

# **Aplicación del Sistema de Ecuaciones Estructurales al modelo de Medios de Vida: El caso de los productores de café de dos zonas de Costa Rica**

**Antonio Delgado Ballesteros**

**Rafael A. Díaz Porras**

**Junio, 2014**

## **Resumen**

El sistema de ecuaciones estructurales es una técnica de la estadística multivariada que se utiliza para evaluar el nivel en que se ajusta un marco teórico a los datos. El objetivo es comparar una matriz de correlaciones que predice la teoría con la matriz de correlaciones que genera la medición real de las variables.

En esta ponencia se presentan los resultados de aplicar las ecuaciones estructurales, como estrategia metodológica, para evaluar el grado de ajuste de la teoría de Medios de Vida que utilizó para establecer las respuestas que utilizaron los productores de café de la zona de León Cortés, para enfrentar las amenazas de los precios bajos, plagas y condiciones ambientales.

Aunque, la prueba de chi cuadrado indica que el modelo no se ajusta a los datos, otros estadígrafos, como el error cuadrático medio y el índice de bondad de ajuste indican un ajuste alto del modelo.

Sistema de ecuaciones estructurales, SEM, Estadística multivariada, Medios de Vida.

## **Introducción**

El sistema de ecuaciones estructurales es una técnica estadística que permite evaluar el nivel en que se ajusta un modelo teórico a los datos reales. El objetivo es comparar la matriz de correlaciones que establece la teoría, con la matriz de correlaciones que

genera la medición real de las variables, si el nivel de ajuste es alto, no se descarta la teoría.

Para efectos de presentar el uso de los modelos estructurales se utilizó una investigación realizada en el 2010, en el CINPE, por un grupo multidisciplinario, cuyo objetivo era evaluar las estrategias que utilizan los cafetaleros de León Cortés para enfrentar las presiones como los precios bajos, las plagas y los problemas generados por las condiciones del tiempo. Este estudio se desarrolló bajo la óptica de la teoría de Medios de Vida.

El objetivo de este trabajo es presentar la evaluación del nivel de ajuste del modelo teórico Medios de Vida, aplicado a los productores de café de la zona de León Cortés. Al escribir esta ponencia no se ha detectado una aplicación a los medios de vida.

En el resto del documento se presenta una reseña de las Ecuaciones Estructurales y los Medios de Vida en los siguientes dos apartados, seguida de una discusión de los principales resultados de esta aplicación y las conclusiones correspondientes.

## **Las Ecuaciones Estructurales**

El sistema de ecuaciones estructurales (SEM: Structural Equation Modeling) surgen de la síntesis de dos técnicas estadísticas antiguas, el análisis de factores y el análisis de senderos.

En los SEM se analizan las relaciones entre variables endógenas (dependientes) y variables exógenas (independientes), pero lo relevante de la técnica es que estas variables pueden estar implícitas en su medición, o sea, estas variables son factores, dimensiones subyacentes o constructos, que no se pueden medir directamente, pero que están determinadas por la medición de otras variables o indicadores que son medibles y numéricas (variables observadas).

En este sentido el objetivo del SEM es someter a prueba un modelo de relaciones causales con múltiples variables sustentado por un planteamiento teórico de las dependencias (o causalidades) entre ellas.

Es importante establecer que, de forma similar a las regresiones lineales, un modelo estructural significativo no implica un sistema explicativo o causal, si no se ha empleado como base del estudio el diseño experimental, pero un modelo explicativo implica correlaciones o asociaciones entre variables. Por lo tanto, estas técnicas representan los primeros pasos en la explicación causal que establece una posible teoría.

El trasfondo del SEM es comparar una matriz de variancia-covariancia teórica o pronosticada por el modelo estructural contra la matriz de variancia-covariancia generada por los datos. En la medida que no difieran, se puede concluir que el modelo teórico (o hipotético) posee un buen ajuste al comportamiento de los datos. Es por este motivo que los sistemas de ecuaciones estructurales, también se les denomina, modelos confirmatorios, ya que buscan confirmar las relaciones teóricas (García, 2011).

Otro aspecto, de los SEM es que las relaciones entre variables se pueden modificar, ya sea, agregando o eliminando asociaciones, esto con el objetivo de probar o someter a la competencia otros modelos. La modificación de estas relaciones puede generar un modelo teórico con un ajuste muy alto, pero este podría apartarse de la “realidad” o establecer relaciones espurias. Lo importante, en términos metodológicos, es tener el respaldo teórico pertinente, para someter los modelos a pruebas.

“Encuadrados dentro del análisis estadístico multivariante, estos modelos surgieron ante la necesidad de dotar de mayor flexibilidad a los modelos de regresión. Son menos restrictivos que los modelos de regresión por el hecho de permitir incluir errores de medida tanto en las variables criterio (dependientes) como en las variables predictoras (independientes). Podría pensarse en ellos como varios modelos de análisis factorial que permiten efectos directos e indirectos entre los factores” (García, 2011).

Existen varios programas que facilitan la aplicación de las ecuaciones: LISREL (Linear Structural Relations); de Jöreskog y Sörbom, desarrollado en 1973. AMOS (Analysis of Moment Structures), desarrollado por Arbuckle y Wothke, en 1994, EQS (Structural Equation Modeling Software), Bentler, 1995. SEPATH, Steiger, 1995. O RAMONA (Reticular action model for path analysis with latent variables), Browne y Mels, 1992. (Schermelleh-Engel, Moosbrugger, & Müller, 2003). El programa R también ha desarrollado algunos módulos.

Un modelo de ecuaciones estructurales completo consta de dos partes: El modelo de medida y el modelo de relaciones estructurales. El modelo de medida contiene la manera en que cada constructo, o variable latente, está medido mediante sus indicadores que son directamente observables. El modelo de relaciones estructurales es el que realmente se desea estimar. Contiene los efectos y relaciones entre los constructos.

En análisis factorial confirmatorio representa el primer modelo (el modelo de medición) ya que se desea confirmar la composición o medición de las dimensiones subyacentes. El análisis de caminos o paso (Path Analysis) representa el segundo modelo, ya que se desea estimar las relaciones entre variables que son directamente observadas.

### Supuestos del modelo

Para la aplicación de esta técnica se recomiendan muestras grandes, en general, mayores a 200. Uno de los procedimientos más utilizados para calcular los parámetros es el que se denomina máxima verosimilitud y este exige que las variables se distribuyan en forma normal multivariante. (Cupani, 2012)

Para mostrar la aplicación del modelo estructural se utilizará la información de los cafetaleros que se recopiló en el Centro de Política Económica para el Desarrollo Sostenible, en el año 2010 y en el marco del proyecto denominado “*Effective Adaptation Strategies and Risk Reduction towards Economic and Climatic Shocks: Lessons from the Coffee Crisis in Mesoamerica*”.

### **El enfoque de medios de vida**

El enfoque de medios de vida pone especial atención a la forma en que los hogares organizan sus recursos con el objetivo de garantizar su subsistencia. La teoría se utiliza para analizar las estrategias de adaptación de los hogares ante eventos externos. Ello

implica tomar en consideración tanto los activos de que disponen las familias al interior de ellas, como las condiciones que disponen en el medio geográfico y social en que operan. Entonces, la teoría de los medios de vida permite obtener un lente para analizar las condiciones en que se dan las respuestas de las familias productoras de café frente a eventos climáticos, de enfermedades y económicos. En particular se estudia el tipo de respuestas, y por lo tanto, las posibilidades de sobrevivencia productiva, de los productores de café en condiciones diferentes, no solo geográficas sino respecto al posicionamiento que estos tienen en la cadena de café. La discusión se realiza sobre la base empírica de productores que han sobrevivido impactos económicos, ambientales y de enfermedades por plagas. (Díaz, Delgado, & Jiménez, 2011)

Mediante el enfoque de medios de vida, se busca las respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué factores internos a las familias determinan las respuestas a las presiones? ¿Cómo han respondido las familias ante eventos económicos? ¿Cómo han respondido las familias ante cambios bruscos de clima? ¿Cómo han respondido las familias ante la aparición de plagas? ¿Qué factores externos a las familias (capital social) determinan las respuestas a las presiones?

Además, Díaz agrega que el enfoque de medios de vida permite analizar la unidad de producción donde la familia rural es el agente principal. En el marco analítico original, las familias tienen acceso a un conjunto de activos (denominados como diversos tipos de “capital”) que utilizados adecuadamente devienen en medios de vida. Sin embargo, las familias están insertas en un contexto de vulnerabilidad bajo la forma de tendencias críticas, perturbaciones y estacionalidades que pueden minar los rendimientos esperados de sus activos

El modelo teórico se modificó ligeramente para analizar las respuestas de los productores de café a un juego específico de presiones. En este marco, las respuestas de las familias cafetaleras a tres presiones primarias (económicas, clima y plagas) y se evalúan en términos de las características de la familia, los factores institucionales, culturales, y de organización que median las respuestas de la familia, y las implicaciones sobre sus acciones en aras de su propia seguridad y la de su región.

En la Figura 1, se identifica a las familias productoras como la “unidad primaria” (Unidad Expuesta) - es decir la unidad de análisis para entender los impactos y las respuestas a las presiones climáticas, biológicas y del mercado. El impacto de estas

presiones en una familia será en parte función de los activos de la familia. En el marco de medios de vida, estos activos se miden en términos de cinco conjuntos de capitales: capital social, capital financiero, capital natural, capital físico y capital humano. La respuesta de una familia a estas presiones estará determinada por la relación de la familia con las instituciones que gobiernan la asignación y el uso de recursos tales como aquellos relacionados con los mercados, la disponibilidad de la información y la organización social, considerados factores mitigantes. La conjunción de los activos de las familias y los factores mitigantes determinarán el tipo de estrategia de respuesta seguido por la familia, ante las presiones exógenas.

**Figura 1 Marco para el análisis de las respuestas de los sistemas familiares de producción agrícola**



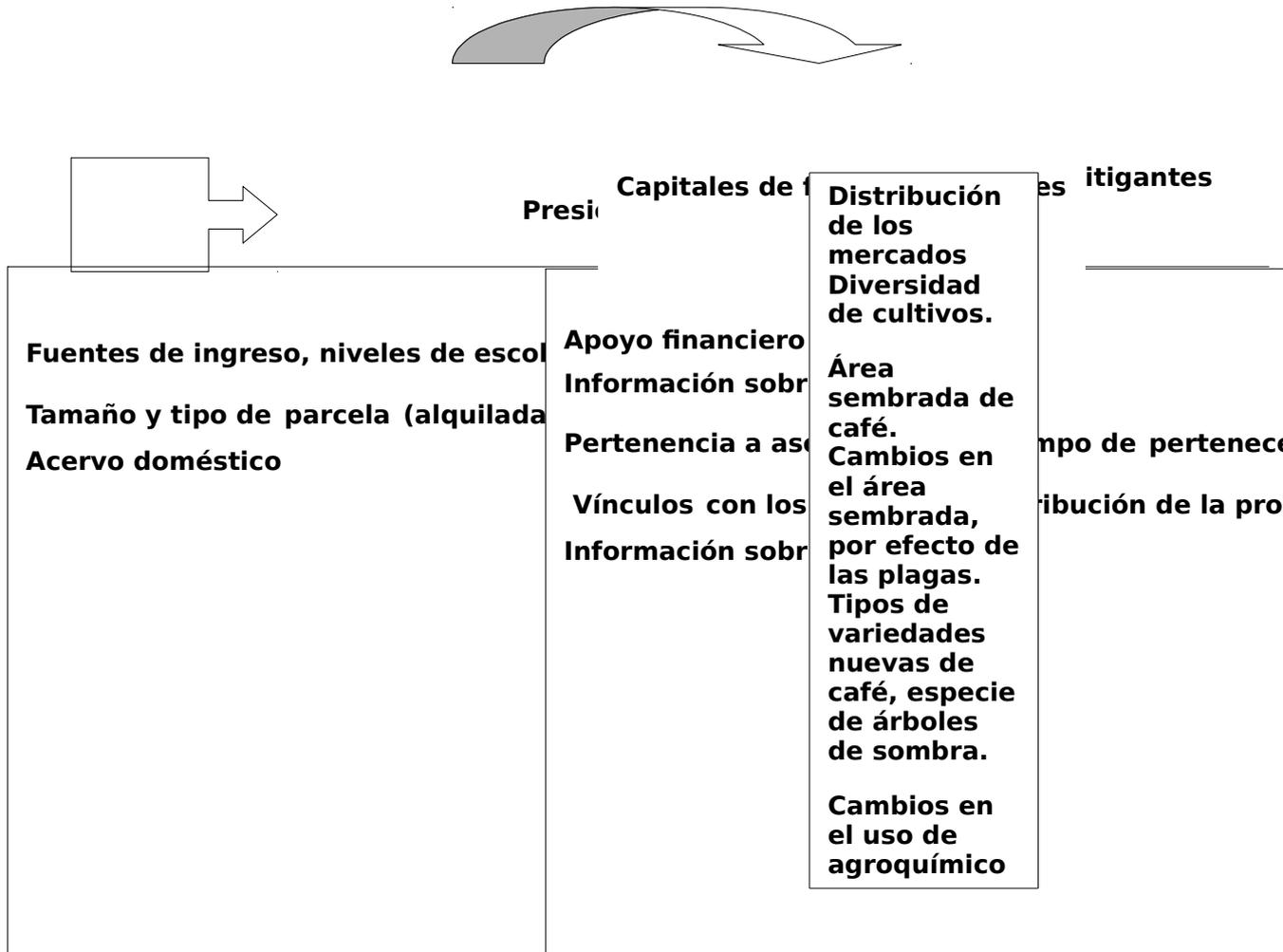
Fuente: Avances recientes en Investigaciones de cadenas en América Latina.

Con la figura 2 se busca más precisión en la evaluación y en esta se presentan las principales variables que se consideraron en el estudio de campo, a partir del enfoque de medios de vida. La figura muestra una sucesión causal de las respuestas de las familias ante las presiones económicas, climáticas y de plagas en función de los capitales de las familias y los factores mitigantes, en los cuales estas están insertas. Las variables han sido clasificadas en columnas que conforman las dimensiones o factores subyacentes que se esperan encontrar con la aplicación de las Ecuaciones Estructurales.

Los capitales de familia y los factores mitigantes también son afectados por el tipo de presión. Además, se considera que las presiones, los capitales, los factores mitigantes y

las respuestas no son variables que se pueden medir directamente, sino que son factores latentes, intrínsecos en las mediciones y es aquí en donde se utiliza la técnica de las ecuaciones estructurales.

**Figura 2 Variables consideradas**



Es importante aclarar que la operacionalización del marco teórico no fue una tarea sencilla y clara. Los esquemas representan horas de discusiones de un grupo multidisciplinario de alto nivel. La discusión sigue abierta, por ejemplo, en el modelo la migración se ha clasificado, por las transferencias de dinero, como un capital de familia, pero desde otro punto de vista, se podría clasificar como un tipo de respuesta que utilizan las familias para mejorar sus ingresos. También, se enfatiza que aunque se

determinara que el modelo teórico se ajusta a los datos, este representa solo uno de los muchos posibles modelos.

## **Metodología**

Como se indicó anteriormente, los datos provienen de una investigación que se realizó en el año 2010 en el Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional de Costa Rica. Para efectos de contraste, como parte de los objetivos del mencionado proyecto, se tomó una muestra de 250 productores de las zonas altas de León Cortes y 148 de las zonas bajas de la Península de Nicoya. La aplicación de las ecuaciones estructurales se realizó con los 398 casos.

Para la estimación de los parámetros se utilizó el software denominado Lisrel, versión cinco. Algunas variables como por ejemplo, la migración se eliminaron de la base de datos, ya que sus valores no válidos afectaban negativamente el tamaño de la muestra. En algunas otras, se utilizó la imputación multivariable, para no perderlas completamente.

## **Resultados**

Primero que todo, el indicador de chi cuadrado ( $\chi^2 = 804.35$ ,  $P=0.0$ ) indica que el modelo teórico no se ajusta a los datos. Debido a que el estadístico de chi cuadrado es muy sensible a tamaños de muestra grandes, como en nuestro caso, Cupani, recomienda acompañar este indicador con algunos otros indicadores de ajuste. El Error Cuadrático Medio Aproximado (RMSEA: Root Mean Square Error of Aproximation) cuando es menor de 0.09, indica que el modelo tiene un buen ajuste, (se considera óptimo cuando es menor a 0.06) y en nuestro caso es de 0.075, lo que confirma el ajuste (Cupani, 2012). El índice de bondad del ajuste (GFI: Goodness of Fit Index), que se interpreta como el coeficiente de determinación del análisis de regresión, fue de 0.86, lo que revela un ajuste bastante alto.

Las variables observadas se representan encerradas en rectángulos (figura 3). Las variables no observables (latentes) se representan encerradas en óvalos o círculos. En este modelo, la variable denominada “Respuesta” es la principal dependiente, en la terminología de los SEM, se le denomina las variables endógenas. Las variables “Capitales de Familia” y “Mitigaciones” también son endógenas, al estar precedidas de una sola variable exógena: que en este caso es “Presiones”.

En esta figura se visualiza el modelo estructural que representa las relaciones entre las variables exógenas y las endógenas y el modelo de medición que está conformado por la forma en que fueron medidas, tanto las exógenas como las endógenas.

Con respecto al modelo estructural, no se presentan relaciones entre los capitales de familia (CAP) y el factor mitigante (MITI), ya que la en la teoría no se establecen.

Con relación al modelo de medición, la dimensión o factor subyacente “Presiones” ha sido medido por medio de los indicadores B29 (Ha tenido pérdidas en la producción), B47 (Tiene plagas), B48T (Total de tipos de plagas que le afectan) y E15T (Total de problemas que se le han presentado con el clima).

En la figura se observa que la variable total de problemas con el clima es la variable que posee una mayor carga factorial (0.47) con el constructo “Presiones”, esto es muy interesante, ya que al preguntarles a los productores sobre las estrategias para contrarrestar los problemas que ocasionaba los cambios en el clima, estos indicaron que prácticamente no podían generar ningún tipo de respuesta, ya que son problemas que se relacionan con sequías o lluvias torrenciales. Podría ser que al percibir que este tipo de problemas no se pueden controlar, genere una mayor “Presión” o preocupación, en comparación con las presiones que generan las plagas (B48T), ya que los productores mencionaban que las mantenían controladas (0.32). Hubiese sido interesante establecer si el modelo detectaba la posible presión que provocó la roya, en el último año, ya que esta fue incontrolable.

El factor “Capitales de Familia” fue medido por medio de los indicadores A9 (Total de hombres que conforman la familia), A10 (Total de mujeres que conforman la familia), A11 (Total de personas mayores de 11 años que conforman la familia), A13 (Total de personas en la escuela) A14 (Total de personas que aportan económicamente en el hogar) y Reacaf (Total de área destinada al café).

Los indicadores que posee mayor carga factorial con “Capitales de Familia” lo representan, en primer lugar, “Total de personas que aportan en el hogar” (0.60), Total de hombres (0.56) y Total de mujeres (0.53).

Los factores mitigantes fueron medidos por medio de B24T (Total de nuevas variedades de café), D1T (Total de instituciones que han brindado apoyo financiero), D5T (Total de instituciones que han brindado apoyo técnico), E1T (Total de fuentes de información de precios), E3T (Total de fuentes de información del clima) y B713T (Total de organizaciones a las que pertenece).

Los indicadores que cargaron alto en este factor fueron Total de instituciones que han brindado apoyo financiero (0.57) y Total de organizaciones a las que pertenece (0.56).

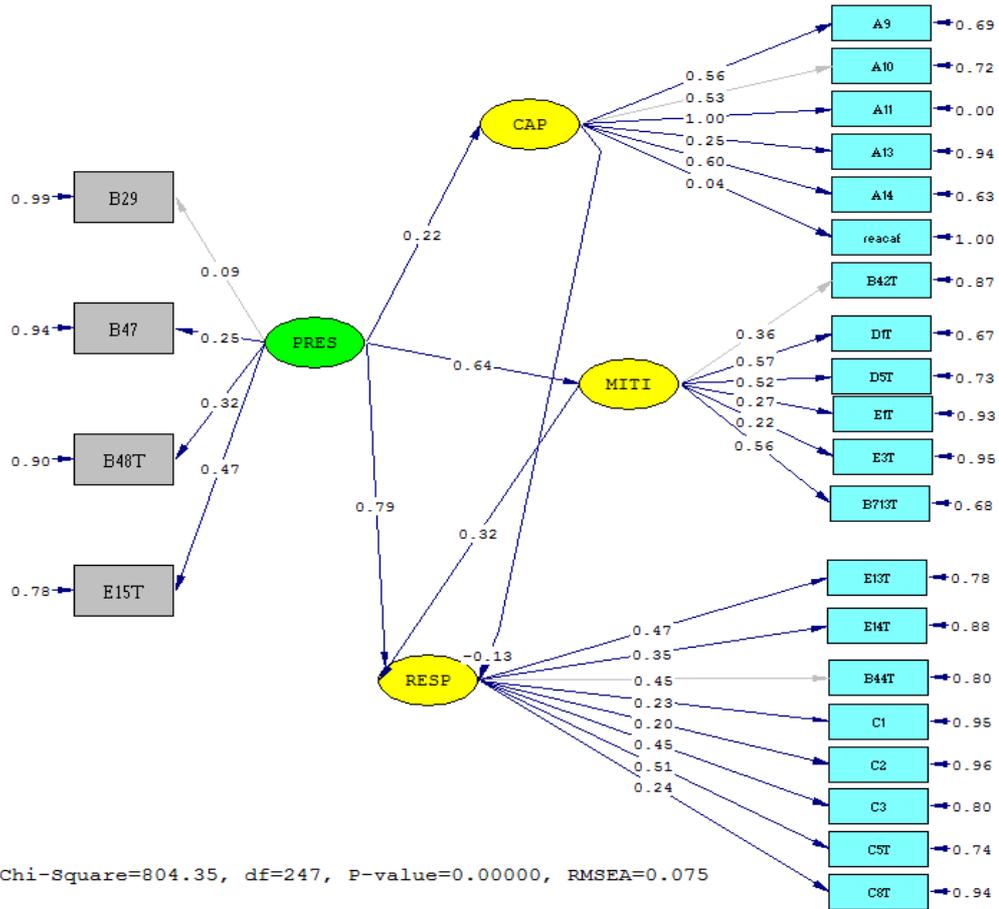
La dimensión de respuestas fue medido por medio de los indicadores: E13T (Total de acciones cafetaleras para manejar los bajos precios), E14T (Total de acciones familiares para disminuir el gasto), B44T (Total de cambios en las prácticas agrícolas), C1 (Cambio de jornada cafetalera) C2 (Cambio en la cantidad de insumos para la producción) C3 (Cambio en la cantidad de personas contratadas) C5T (Total de nuevos frutales y hortalizas), C8T (Total de actividades nuevas para mejorar el bienestar familiar).

Con relación a las “Respuestas” los indicadores que cargaron alto son Total de nuevos frutales y hortalizas (0.51) y Total de acciones cafetaleras para manejar los bajos precios (0.47).

Esperábamos relaciones altas y positivas entre los capitales de familia y las respuestas, a mayor capital de familia mayor grado de respuesta, nuestra hipótesis era que las familias grandes podrían generar más acciones, pero se determinó lo contrario, no solo una correlación baja, sino, inversa. A mayor capital familiar menor grado de respuesta. Al parecer, las familias grandes, con un número mayor de personas que contribuyen con los gastos familiares, necesitarán menos respuestas para enfrentar las presiones externas.

Se creía que las respuestas iban a depender más de los capitales que de las presiones, ya que un tamaño más grande de familia o de área de producción facilitaría la incorporación de posibles respuestas, sin embargo, las respuestas están más asociadas a la percepción que poseen los productores de las presiones externas (0.79).

Figura 3. Salida del programa





## Conclusiones

Aunque la prueba de chi cuadrado muestra diferencias significativas entre la matriz de variancia covariancia teórica, este es un indicador muy sensible a muestras grandes. El índice de bondad de ajuste muestra un ajuste bastante alto del 86%. Algunas variables se excluyeron del modelo, ya que poseían una gran cantidad de valores perdidos y su incorporación afectaba negativamente el tamaño de la muestra final. Por este motivo, no fue posible probar otros modelos que se habían pensado.

Se puede concluir que el modelo teórico de medios de vida posee un buen ajuste a los datos, sin embargo, este representa uno de muchos modelos que se podrían ajustar.

En el desarrollo de este proyecto, se invirtió mucho tiempo en la discusión y operacionalización del marco teórico, después de una revisión detallada del modelo de medición, se determinó que algunas dimensiones, como el impacto de las políticas públicas de desarrollo, no se contemplaron en las mediciones. De aquí la necesidad de establecer propuestas para elaborar posibles indicadores por dimensión o categoría de análisis, esto con el objetivo de no dejar de lado ninguna dimensión.

El análisis que se realiza mediante la aplicación de las ecuaciones estructurales permite comprender mejor las relaciones que se establecen en el marco teórico y esto facilita la incorporación de la teoría en el análisis de los datos que se recopilan.

Queremos hacer eco de las palabras de Cupani: Resulta sorprendente que los modelos sean comprobados exitosamente, dada la complejidad e incluso delicadeza de la tarea.

## Bibliografía

- Cupani, M. (2012). Análisis de Ecuaciones Estructurales: conceptos, etapas de desarrollo y un ejemplo de aplicación. *REVISTA TESIS Facultad de Psicología*, 2(1), 186-199.
- García, V. M. Á. (2011). ANÁLISIS CAUSAL CON ECUACIONES ESTRUCTURALES DE LA SATISFACCIÓN CIUDADANA CON LOS SERVICIOS MUNICIPALES.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., & Müller, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of psychological research online*, 8(2), 23-74.

