vez disponemos de su grado de significación p . Si el valor p indica una gran probabilidad de cometer un error de primera especie (estamos efectuando una interpretación restringida de las pruebas de significación) parece lógico descartar el efecto al que se refiera el parámetro en concreto. Si, por el contrario, se obtiene un valor de p suficientemente cercano a 0, ese parámetro adquiere una especial relevancia. Al conferirle la posibilidad de representar relaciones causales podríamos establecer una idea complementaria: por ejemplo, un valor p de 0.0001 supondría una relación causal más evidente que un valor de p de 0.04; lo cual nos llevaría a determinar que existen relaciones causales más evidentes que otras. Esta idea es difícilmente sostenible cuando se

enfrenta esa concepción con la definición determinística de causalidad (Cliff, 1983), con lo cual la posibilidad de que sea el propio parámetro el que represente la relación causal no parece excesivamente defendible.

Así pues, ni la técnica concreta de los sistemas de ecuaciones estructurales ni la estimación de los parámetros que generan, pueden en sí mismos sostener la creencia de que esta estrategia de análisis permite obtener evidencia empírica de relaciones causales en diseños no experimentales. En términos de Fornell y Larcker (1981) la estimación de un parámetro estructural no es una evidencia causal *per se*. Como indica Hausman (1983) la estrategia estadística permite evidenciar una relación causal clara cuando el diseño previo de recogida de datos esté configurado a tal efecto. Como argumento concluyente podemos recuperar la afirmación de Hartman (1983) acerca de que la correlación (covarianza) entre fenómenos no es una evidencia causal, puesto que, a pesar de que la relación causal exija la correlación previa entre fenómenos, no es cierta la afirmación inversa.

Toda esta serie de reflexiones nos lleva a otras de carácter más general. Por ejemplo, si la relación causal puede establecerse únicamente en diseños experimentales; ¿qué papel desempeñan los sistemas estructurales en el tratamiento estadístico de datos de diseños no experimentales? Para responder a esta nueva cuestión será necesario delimitar las posibilidades reales de utilización de los sistemas de ecuaciones estructurales.

Objetivos de los sistemas de ecuaciones estructurales en la investigación no experimental

Descartada esa pretendida posibilidad de evidenciar causalidad en el trabajo no experimental, se nos plantea la cuestión de cuáles han de ser los objetivos adecuados que el investigador debe acometer mediante los sistemas de ecuaciones estructurales.

Dejaremos de lado la valoración de si los modelos estructurales aportan una forma analítica novedosa a la investigación experimental (Bagozzi, 1977, 1980), puesto que su adecuación para el tratamiento de los diseños propios de ese enfoque ha sido cuestionada (De Leeuw, 1985) a pesar de algunas posibilidades ligadas con el control estadístico de la varianza sistemática secundaria y del error (Blalock, 1985).

De forma general debe responderse a la siguiente cuestión: ¿Qué supone la consideración de un modelo estructural como «ajustado»? En primer lugar hay que señalar que con respecto a los índices de ajuste de los sistemas de ecuaciones estructurales debe adoptarse una actitud especialmente crítica. En efecto, en el mejor de los casos (estimación ML) obtendremos un valor de χ^2 con su grado de significación que nos dará información acerca de hasta qué punto la estructura propuesta se ajusta a los datos iniciales. Este argumento es del tipo *post hoc ergo propter hoc* (De Leeuw, 1985) que no puede ser un criterio válido para la modelización teórica, más aún si se tiene en cuenta que el ajuste de un mode-

lo no supone, en ningún caso, la no existencia de otro modelo que pueda ajustarse igual o mejor a los datos iniciales.

Asimismo, debe recordarse que ese ajuste no está establecido en base a la capacidad predictiva del modelo sino en función de su ajuste para reproducir la matriz inicial de correlaciones o covarianzas. Este último enfoque, denominado ajuste de covarianza, no está conectado con la idea de predicción, la cual se relaciona con el denominado ajuste de varianza, evaluado a partir de los coeficientes de determinación.

Aún así, analizando los sistemas de ecuaciones estructurales desde los dos enfoques de forma complementaria, es decir, evaluando los ajustes de covarianza y varianza a la vez (Guardia, 1986), ello no supone un argumento a favor de la interpretación causal de los parámetros. La predicción y la relación causal son procesos distintos (Blalock, 1964).

Esos índices de ajuste de covarianza suponen, a nuestro entender, un vehículo nada propicio para la evaluación de modelos puesto que su estrategia es básicamente circular. Sería necesario que el «ajuste» de los modelos se vinculara a la idea de ajuste a una estructura teórica previa y, a la vez, a la predicción. Existe evidencia empírica (Cliff, 1983) acerca de la obtención de datos de ajuste adecuados a partir de datos incorrectos. A pesar de que hay interés en plantear soluciones alternativas a los procedimientos actuales de evaluación del ajuste (Satorra y Saris, 1985), se precisa mayor preocupación por esta fase de modelización estructural.

A partir de estas consideraciones, parece necesario circunscribir las posibilidades de utilización de los sistemas de ecuaciones estructurales a aquellas situaciones en las que se pretende establecer evidencia empírica de las relaciones funcionales entre las variables y para la descripción de fenómenos. En palabras de De Leeuw (1985) la obtención de coeficientes de correlación como evidencia de la relación funcional entre variables determina que las máximas aspiraciones de un análisis de datos basado en los sistemas de ecuaciones estructurales se sitúan en la descripción parsimoniosa de esos coeficientes. Consecuentemente, existen suficientes elementos como para decidir claramente que el uso de los modelos estructurales en el ámbito no experimental no les confiere ninguna posibilidad de análisis causal de sus datos.

Factores responsables de soluciones empíricas inadecuadas

Uno de los aspectos que es comúnmente aducido como característica negativa de los sistemas de ecuaciones estructurales, se corresponde con la dificultad de disponer de datos que de una forma u otra no vulneren las exigencias tanto «a priori» o «a posteriori» del algoritmo matemático de estimación de parámetros estructurales. El argumento clásicamente empleado es el que se relaciona con el hecho de que cada valor estimado afecta al resto de parámetros. Lógicamente, las reglas de descomposición de la matriz inicial de correlaciones su-

ponen que una parte de los parámetros estén combinados linealmente entre sí. De ahí, que cuestiones como la «colinealidad» entre exógenas adquiera aquí una relevancia especial.

Fornell (1983) plantea un listado conciso de los aspectos que pueden provocar una solución empírica inadecuada. De forma resumida pueden destacarse algunos de los puntos de más interés. Así, Bamber y Van Santen (1985) muestran la relación inversa entre el número de parámetros a estimar y el grado de significación del estadístico χ^2 en estimación máximo verosímil (ML). Por su parte Gerbing y Anderson (1985) determinan un tamaño de muestra superior a los 300 sujetos para la obtención de una solución ML no sesgada. Se desprende de ello que parece muy restrictiva la solución ML en cuanto al tamaño de muestra necesario para no obtener una solución sesgada. Éste es un efecto que ya había puesto de manifiesto Jöreskog (1969) al comprobar que con muestras pequeñas la función de verosimilitud no se ajustaba a la distribución de χ^2 .

En un sentido parecido Fornell y Larcker (1981) presentan un análisis en torno al error de segunda especie, centrado en los valores del ajuste de los modelos. Evidentemente, un extremo que requiere una clarificación consistente es la determinación del valor crítico del grado de significación para no rechazar la hipótesis nula, puesto que según los anteriores autores el valor 0.10 por algunos propuesto, no parece poseer más garantías que cualquier otro valor superior al especificado. En esta misma línea deberíamos recuperar los comentarios anteriores acerca del «ajuste de variancia» puesto que analizar las posibilidades de predicción de los modelos estructurales permite asociar la predicción con el rechazo de la hipótesis nula, con lo cual se consigue establecer una prueba de significación al margen de la idea de ajuste o de conformidad.

Siguiendo con estas ideas, Boomsma (1985) presenta un análisis de la convergencia de soluciones ML en el que se pone de manifiesto que no es factible obtener un porcentaje de convergencia suficientemente elevado con muestras de tamaño inferior a 200 sujetos. Por otro lado, parece que ofrece soluciones más adecuadas el uso de los modelos *Path Analysis* en contraposición con el sistema de ecuaciones estructurales (Blalock, 1985). Ello supone que la inclusión de variables no observables (modelos de medida) implica mayor complejidad en la solución final, seguramente justificándose este efecto en base a la mayor dificultad de la etapa de identificación.

Por lo que se refiere a la distribución de las variables implicadas en un modelo estructural, cabe señalar el efecto que en el ajuste χ^2 produce este aspecto. Bentler (1983) mediante simulación presenta evidencia empírica acerca de cómo la no distribución normal de las variables provoca un porcentaje (aproximadamente 60%) de modelos no ajustados y de soluciones incorrectas en la fase de estimación de parámetros.

Van Driel (1978) efectuó un análisis de las características que debían reunir las matrices iniciales para obtenerse estimaciones de parámetros adecuadas. Hay que destacar que su concepto de matriz adecuada implica una condición que no es frecuente, puesto que la adecuación, según este autor, debe suponer la posible interpretación de los resultados obtenidos. De ahí que, del total de matrices que podrían ser susceptibles de utilización en un sistema de ecuaciones estructurales,

exista una cantidad de matrices que ocasionarían resultados finales no interpretables y, en consecuencia, esas matrices no serían utilizables. Van Driel fija un total relativamente bajo de matrices iniciales que puedan originar resultados adecuados. De forma complementaria, aspectos relacionados con la disponibilidad de una muestra suficientemente grande, ya comentada anteriormente, la no omisión de variables relevantes en el modelo que se proponga evaluar o la identificabilidad del mismo, suponen elementos a tener en cuenta en el momento de obtener resultados útiles, pero no vinculados directamente con los supuestos y condiciones de los sistemas de ecuaciones estructurales.

Intentar establecer todos los elementos que deben tenerse en cuenta en la resolución de un modelo estructural requeriría un trabajo destinado únicamente a este aspecto. Baste con señalar que Jöreskog (1978) y Everitt (1984) reflejan muchos de esos elementos de carácter estadístico que se relacionan con las posibilidades de obtener soluciones y ajustes adecuados.

Finalmente, debe destacarse el trabajo de Gerbing y Anderson (1987) en el que abordan la problemática de las soluciones inadecuadas mediante la presentación de una alternativa para no obtener soluciones inadecuadas. Esta alternativa se basa fundamentalmente en la reespecificación (reparametrización) de parámetros para que se modifiquen las ecuaciones de descomposición de los elementos de la matriz inicial de correlaciones. Sin embargo esta aproximación está efectuada en modelos de medida, no en modelos generales. De cualquier modo, el hecho de que la gran mayoría de autores coincidan en la gran dificultad que supone disponer de matrices iniciales de las que se puedan obtener estimaciones de parámetros adecuadas, pone de manifiesto una característica de los sistemas de ecuaciones estructurales. Se trata de una técnica de análisis de datos menos dúctil y versátil de lo que se puede pensar a partir del gran número de aplicaciones y de campos temáticos en los que se utiliza. Cabe pensar que algunos de esos resultados deberán interpretarse con una gran cautela, en tanto en cuanto no se tienen garantías suficientes respecto a la consideración de la correcta utilización de esta técnica a partir del análisis de los datos iniciales.

Comentario final

En base a los diferentes elementos que a lo largo de este trabajo se han ido planteando, se destacan algunos comentarios finales que nos parece necesario poner de manifiesto. Si tuviéramos que centrar la aplicación de los sistemas de ecuaciones estructurales en algún tipo concreto de estrategia de recogida de datos, nuestra opción sería claramente la de la investigación no experimental. Coincidiríamos en ello con autores como Dwyer (1983) o con el mismo Bentler (1988). Puede pensarse en la utilización de estos sistemas como control estadístico en diseños experimentales, pero sin que ello supusiera una mejora evidente con respecto a las estrategias tradicionales para este tipo de control experimental.

Una vez delimitado su campo de actuación, debe señalarse la más que du-

dosa capacidad de la técnica estadística para validar relaciones causales en diseños no experimentales. Propuestas como las de Cliff (1983) Hausman (1983) o Hartman (1983) parecen suficientemente concluyentes por lo que a este tema se refiere. No es factible sustraer la relación causal entre variables del enfoque experimental ni puede atribuirse a la estimación de parámetros la característica de representatividad *per se* de la relación causal.

Con ello nos estamos inclinando por una clara utilización de los sistemas de ecuaciones estructurales que se vincule con la posibilidad de describir adecuadamente relaciones funcionales entre las variables del modelo. Es ahí, en nuestra opinión, donde reside la aportación fundamental de esta técnica en el campo del análisis de datos. En efecto, supone la superación de los modelos *Path Analysis* al posibilitar la inclusión de modelos de medida y de efectos entre variables latentes. Complementariamente, la obtención de estructuras de correlación (Bagozzi, Fornell y Larcker, 1981) entre las variables no observables permite describir de forma más compleja algunos fenómenos que hasta el momento habían sido descritos de forma excesivamente simple.

Su empleo, sin embargo, no está exento de una cierta problemática de carácter técnico, puesto que como se ha visto, la obtención de soluciones inadecuadas es más frecuente de lo deseado, lo cual restringe su uso más de lo que parece a partir de su utilización generalizada. La necesidad, por ejemplo, de disponer de muestras de un tamaño grande, parece dirigir su uso para el estudio de fenómenos conectados con procesos característicos de disciplinas dedicadas al análisis de grandes muestras, como por ejemplo, algunas vertientes de la Psicología Social o de la Economía.

Por último, destacar la problemática que supone disponer de unos índices de ajuste global poco consistentes. Esos índices de ajuste presentan una argumentación circular en su construcción y son elementos de difícil interpretación. A este respecto, nos inclinamos por proponer un ajuste global en términos clásicos (ajuste de covarianza) y en base a la capacidad predictiva del modelo (ajuste de varianza); este último a partir de las pruebas de significación de los diferentes coeficientes de determinación que pueden fijarse en los diferentes niveles de un sistema de ecuaciones estructurales.

Es necesario añadir, que estos sistemas pueden ser re-analizados desde una perspectiva estrictamente epistemológica, puesto que su papel híbrido entre matemáticas y cuerpo teórico los hacen especialmente propicios a este tipo de argumentación. Detalles relacionados con la configuración del modelo, como por ejemplo el hecho de que una variable desempeñe a la vez el papel de exógena y endógena, serían suficientes como para elaborar un análisis conceptual de esos extremos. Sin embargo, de acuerdo con nuestro objetivo inicial, es éste un extremo que escapa a nuestras intenciones.

REFERENCIAS

- Arnau, J. y Guàrdia, J. (1990). Diseños longitudinales en panel: Alternativa de análisis de datos mediante los sistemas de ecuaciones estructurales. *Psicothema*, 2, 57-71.

- Appelbaum, I. (1986). Statistics data analysis and Psychometrika: Major developments. *Psychometrika*, 51, 53-56.
- Bagozzi, R.P. (1977). Structural equation models in experimental research. *Journal of Marketing Research*, 14, 209-226.
- Bagozzi, R.P. (1980). *Causal models in marketing*. New York: Wiley and Sons.
- Bagozzi, R.P., Fornell, C. & Larcker, D.F. (1981). Canonical correlation analysis as a special case of a structural relations models. *Multivariate Behavioral Research*, 16, 437-454.
- Bamber, D. & Van Santen, J.Ph. (1985). How many parameters can a model have and still be testable? *Journal of Mathematical Psychology* 29, 443-473.
- Bentler, P.M. (1980). Multivariate analysis with latent variables: Causal modeling. *Annual Review of Psychology*, 31, 419-456.
- Bentler, P.M. (1983). Simultaneous equations systems as moment structure models. *Journal of Econometrics*, 22, 13-42.
- Bentler, P.M. (1986). Structural modelind and Psychometrika: An historical perspective on growth and achievements. *Psychometrika*, 51, 35-51.
- Bentler, P.M. (1988). Causal modeling via structural equation systems. In J.R. Nesselroade & R.B. Cattell (Eds.), *Handbook of Multivariate Experimental Psychology*, 2nd Ed. (pp. 317-335). New York: Plenum Press.
- Bentler, P.M. & Bonet, D.G. (1980). Significance test and Goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychological Bulletin*, 88, 588-606.
- Blalock, H.M. Jr (1964). *Causal inferences in nonexperimental research*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.
- Blalock, H.M. Jr (1985). Causal models involving unmeasured variables in stimulus-response situations. In H.M. Blalock (Ed.), *Causal models in panel and Experimental designs* (pp. 29-41). N. York: Aldine Pub. Co.
- Boomsma, A. (1985). Nonconvergence, improper solutions, and starting values in Lisrel maximum likelihood estimation. *Psychometrika*, 50, 229-242.
- Brown, J.F. (1936a). On the use of mathematics in Psychology theory. *Psychometrika*, 1, 77-90.
- Brown, J.F. (1936b). On the use of mathematics in Psychology theory (Concluded from previous issue). *Psychometrika*, 1, 7-15.
- Cliff, N. (1983). Some cautions concerning the applications of causal modeling methods. *Multivariate Behavioral Research*, 18, 115-126.
- De Leeuw, J. (1985). A note about reviews. *Psychometrika*, 50, 371-375.
- Dykstra, A. (1985). Logic of Causal Analysis: from experimental to nonexperimental designs. In H.M. Blalock (Ed.), *Causal Models in panel and Experimental Designs* (pp. 7-28). New York: Aldine Pub. Co.
- Dwyer, J.H. (1983). *Statistical Models for the Social and Behavioral Sciences*. New York: Oxford Press.
- Bells, E. (1985). *Probabilistic causal levels*. Communications of Probability and Causality of National Science Foundation. California.
- Eells, E. & Sober, E. (1983). Probabilistic causality and the question of transitivity. *Philosophy of Science*, 50, 35-57.
- Everitt, B.S. (1984). *An introduction to latent variable models*. Monograph on Statistics and Applied Probability. New York: Chapman and Hall.
- Fornell, C. (1983). Issues in the applications of covariance structure analysis: A comment. *Journal of Marketing Research*, 122-135.
- Fornell, C. & Larcker, D. (1981a). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics. *Journal of Marketing Research*, 18, 382-388.
- Fornell, C. & Larcker, D.F. (1981b). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 28, 39-50.
- Fornell, C. & Larcker, D. (1984). Missapplications of simulations in structural equation models: Reply to Acito and Anderson. *Journal of Marketing Research*, 21, 113-117.
- Gerbing, D.W. & Anderson, J.C. (1985). The effects of sampling error and model characteristics on parameter estimation for maximum likelihood confirmatory factor analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 20, 255-271.
- Gerbing, D.W. & Anderson, J.C. (1987). Improper solutions in the analysis of covariance structures: their interpretability and comparison of alternate respecifications. *Psychometrika*, 52, 99-111.
- Goldberger, A.S. (1973). Structural equation models: An overview. In A.S. Goldberger & O.D. Duncan (Eds.), *Structural equation models in the social sciences* (pp. 1-17). New York: Seminar Press Incorporated.
- Green, B.F. (1986). Models, computers and policies: fifty years of Psychometrika. *Psychometrika*, 51, 65-68.

- Guàrdia J. (1986). *Los sistemas de ecuaciones estructurales en el ámbito de la Psicología*. Tesis Doctoral no publicada. Universidad de Barcelona.
- Guttman, L. (1977). What is not what in statistics. *Statistician*, 26, 81-107.
- Hartman, M. (1983). Empirical aids for ordering variables in causal models. *Quality and Quantity*, 7, 19-33.
- Hausman, D. (1983). Are there causal relations among dependent variables. *Philosophy of Science*, 50, 58-81.
- Hellvik, D. (1984). *Introduction to Causal Analysis. Exploring survey data by crosstabulation*. Contemporary Social Research Series, n° 9. New York: George Allen & Unwin Pub. Ltd.
- James, L.R., Mulaik, S.A. & Brett, J.M. (1982). *Causal Analysis: assumptions, models and data*. Beverly Hills: Sage Pub. Inc.
- Jones, B. & Kenward, M.G. (1989). *Design and Analysis of Cross-Over Trials*. London: Chapman and Hall.
- Jöreskog, K.G. (1969). A general approach to confirmatory maximum likelihood factor analysis. *Psychometrika*, 34, 183-220.
- Jöreskog, K.G. (1978). Structural Analysis of Covariance and correlation matrices. *Psychometrika*, 43, 443-477.
- Kenny, D.A. (1975). Cross-lagged panel correlation: A test for spuriousness. *Psychological Bulletin*, 82, 887-903.
- Kenny, D.A. (1979). *Correlation and Causality*. New York: Wiley & Sons.
- Loehlin, J.C. (1987). *Latent Variable Models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lovie, A.D. (1979). The analysis of variance in experimental Psychology: 1934-1945. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 32, 151-178.
- Mulaik, S.A. (1986). Factor Analysis and Psychometrika: Major developments. *Psychometrika*, 51, 23-33.
- Mulaik, S.A. (1988). Confirmatory Factor Analysis. In J.R. Nesselroade & R.B. Cattell (Eds.), *Handbook of Multivariate Experimental Psychology*, 2nd Ed., (pp. 259-286). New York: Plenum Press.
- Satorra, A. & Saris, W.E. (1985). Power of the likelihood ratio test in covariance structure analysis. *Psychometrika*, 50, 83-90.
- Thurstone, L.L. (1986). Psychology as a quantitative rational science (Excerpts). *Psychometrika*, 51, 7-10.
- Van Driel, O.P. (1978). On various causes of improper solutions in maximum likelihood factor analysis. *Psychometrika*, 43, 225-243.