

## Análisis evaluativo de la aplicación de los modelos estructurales en los estudios de seguridad vial

Joan Guàrdia  
*Universitat de Barcelona*

*En el presente trabajo se efectúa una revisión de las características que supone la aplicación de los modelos de ecuaciones estructurales (MEE) a los estudios sobre seguridad vial. Esta apreciación viene determinada por algunas de las condiciones que tienen este tipo de trabajos (variables, modelos complejos, análisis global del fenómeno, etc...) que son especialmente importantes en el empleo de los MEE. A continuación se presentan algunos de los aspectos que deben tenerse en cuenta para que el empleo de la técnica estadística no suponga un elemento distorsionador en el estudio de modelos vinculados a la seguridad vial.*

*Palabras clave: Seguridad vial, sistemas de ecuaciones estructurales.*

*This paper presents a review of the application of structural equation models (SEM) to studies of road safety. The appraisal is influenced by some of the conditions that these projects include (variables, complex models, global analysis of the phenomenon, etc.) and which are of particular importance in the use of SEM. The paper notes a number of aspects of this statistical technique that should be borne in mind in order to avoid distortions in the study of road safety models.*

*Key words: road safety, structural equation models.*

Si algún elemento técnico es característico de las investigaciones de carácter psicológico y social, éste es sin duda el empleo sistemático de estrategias estadísticas para el análisis de datos. Con ello, no pretendo plantear como inevitable esta utilización ni, de ningún modo, establecer una vinculación indisoluble entre las técnicas estadísticas de análisis y el rigor científico ne-

cesario en la práctica investigadora. Afortunadamente ya han quedado atrás aquellos tiempos en los que el empleo sistemático de la estadística parecía conferir *per se* las garantías de calidad exigibles para que el trabajo realizado mereciera la clasificación de riguroso. Sin embargo, la aparición de los programas informáticos y la facilidad con la que se obtienen múltiples análisis estadísticos a partir de una misma matriz inicial de datos, no ha contribuido en exceso a un cierto comedimiento y rigor en el empleo de las técnicas estadísticas.

No por ello debemos renunciar al papel relevante que la fase de análisis de datos tiene en el proceso de investigación científica ni, bajo ningún concepto, hacer este tipo de consideraciones con una carácter general, sin excepciones ni matizaciones. Entiendo que la propuesta a efectuar debe residir en el convencimiento de que un análisis estadístico adecuado nunca será un impedimento para el conocimiento del fenómeno a estudiar y que, obviamente, la correcta administración de las técnicas estadísticas permitirá extraer la máxima información de los datos analizados. En esta línea quiero orientar las páginas que a continuación se desarrollan y, en concreto, con la voluntad de plantear posibilidades analíticas que han sido diseñadas con objeto de fomentar aproximaciones empíricas más vinculadas con el marco teórico-conceptual de referencia.

Una situación que puede considerarse, en este punto, como paradigmática se presenta en el estudio de las variables psicológicas implicadas en la seguridad vial que parecen contener, como veremos posteriormente, todos los elementos —teóricos, procedimentales y técnicos— necesarios para generar algunas de las problemáticas características (distribución, escala de medición, relaciones entre pares de variables mediatizadas por factores externos al par, ...) de los análisis estadísticos complejos (Sheehy y Chapman, 1988). Un repaso a los estudios prototípicos en seguridad vial (Rothengatter y Bruin, 1988) nos pone de manifiesto que el tratamiento estadístico es muy restringido, atendiendo más al estudio puntual de relaciones entre variables específicas (Van Wolffelaar *et al.*, 1988; Grayson y Maycock, 1988), y escasamente dirigido al estudio de la accidentabilidad como un fenómeno multivariante, complejo y con diversidad de relaciones entre variables. De acuerdo con Brown (1990), el estudio estadístico de asociaciones microestructurales impide, en la aproximación científica a la seguridad vial, un conocimiento amplio y general de la temática.

A partir de estas consideraciones, se ha planteado como interesante la evaluación de la aplicación en los estudios de seguridad vial de los Modelos de Ecuaciones Estructurales (MEE), denominados igualmente como modelos de estructura de covariancia; dadas las vinculaciones que pueden reconocerse entre las características de la técnica estadística y las del objeto a estudiar. Las páginas que a continuación se exponen pretenden describir esas vinculaciones y las posibilidades de la técnica de análisis como ayuda importante y fructífera a los estudiosos de la seguridad vial.

Con ello no pretendo establecer una relación entre análisis estadístico pobre o insuficiente y el proceder de los especialistas en seguridad vial, puesto que ello sería extremadamente falso e inexacto. Abundan, en el ámbito que

nos ocupa, aproximaciones estadísticas muy elaboradas y claramente relacionadas con el objetivo planteado. El tratamiento estadístico empleado por Buyco y Saccomanno (1988) mediante modelos log-lineales o el empleo del Análisis Factorial de Correspondencias de Biecheler-Fretel y Danech-Pajouh (1988), son ejemplos más que suficientes para descartar radicalmente la posibilidad de tildar al análisis estadístico empleado en seguridad vial de simple, erróneo o, simplemente, superfluo.

En consecuencia, trataré de establecer los mecanismos precisos que, desde el problema que se aborda y desde la técnica que se presenta, se destacan como relevantes para aconsejar el uso de los MEE en los estudios de seguridad vial.

### **Características generales de los sistemas de ecuaciones estructurales como técnica de análisis de datos**

No es el objetivo fundamental de estas páginas mostrar de forma concienzuda ni sistemática las características estadísticas de la técnica de análisis, y por ello me limitaré a establecer los conceptos generales necesarios para su presentación, delimitando sus objetivos y posibilidades. Si se trata de ofrecer una primera definición a propósito de esta técnica, probablemente la que ofrece Bentler (1980) pueda ser útil en este momento. Este autor define los MEE como:

«... un conjunto de regresiones lineales, estudiadas inicialmente a partir de la matriz de correlaciones o covariancias ... que se aplican a diferentes situaciones: Análisis Factorial Confirmatorio, Path Analysis, Ecuaciones simultáneas y estructurales, ... generándose un grupo de técnicas para la verificación de estructuras teóricas a partir de datos correlacionales».

Como se ve, parece desprenderse de la definición anterior una clara voluntad de simbiosis de la técnica de análisis con el marco conceptual en el que se plantea el modelo a evaluar. De hecho, los MEE se plantean también como (Goldberger, 1973) «una representación de las relaciones teóricas entre las variables mediante ecuaciones lineales». Ello no diferencia especialmente a los MEE de otras técnicas de modelización lineal, como por ejemplo los modelos de regresión. Lo que constituye un aspecto único en los MEE, y que los hace especialmente adecuados para el tratamiento de fenómenos complejos, es el hecho de que los modelos a estudiar se puedan formular contemplando en ellos: *a*) variables latentes no directamente observables (variables  $\eta$  y  $\xi$  y matrices  $B$  y  $\Phi$ ); *b*) efectos múltiples entre variables ( $\beta_{ij} \neq \beta_{ji}$ ) y *c*) incorporación en el mismo modelo de variables que cumplen un papel exógeno y endógeno al mismo tiempo (Guárdia, 1986). Desde un punto de vista es-

trictamente estadístico nos encontramos, pues, ante una técnica multiecuacional frente a la mayoría de estrategias uniecuacionales.

La aplicación de los MEE se efectúa siguiendo una serie de fases ordenadas, que pueden resumirse en las siguientes:

1. *Planteamiento o especificación del modelo*: fase en la que se establecen las diversas relaciones entre variables, definiendo a su vez el tratamiento que debe merecer el error de medición ( $\Phi_0$  y  $\Phi_2$ ) y el término de perturbación estadístico ( $\zeta_i$ ) de cada una de las ecuaciones y su variabilidad (matriz  $\Psi$ ). Esas relaciones ( $\beta_{ij}$  y  $\gamma_{ij}$ ) deben estar debidamente fundamentadas en el marco teórico de referencia.

2. *Identificación del modelo*: Proceso de carácter técnico que implica la valoración de los supuestos matemático-estadísticos del modelo, las condiciones que lo caracterizan y los grados de libertad que se generan; los cuales serán vitales en la siguiente fase, dadas las características matemáticas de los sistemas de ecuaciones simultáneas. Debe prestarse una especial atención a la condición de orden y de rango (Berry, 1984), determinantes para la correcta estimación de parámetros.

3. *Estimación*: Aplicación de una técnica de estimación, en función de las características de los datos y situación a estudiar, para la obtención de los parámetros constitutivos del modelos y definidos en la primera fase. Este proceso se plantea a partir de la descomposición de los coeficientes de la matriz de correlaciones o de covariancia ( $r_{xy}$  o  $s_{xy}$ ), según sea el caso. De ahí que nos encontremos ante un proceso de descomposición a partir de los momentos centrados, aspecto éste que confiere una especial relevancia estadística a la técnica de los MEE.

4. *Verificación*: Evaluación estadística y teórica de los resultados obtenidos, tanto en su dimensión de ajuste global con respecto a la matriz inicial (ajuste  $\chi^2$  entre R o S y  $\Sigma$ ), como del comportamiento específico y puntual de los diversos parámetros especificados, así como de la distribución de las diferencias residuales  $|R - \Sigma|$ .

En los primeros años de aparición de la técnica y, probablemente como consecuencia de un excesivo optimismo, los MEE fueron considerados como un mecanismo efectivo para la detección de relaciones causales a partir de información obtenida en diseños no experimentales. El ya clásico trabajo de Cliff (1983) sentó claramente las bases que hacen más que dudoso seguir empleando tal tipo de interpretaciones, situando a los MEE como una técnica idónea para el estudio de modelos complejos y para la determinación empírica de la viabilidad de las diversas relaciones más funcionales que un modelo de este estilo debe contemplar.

Esta breve referencia general a la técnica (recuérdese que no es éste el objetivo de este trabajo) permitirá al lector establecer un marco de actuación en el que insertar la serie de consideraciones que a continuación se plantearán. Una aproximación más técnica y exhaustiva puede encontrarse en Loehlin (1987); Bollen (1989) o Bollen y Scott Long (1993) y para el tratamiento informatizado de este tipo de datos, puede recurrirse a programas harto conocidos como Lisrel (Jöreskog y Sörbom); EQS (Bentler) o Liscomp (Muthén).

## Los estudios de seguridad vial y los modelos de ecuaciones estructurales

La primera cuestión que sorprende cuando se trata de valorar la relación entre los estudios de seguridad vial y los modelos de ecuaciones estructurales es, curiosamente, que tal relación es inexistente. A partir de esta primera impresión, parece necesario presentar de forma ordenada algunos de los elementos que justificarían una mayor vinculación de los MEE con los estudios de seguridad vial, estableciendo, a la vez, algunas normas generales de actuación que favorezcan la imprescindible prudencia en el uso de esta técnica.

1. *Existencia de modelos teóricos no verificados*: En los últimos años, como se ha dicho, no se han producido excesivas aportaciones científicas en las que ambos planteamientos se hayan encontrado. Podemos efectuar algunas excepciones, en las que parcialmente se apunta en esa dirección o se hacen propuestas que merecerían el empleo de los MEE, pero que, en general, se centran en la primera fase de la construcción de un MEE sin pasar a las siguientes etapas de la confección de un modelo estadístico. No es factible argüir un desconocimiento de la técnica estadística por parte de los estudiosos en seguridad vial, puesto que su dominio en el ámbito del análisis de datos ya se ha hecho patente anteriormente y, en consecuencia, tal propuesta sería, como mínimo, indefendible. Probablemente, la escasa producción de MEE en este ámbito se deba, como señala Blasco (1994) a la gran diversidad de enfoques, interdisciplinariedad, y tratamientos que la seguridad vial merece. En ella conviven enfoques psicológico-conductuales (Fuller, 1991); enfoques psicofisiológicos (McDonald, 1989); enfoques sociales (Chebat y Chandon, 1986); enfoques psicométricos (Sivak, 1987; Schmidt, 1989) entre otros, lo que justifica la gran diversidad de tratamientos que esta temática recibe. Como señala Castro (1988), y en lo que podríamos denominar como el empleo de modelos matemáticos (no estrictamente estadísticos), probablemente existe un acuerdo evidente en su utilización para el estudio del riesgo y en el proceso de tomas de decisión por parte del conductor (Roy y Choudhany, 1985; Hakkert y Hauer, 1988 o Underwood, Jiang y Howarth, 1993; son claros ejemplos de este enfoque particular del problema). Como es obvio, este tipo de aportaciones se sitúan en un dominio algo distinto del proceso de modelamiento estadístico habitual, en el que se inserta el uso de los MEE.

Así pues, un primer argumento que justificaría, casi por sí sólo, el empleo de los MEE en los trabajos de seguridad vial, se apoya en la existencia de modelos teóricos que no han sido sometidos a verificación empírica. Por ejemplo, Summala y Näätänen (1988) presentan, a partir de la teoría del riesgo mínimo, un modelo de toma de decisión en el que se implican aspectos relativos a la dimensión de personalidad, de las características del estímulo, estableciendo una mediatización del efecto de la motivación entre ambas estructuras. A pesar de las críticas que merece un enfoque estrictamente estadístico de la accidentabilidad (Vlek y Hendrickx, 1988), este tipo de modelos, dada la globalidad con la que contemplan el fenómeno, deberían ser sometidos a verificación empírica. Como señala Groeger (1988), la generación de modelos teóricos en

seguridad vial no puede ser efectuada al margen de consideraciones empíricas a propósito de su verosimilitud. Modelos de estas características pueden encontrarse, con más o menos matizaciones, en diversas publicaciones (Rothengatter y Bruin, 1988). Como sea que los modelos que se plantean acostumbran a incorporar información de diversa procedencia, parece lógico establecer análisis empíricos acerca de esas propuestas que sean lo suficientemente dúctiles para reflejar esa complejidad. En este punto, el empleo de los MEE parece, aún si cabe, más contundente. Por ejemplo, la densidad del modelo que plantea Poppe (1988), en el que la ocurrencia del siniestro (desempeñando el papel de endógena crucial) viene determinada por variables (exógenas) de carácter psicológico (personalidad, motivación,...); educacional (formación, campañas,...) o social (nivel económico, legal, ...). La red de conexiones que Poppe establece entre ellas es, desde una perspectiva descriptiva, suficientemente amplia como para pensar que un análisis estadístico que evalúe parcialmente y puntualmente esas relaciones, no podrá poner de manifiesto la posible bondad holística del modelo. Nótese que no pretendo evaluar la posible verosimilitud teórica del modelo, cuestión ésta que debe reservarse a los auténticos especialistas. Simplemente, desde la perspectiva del analizador de datos, es factible fomentar el empleo de los MEE en el análisis de este tipo de modelos.

En un intento de aproximar ambas consideraciones, debe recordarse que, obviamente, las técnicas de análisis no son, en sí mismas, portadoras de relevancia teórica de aquellos datos que analizan. Los MEE, por supuesto, no son una excepción y, en consecuencia, que un modelo ajuste, estadísticamente hablando, no nos lleva automáticamente a la plausibilidad teórica del modelo (Cliff, 1983; Guardia y Arnau, 1991; Hayduk, 1990). En este punto, conviene al investigador no desprenderse de una cierta prudencia y parsimonia conceptual, adoptando algunos de los criterios que los especialistas en MEE presentan, como los que se mencionan en Tanaka (1990); Steiger (1990); Cheng y Novick (1992) o Mulaik (1993).

Las aproximaciones efectuadas para la explicación de la accidentabilidad, se caracterizan claramente por una voluntad de ser, en cada modelo propuesto, más exhaustivo en la presentación de los determinantes del accidente. La impresión, a este respecto, es que nos encontramos ante modelos más complementarios entre sí, que frente a la idea de los modelos alternativos, buscando en ello un punto de partida para la contrastación empírica. De ello es buena prueba el hecho de que los modelos más mecanicistas conviven, en términos muy generales, con modelos más propositivos. Es decir, no se apuntan mecanismos explicativos del papel de las variables psicológicas en la accidentabilidad que planteen modelos claramente críticos entre ellos. Por ejemplo, los enfoques centrados en la habilidad conductora y en el papel de la tecnología, como mecanismo facilitador (Rockwell, 1972), no son antagonistas de los modelos que implican los aspectos motivacionales y la estimación del riesgo que establece el conductor (Fuller, 1984; Wilde, 1982; Bötticher y Van der Molen, 1988). Ambos enfoques plantean relaciones complejas que son definibles mediante diagramas de flujo, lo cual supone un modo particular de plantear la fase de especificación de los MEE. Asistimos a la evaluación empírica de

aspectos particulares de esos modelos, pero no poseemos información del mismo rango a propósito de la bondad (en términos estadísticos) del modelo global, lo cual no favorece, como es obvio, un mecanismo integrador de las propuestas teóricas efectuadas a lo largo del tiempo.

### 2. *Diversas definiciones de las escalas de medición de las variables:*

Otro argumento a tener en cuenta en el ámbito de la seguridad vial, viene de la mano de las características que presentan las variables psicológicas que tradicionalmente se operativizan en este tipo de estudios. En la mayoría de los modelos teóricos planteados, como los citados en el párrafo anterior, se incorporan variables medidas a través de cuestionarios y/o inventarios. Por ejemplo, Miedema, Menkehorst y Van der Molen (1988), a partir del modelo de estrés de Lazarus, plantean una adaptación a la accidentabilidad en función del supuesto del efecto del estrés en la actuación del conductor. Las medidas que presentan son, siguiendo una tradición conductual-cognitiva, resultado de la aplicación de cuestionarios conductuales. Análogamente a lo expuesto, Geller y Lehman (1991) o Berry y Geller (1991) emplean medidas de carácter estrictamente conductual en la evaluación del rendimiento. Tradicionalmente, se conoce la dependencia que las técnicas estadísticas presentan con respecto a las características de la escala de medida empleada en el registro de los datos. Un aspecto, que supone un argumento más a añadir al empleo de los MEE, es la ductibilidad de esta técnica en la incorporación de diversos tipos de escalas; ya sean, por ejemplo, categóricas (Jöreskog, 1994) o politómicas (Lee Poon y Bentler, 1992). Sin embargo, como veremos posteriormente, un error en el que se incurre habitualmente es olvidar el tipo de escala en la fase de estimación y dejar de ajustar la técnica de estimación a las exigencias de las medidas iniciales. A pesar de ello, los MEE presentan la suficiente labilidad para incorporar variables con diversidad de medición, lo cual es una característica habitual, como se ha dicho, de los modelos teóricos en seguridad vial. Esa característica aporta, a su vez, un elemento más que debemos considerar. Si actualmente, como parece, el tratamiento empírico de los factores psicológicos de la accidentabilidad se ha alejado un tanto de un enfoque estrictamente psicométrico, nos encontramos ante una concepción de la seguridad vial como el estudio de la conducción, no como el estudio del accidente. Ello, como es obvio, genera, si cabe, una mayor necesidad de incorporar en los modelos teóricos información no estrictamente ligada a escalas absolutas (frecuencia de ocurrencia) o a escalas isomórficas. Las evaluaciones más débiles (desde una perspectiva matemática) serán, pues, comunes y su tratamiento genera un elemento más de dificultad que, como se ha indicado, los MEE contemplan exhaustivamente.

### 3. *Definición de variables latentes:* Siguiendo con esta exposición, nos acercamos ahora a un aspecto que aumenta la intensidad de relación que debería establecerse entre los MEE y los modelos propuestos en seguridad vial. En muchos de estos trabajos se plantean y definen variables latentes (variables $\eta_i$ y $\xi_j$ ), generadas a partir de la operativización de variables observables ( $Y_i$ y $X_j$ , respectivamente) que, como se ha comentado, proceden de una amplia gama de ámbitos teóricos. Esas variables son generalmente justificadas em-

píricamente a partir de la aplicación del Análisis Factorial (AF) o del Análisis de Componentes Principales (ACP). En general, en los estudios de seguridad vial, no se aportan datos acerca de la confirmación de esas estructuras factoriales ni de la plausibilidad teórica de las mismas. Asistimos, con frecuencia, a una etiquetación de constructos «a posteriori» de su establecimiento empírico o de una justificación teórica más preocupada en dar sentido al dato que se ha obtenido en detrimento de una coherencia conceptual a partir del modelo teórico planteado. Ello, es imprescindible decirlo, no es una actuación exclusiva de los trabajos en seguridad vial, puesto que el fenómeno de la falacia nominalista se presenta en muchos de los trabajos aplicados que emplean el AF o el ACP como técnica de análisis.

Como ejemplo magnífico del uso de variables latentes en seguridad vial, el modelo de Kock (1988) incorpora la definición de variables de esta índole (motivación, valoración de riesgo, estrés,...) para la determinación del siniestro automovilístico. Como el modelo no se verifica empíricamente, las estructuras latentes definidas en él no están, a su vez, confirmadas. Los MEE pueden ser útiles a este respecto, puesto que la definición de los modelos de medida<sup>1</sup>, inherentes a los MEE, ofrece una visión particular del Análisis Factorial Confirmatorio. Se presentan algunas aproximaciones en esa dirección pero que, como en otros casos, no llegan a materializarse en una aproximación completa y definitiva. Por ejemplo, Gulien, Glendon, Matthews, Davies y Debney (1988) emplean la interpretación de los elementos de la matriz de correlaciones entre medidas de escalas psicométricas como punto de partida para la evaluación de la coherencia de las medidas. El empleo del AF confirmatorio (modelo de medida de los MEE) podría ser la herramienta adecuada para ir algún paso más allá en el conocimiento de esa estructura latente. Similar uso de la correlación se puede encontrar en Montag (1992), haciendo una quasi-réplica del trabajo de Gulien *et al.* (1988); reproduciendo el mismo procedimiento de análisis, sin incorporar técnicas más precisas para la interpretación de resultados. Como sea que la correlación (covariancia según el caso) es el punto de partida en la aplicación de los MEE, y la correlación parece ser un vehículo reiterado en el análisis estadístico de datos de seguridad vial, se plantea, pues, un argumento añadido para el empleo de la técnica que nos ocupa.

Pero, en este punto es importante establecer una serie de recomendaciones para el empleo de las estructuras no observables de los MEE, puesto que las restricciones a tener en cuenta son importantes. Como indican Velicer y Jackson (1990a, 1990b) se acostumbra a confundir el AF con el ACP, dejando de lado las diferencias en el modelo de partida que ambas técnicas tienen y que, claramente, no son equivalentes. De ahí que sea fácil observar tratamientos dudosos a propósito del error estadístico que genera cada una de esas técnicas. Debe recomendarse, así, un conocimiento claro y exhaustivo del modelo estadístico que se desea emplear. En este punto es interesante consultar las

1. Los modelos de medida suponen un submodelo específico de los MEE y se vinculan con la verificación empírica del modelo que genera, a partir de indicadores observables, una estructura latente. Una presentación exhaustiva de esta técnica puede encontrarse en Loelhin (1987).



consideraciones que, a este respecto, plantean Chih-Ping y Bentler (1990); McArdle (1990); Schönemann (1990) o McArdle y Cattell (1994). En resumen, el estudio de las matrices  $\Lambda_x$ ,  $\Lambda_y$  y  $\phi_{ij}$ , será un mecanismo estadístico idóneo para el análisis de las estructuras factoriales características en los modelos teóricos que se proponen.

4. *Elevados tamaños muestrales*: Otro aspecto interesante a considerar es la utilización, en muchos de los trabajos de seguridad vial, de unos tamaños muestrales elevados. Ello no es extraño, puesto que la mayoría de trabajos se sitúan en la línea de los diseños no experimentales (sin entrar en excesivas matizaciones respecto al tipo de diseño), que se acompañan, normalmente, de una muestra de gran tamaño (superior a los 300 o 400 sujetos). Los MEE exigen, para su correcta aplicación, un tamaño muestral parecido a esas cifras, de forma que la fase de estimación no se vea dramáticamente afectada y los resultados de ese proceso deban ser rechazados por artificiales. Unas muestras de gran tamaño merecen un tratamiento estadístico que exprima al máximo la potencia de contraste que las caracteriza. Los MEE son, como otras técnicas afines, procedimientos de análisis que se ven reforzados por los grandes tamaños de muestra.

A partir de las características de las variables (escala, distribución, simetría, ...) y del tamaño de muestra disponible deberá seleccionarse una técnica de estimación u otra para asegurar unos resultados no sesgados, eficientes, suficientes y consistentes, características clásicas del estimador estadístico adecuado<sup>2</sup>.

Hasta aquí hemos efectuado una breve revisión de algunos de los aspectos que justificarían un mayor empleo de los MEE en los estudios de seguridad vial, y que se fundamentan en el hecho de que este tipo de trabajos se caracterizan por algunos de los elementos definitorios de los MEE y, por tanto, nos llevan a proponer esa vinculación como una de las posibles incorporaciones en las estrategias analíticas, para un mejor conocimiento del fenómeno de interés. Sin embargo, es necesario efectuar una breve relación de aquellos aspectos de los MEE que deben ser tenidos en cuenta para que su aplicación no sea una fuente más de distorsión, sino una forma de favorecer una aproximación sistemática a la accidentabilidad.

### **Consideraciones fundamentales en la aplicación de los modelos de ecuaciones estructurales**

A la vista de lo que se ha expuesto en los apartados anteriores, parece necesario efectuar una breve relación de aquellos puntos que pueden suponer una inadecuada aplicación de los MEE. Estas directrices generales no son, obviamente, específicas de los trabajos de seguridad vial, sino que pueden ser extensibles a cualquier ámbito de aplicación.

2. Puede consultarse Bollen (1989) para una revisión de las condiciones necesarias para una correcta aplicación de las diversas técnicas de estimación en los MEE.

Un decálogo factible para paliar el desajuste en el empleo de los MEE, puede ser esquematizado del siguiente modo:

1. El modelo a evaluar debe ser un reflejo preciso de las relaciones teóricas entre variables. Si los MEE se emplean de forma exploratoria, debe recordarse que este tipo de evidencia no implica relevancia teórica (Lance, 1991; Kaplan, 1990a; Kaplan, 1990b).

2. La fase de especificación del modelo supone, a su vez, la determinación del procedimiento de descomposición de la matriz inicial (R o S) y será crucial para el posterior análisis del ajuste estadístico del modelo propuesto.

3. El cómputo de los grados de libertad del modelo (definidos en función del número de parámetros a estimar) debe ser suficiente para que el modelo sea, como mínimo, exactamente identificado (grados de libertad = 0).

4. Debe prestarse una especial atención a la distribución y características de medida de las variables observables, puesto que determinan en gran parte la técnica de estimación. La incorporación de variables latentes requiere verificar la bondad de los modelos de medida implicados.

5. El tamaño de muestra debe superar un mínimo de 300 sujetos para no favorecer el sesgo de estimación de los parámetros.

6. La fase de verificación exige atención a los indicadores generales de ajuste y, a su vez, al comportamiento de cada uno de los parámetros estimados.

7. Que un modelo resulte estadísticamente ajustado, no supone la inexistencia de un modelo alternativo que pudiera ajustar a la misma matriz inicial<sup>3</sup>.

8. La consideración de la proporción de la variancia explicada por el modelo debe ser un elemento más en la evaluación del mismo.

9. No puede olvidarse un estudio exhaustivo a propósito del comportamiento de los residuales del modelo estadístico. Un modelo ajustado deberá presentar una distribución de los residuales igualmente adecuada.

10. Cualquier modificación introducida en el modelo, buscando un mejor ajuste, debe ser justificable desde el marco conceptual. En caso contrario, obtendremos un ajuste falaz y un modelo final artificial.

Después de estas consideraciones generales, y como comentario final, es importante dedicar una breve referencia a los MEE que ayude a situar las cosas en su justa medida. Como es obvio, y más después de las anteriores páginas, no puede calificarse a los MEE como la panacea estadística de ningún tipo de investigación aplicada y, por ende, tampoco en el caso de la seguridad vial. Se puede afirmar, sin miedo a exagerar, que en las posibilidades de aplicación de los MEE se sitúan también sus limitaciones. Su empleo exige muchas condiciones estadísticas previas, su interpretación puede ser peligrosa, su manipulación sin criterio puede dar lugar a modelos no justificados e,

3. Este punto ha supuesto una fuente inagotable de diversas consideraciones a propósito de la fase de ajuste en los MEE. Una revisión de esta cuestión y algunas propuestas a considerar pueden consultarse en Bollen (1990); Bentler (1990); MacCallum (1990); Goffin (1993) o MacCallum, Roznowski, Mar y Reith (1994).

incluso, pueden ser utilizados como vehículo de verificación de marcos teóricos no suficientemente estables. Sin embargo, las aproximaciones que en seguridad vial se han efectuado son meritorias y espero que estas breves líneas sirvan para afianzar este particular enfoque y un tratamiento estadístico indisoluble de las aspiraciones teóricas.

## REFERENCIAS

- Bentler, P.M. (1980). Multivariate analysis with latent variables: Causal modeling. *Annual Review of Psychology*, 31, 419-456.
- Bentler, P.M. (1990). Fit indexes, Lagrange multipliers, constraint changes and incomplete data in structural models. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 163-172.
- Berry, W.D. (1984). *Nonrecursive causal models*. Beverly Hills: Sage.
- Berry, T.D. & Geller, E.S. (1991). A single-subject approach to evaluating vehicle safety belt reminders: Special Section: Road safety: International perspectives. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 24 (1), 13-22.
- Biecheler-Fretel, M.B. & Danech-Pajouh, M. (1988). Alcohol, mobility and basic driving behaviour. In J.A. Rothengatter y R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 368-374). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Blasco, R. (1994). Psychology and road safety. Special issue: Applied psychology in Spain. *Applied Psychology an International Review*, 43 (2), 313-322.
- Bollen, K.A. (1989). *Structural equation models with latent variables*. New York: John Wiley.
- Bollen, K.A. (1990). A comment on model evaluation and modification. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 181-185.
- Bollen, K.A. & Scott Long, J. (1993). *Testing structural equation models*. Newbury Park (California): Sage Pub. Inc.
- Bötticher, A.M.T. & Van der Molen, H.H. (1988). Predicting overtaking behaviour on the basis of the hierarchical risk model for traffic participants. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 48-57). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Brown, I.D. (1990). Drivers margins of safety considered as a focus for research on error. *Ergonomics*, 33 (10-11), 1307-1314.
- Buyco, C. & Saccomanno, F. (1988). Loglinear analysis of truck accident rates using GLIM. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 32-45). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Castro, A. (1988). Urban road traffic accident data collection and treatment; recommendation for developing countries. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 662-667). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Chebat, J.C. & Chandon, J.L. (1986). Predicting attitudes toward road safety from present and future time orientations. An economic approach. *Journal of Economic Psychology*, 7 (4), 477-499.
- Cheng, P.W. & Novick, L.R. (1992). Covariation in natural causal induction. *Psychological Review*, 99 (2), 365-382.
- Chih-Ping, Ch. & Bentler, P.M. (1990). Model modification in covariance structure modeling: A comparison among Likelihood ratio, Lagrange multiplier and Wald Test. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (1), 115-136.
- Cliff, N. (1983). Some cautions concerning the application of causal modeling methods. *Multivariate Behavioral Research*, 18, 115-126.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behavior as threat avoidance. *Ergonomics*, 27 (11), 1139-1155.
- Fuller, R. (1991). Behavior analysis and unsafe driving: Warning-learning trap ahead: Special Section: Road safety: International perspectives. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 24 (1), 73-75.
- Geller, E.S. & Lehman, G.R. (1991). The buckle-up promise card: A versatile intervention for large-scale behavior change. Special Section: Road safety: International perspectives. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 24 (1), 91-94.
- Goldberger, A.S. (1973). Structural equations 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 Inc.

- Goffin, R.D. (1993). A comparison of two new indices for the assessment of fit of structural equation models. *Multivariate Behavioral Research*, 28 (2), 205-214.
- Grayson, G. & Maycock, G. (1988). From proneness to liability. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 234-241). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Groeger, J. (1988). Underlying structures: Driver models and model driver. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 518-526). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Guàrdia, J. (1986). Los sistemas de ecuaciones estructurales en el ámbito de la Psicología. *Tesis doctoral no publicada*, Universidad de Barcelona.
- Guàrdia, J. y Arnau, J. (1991). Análisis evaluativo de las características teórico-empíricas de los sistemas de ecuaciones estructurales. *Anuario de Psicología*, 48, 5-16.
- Gulian, E.; Glendon, I.; Matthews, G.; Davies, R. & Debney, L. (1988). Exploration of driver stress using self-reported data. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 342-347). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Hakkert, S. & Hauer, E. (1988). The extent and implications of incomplete and inaccurate road accident reporting. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 2-11). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Hayduk, L.A. (1990). Should model modification be oriented toward improving data fit or encouraging creative and analytical thinking?. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 193-196.
- Jöreskog, K.G. (1994). On the estimation of polychoric correlations and their asymptotic covariance matrix. *Psychometrika*, 59 (3), 381-389.
- Kaplan, D. (1990a). A rejoinder on evaluating and modifying covariance structure models. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 197-204.
- Kaplan, D. (1990b). Evaluating and modifying covariance structure models: A review and recommendation. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 137-155.
- Koch, H. (1988). Influencing risk-taking behaviour. A major task of motorcycle rider programmes. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 498-505). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Lance, Ch.E. (1991). Evaluation of a structural model relating job satisfaction, organizational commitment and precursors to voluntary turnover. *Multivariate Behavioral Research*, 26 (1), 137-162.
- Lee, S.Y.; Poon, W.Y. & Bentler, P.M. (1992). Structural equation models with continuous and polytomous variables. *Psychometrika*, 57 (1), 89-105.
- Loelhin, J.C. (1987). *Latent variable models*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- MacArdle, J.J. (1990). Principles versus principals of structural factor analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (1), 81-87.
- MacArdle, J.J. & Cattell (1994). Structural equation models of factorial invariance in parallel proportional profiles and oblique confactor. *Multivariate Behavioral Research*, 29 (1), 63-113.
- MacCallum, R.C. (1990). The need for alternative measures of fit in covariance structure modeling. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 157-162.
- MacCallum, R.C.; Roznowski, R.; Mar, C.M. & Reith, J.V. (1994). Alternative strategies for cross-validation of covariance structure models. *Multivariate Behavioral Research*, 29 (1), 1-32.
- MacDonald, N. (1989). Fatigue and driving. *Alcohol, Drugs and Driving*, 5 (3), 185-192.
- Miedema, B.; Menkehorst, H. & Van der Molen, H. (1988). The subjective experience of traffic safety: Consequences for road design. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 435-442). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Montag, I. (1992). Styles of thinking related to accident causation and personality characteristics. Special issue: Young persons and traffic accidents. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, 5 (3-4), 199-205.
- Mulaik, S.A. (1993). Objectivity and Multivariate statistics. *Multivariate Behavioral Research*, 28 (2), 171-203.
- Poppe, F. (1988). Intersection lay-out, traffic volumes and accidents. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 626-631). Assen / Maastricht: Van Gorcum.
- Rockwell, T. (1972). Skills, judgements and information acquisition in driving. In T.W. Forbes (Ed.), *Human factors in highway traffic safety research*. New York: Wiley.
- Rothengatter, J.A. & de Bruin, R.A. (Eds) (1988). *Road user behaviour. Theory and research*. Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Roy, G.S. & Choudhary, R.K. (1985). Driver control as a factor in road safety. *Asian Journal of Psychology and Education*, 16 (3), 33-37.

- Schmidt, R.A. (1989). Unintended acceleration: A review of human factors contributions. *Human Factors*, 31 (3), 345-364.
- Schönemann, P.H. (1990). Facts, fictions and common sense about factors and components. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (1), 47-51.
- Sheehy, N. & Chapman, A. (1988). Reconciling witness accounts of accidents. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 20-31). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Sivak, M. (1987). Human factors and road safety. *Applied Ergonomics*, 18 (4), 289-296.
- Steiger, J.H. (1990). Structural model evaluation and modification: An interval estimation approach. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 173-180.
- Summala, H. & Näätänen, R. (1988). The zero-risk theory and overtaking decisions. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp.82-92). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Tanaka, J.S. (1990). Towards the second generation of structural modeling. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 187-191.
- Underwood, G.; Jiang, C. & Howarth, C.I. (1993). Modelling of safety measure effects and risk compensation. *Accident Analysis and Prevention*, 25 (3), 277-288.
- Van Wolfelaar, P.; Zomeren, E.; Brouwer, W. & Rothengatter, T. (1988). Assessment of fitness to drive of brain damaged persons. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 302-309). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Velicer, W.F. & Jackson, D.N. (1990a). Component analysis versus common factor analysis: Some further observations. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (1), 97-114.
- Velicer, W.F. & Jackson, D.N. (1990b). Component analysis versus common factor analysis: some issues in selecting and appropriate procedure. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (1), 1-28.
- Vlek, Ch. & Hendrickx, L. (1988). Statistical risk versus personal control as conceptual bases for evaluating (traffic) safety. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Eds), *Road user behaviour. Theory and research*, (pp. 139-151). Assen / Maastricht: Van Gorcum.
- Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2 (4), 209-225.

