

ANÁLISIS METODOLÓGICO PARA LA MODELACIÓN DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA A NIVEL NACIONAL

METHODOLOGICAL ANALYSIS TO MODELING FOOD SECURITY FROM A NATIONAL PERSPECTIVE

ANÁLISE METODOLÓGICO PARA A MODELAÇÃO DE A SEGURIDADE ALIMENTAR A NÍVEL NACIONAL:

DIANA P. GIRALDO¹, MANUEL J. BETANCUR² Y SANTIAGO ARANGO

PALABRAS CLAVES:

Seguridad alimentaria, políticas, toma de decisiones, dinámica de sistemas, modelos.

KEYWORDS:

Food security, policy, decision-making, system dynamics, models.

PALABRAS CHAVES:

Seguridade alimentar, política, tomada de decisão, dinâmica do sistema, modelos.

RESUMEN:

La comunidad científica y política ha incrementado el interés por entender e intervenir el problema de seguridad alimentaria, especialmente desde la crisis alimentaria en la década de los 70's. Diferentes estrategias metodológicas han sido utilizadas con el ánimo de proyectar, predecir y evaluar políticas como soporte para la toma de decisiones en el sector público. Este artículo explora un conjunto de metodologías usadas para el estudio de la seguridad alimentaria a nivel nacional, herramientas estratégicas para una apropiada formulación, evaluación y aplicación de políticas. Se discute el potencial uso de metodologías complementarias al análisis tradicional, especialmente la Dinámica de Sistemas, como una herramienta de simulación que permite el análisis de relaciones causales, el establecimiento de variables críticas y la evaluación de escenarios a favor de una efectiva toma de decisiones.

ABSTRACT:

The scientific and politic community has had increasing concerns for strategic understanding and intervention of the food security problem, especially since the 70's food crisis. Different methodological strategies have been used to foresight, to forecast and evaluate policies to support the process of decision-making in the public sector. This paper examines a series of methodologies used to study the food security problem at a national level.

Recibido para evaluación: 10 de febrero de 2010. Aprobado para publicación: 16 de abril 2010

- 1 Ingeniera Agroindustrial, Candidata a Doctor en Ingeniería. Grupo de Política y Gestión Tecnológica, Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia.
- 2 Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería. Grupo A+D. Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia.
- 3 Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería. Escuela de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia.

Correspondencia: dianap.giraldo@correo.upb.edu.co .

Thereafter, we discuss the potential use of complementary methodologies, mainly System Dynamics, as a simulation tool that provides insight on the causal relationships of the critical variables and allows the analysis of different scenarios of intervention in favor of effective decision making.

RESUMO

A comunidade científica e política hão acrescentado o interesse por entender e intervir o problema de segurança alimentar, especialmente, desde a crise alimentar na década dos 70's. diferentes estratégias metodológicas hão sido utilizadas com o interesse de projetar, predizer e avaliar políticas como suportes para a toma de decisões no setor público. Este artigo explora um conjunto de metodologias empregadas no estudo da segurança alimentar a nível nacional, ferramentas estratégicas para uma apropriada formulação, avaliação e aplicação de políticas. Discute-se o potencial uso de metodologias complementárias à análise tradicional, especialmente a Dinâmica de Sistemas, como ferramentas de simulação que permite a análise de relações causais, o estabelecimento de variáveis críticas e a avaliação de cenários a favor de uma toma de decisões.

1. INTRODUCCIÓN

La carencia de Seguridad Alimentaria (SA) afecta a más de 1.020 millones de personas en el mundo y, en Colombia a más de 6 millones [1,2]. Han sido considerables las políticas que se han planteado para abordar esta problemática, entre ellas las macroeconómicas y de acceso a los alimentos, políticas cambiarias, políticas fiscales, reformas del mercado agrícola y ajuste sectorial, entre otras [3, 4]. Las metodologías de evaluación de estas políticas se basan en el entendimiento, análisis y experimentación del problema de SA a través de la construcción y análisis de modelos. El propósito del uso del modelamiento ha sido ayudar a entender cuál podría ser el efecto de determinadas decisiones dadas unas condiciones específicas, o de realizar proyecciones basados en tendencias históricas. Dado el fracaso de algunas políticas que han mostrado falta de aporte a la solución del problema [5, 6], se plantea la necesidad de evaluar los elementos metodológicos para el modelamiento de la SA.

El fenómeno del hambre no sólo aparece en una sociedad como resultado de una calamidad natural sino también como efecto del surgimiento de una retroalimentación de mecanismos que crean una tendencia en el sistema, moviéndolo hacia una condición de decadencia o desequilibrio [7]. Lo anterior hace que el análisis y la intervención en la SA nacional sea reconocido como un asunto complejo debido a la cantidad de interacciones presentes en el sistema [8]. Del lado de la oferta alimentaria, esta se ha visto afectada por el déficit de producción relacionado con factores

climáticos, la disminución de las reservas de cereales, factores relacionados con productividad, entre otros [9, 10]. Por el lado de la demanda se diferencian el cambio en la estructura de dicha demanda y el aumento del mercado emergente de los biocombustibles, entre otras [11, 12, 13, 14]. La interacción entre políticas agrícolas y alimentarias, la oferta y demanda de alimentos, factores socio-económicos a un micro y macro nivel, y la planeación multisectorial, son consideradas cruciales para encontrar una solución a la carencia de SA [15].

Malthus [16], fue el pionero en formalizar en un modelo la preocupación sobre la capacidad del mundo para producir los alimentos suficientes para alimentar a una población creciente. Sin embargo, dada la complejidad en el análisis de la SA debido a sus múltiples dimensiones relacionadas y a las significativas transformaciones que en su vida conceptual ha experimentado, se ha identificado un vacío relacionado con aspectos metodológicos, como la necesidad de alternativas respecto a la identificación, modelación y evaluación de estrategias del sistema alimentario, integrando datos cualitativos y que facilite la interrelación entre sus actores [13].

El interés principal de este artículo se centra en la revisión de las metodologías que son utilizadas para el estudio de la SA, a nivel nacional y global de más amplia aceptación y visibilidad en la comunidad científico-política, focalizando en aquellas cuyo objetivo es la evaluación de políticas. Esta revisión busca una representación de las principales metodologías utilizadas para analizar la SA, mostrando los principales supuestos y alcances para la modelación.

La sección 2 presenta una revisión crítica de las metodologías utilizadas para el análisis de los sistemas socio-económicos, especialmente para la evaluación de efectos de políticas y toma de decisiones. La sección 3 introduce la dinámica de sistemas como una metodología complementaria que permite analizar problemas dinámicos que involucran cambios en el tiempo, fenómenos de retroalimentación y causalidad. En la sección 4 se muestra una aproximación con dinámica de sistemas al problema de la SA. Por último, la sección 5 presenta comentarios finales sobre el aporte de cada metodología al análisis de la SA según el problema y el objetivo bajo análisis.

2. METODOLOGÍAS TRADICIONALES DE MODELAMIENTO DE SISTEMAS ALIMENTARIOS

2.1. Contexto

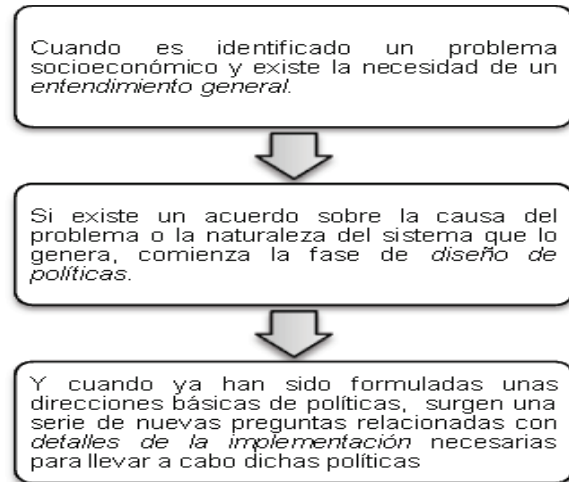
Durante muchos años, los sistemas socio-económicos y naturales han sido centro de investigación y estudio. En ocasiones, el comportamiento de estos sistemas resulta ser altamente complejo y difícil de entender debido a la presencia de relaciones no lineales y diversas interacciones [17]. Desde entonces, diferentes modelos han sido desarrollados en orden de entender sus dinámicas, con el ánimo de proyectar, predecir, analizar consecuencias futuras de decisiones, o encontrar la decisión más óptima dentro de las posibles. Los formuladores de políticas habitualmente usan modelos para tener un mejor entendimiento del impacto de determinadas decisiones en un problema específico [18].

En esta sección, se realizará una breve descripción de las metodologías utilizadas para el análisis de sistemas socioeconómicos, y los tipos de modelos empleados para su estudio. También se describirán las metodologías que han sido utilizados para el estudio de la SA.

2.2. Modelamiento para la comprensión y manejo de sistemas socio-económicos

Los modelos que contribuyen al entendimiento y al manejo de sistemas socioeconómicos pueden ser clasificados a groso modo, en cuatro categorías, a saber: Dinámica de Sistemas (DS), Econometría, *Input-output* y Optimización [19]. Como se muestra

Figura 1. Estados de toma de decisión en sistemas socio-económicos



en la figura 1, los modelos en estas categorías hacen referencia a los diferentes estados relacionados con la toma de decisiones en los cuales son más aplicables, es decir, cuando se identifica un problema, se necesita intervenirlo o implementar una posible solución [20].

2.2.1. Modelos de simulación

La simulación se define como un método que modela la operación del "mundo real", los procesos, sistemas o eventos mediante el uso de un software computacional [21]. Esto es consistente con otras definiciones que describen a los modelos de simulación como experimentos virtuales [22] o como fotos simplificadas del mundo [23]. En particular, la simulación depende de un entendimiento teórico de un fenómeno con el fin de construir una representación computacional. Luego, esa representación es codificada dentro de un software, que es ejecutado repetidamente bajo unas condiciones "experimentales" para obtener resultados simulados [24].

Los modelos de simulación son descriptivos o explorativos, y ayudan a clarificar qué podría pasar en una determinada situación. El propósito de la simulación puede ser la predicción de cómo el sistema puede comportarse en el futuro dadas unas condiciones supuestas, o para diseño de políticas, es decir, diseñar nuevas estrategias de toma de decisiones o estructuras organizacionales y evaluar sus efectos sobre

el comportamiento del sistema [25]. Los modelos econométricos, *input-output* y de DS, se encuentran bajo esta categoría. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

La *econometría* es derivada de la economía y la estadística, mientras otros métodos de modelación emergieron de la investigación de operaciones o ingeniería. Pueden ser usados para análisis estructurales, para predecir o para evaluar los efectos de políticas alternativas [26]. La formulación de un modelo econométrico puede dividirse en dos fases secuenciales. En la primera fase se identifica el problema y se define su trayectoria. En esta fase la precisión cuantitativa es innecesaria y probablemente inalcanzable puesto que la información disponible aún no es suficiente para decidir qué elementos del sistema son significativamente importantes y cómo están relacionados [27]. En la segunda fase, se define la formulación de las variables, las relaciones entre éstas y la estructura del modelo. Al contrario que la primera, en ésta fase la precisión cuantitativa tiene mayor importancia, ya que en esta se estiman los valores de los parámetros de las ecuaciones. La principal técnica usada para obtener los parámetros de los modelos econométricos es la estimación de mínimos cuadrados. Este es un método que encuentra el grupo de parámetros que mejor se adaptan a un postulado general de relaciones para datos históricos y que, además, proporciona una medida cuantitativa del ajuste a dicho postulado.

El análisis *input-output* es una manera de representar flujos de dinero, recursos o productos entre productores y consumidores en una economía nacional o regional. El análisis *input-output*, como la econometría, usa directamente datos económicos observables. Estos modelos muestran como el *output* de una o varias industrias es un *input* de otra industria, representado en forma de una matriz [28]. Este formato muestra que tan dependiente es cada industria de las otras en una economía, tanto los clientes de sus productos y los proveedores de sus insumos [29]. Los supuestos de linealidad y rendimientos constantes a escala, limitan el uso del análisis *input-output* para proyecciones a corto plazo y para la extrapolación de cambios marginales de condiciones históricas. Sin embargo, aún con estas limitaciones, un análisis *input-output*, puede proporcionar el modelo de un sistema productivo interdependiente, desagregado y una representación interna consistente de un sistema complejo [20].

La *Dinámica de Sistemas* es un paradigma de modelización de carácter estructuralista que permite reproducir patrones de comportamiento de sistemas complejos [30]. El enfoque de la DS se centra en cómo las relaciones causales entre sus variables pueden influenciar el comportamiento de un sistema [31, 32, 33]. Este enfoque generalmente modela sistemas como una serie de procesos simples con causalidad circular (por ejemplo cuando la variable *A* influencia a la variable *B*, la cual influencia a su vez a *A*) relacionados con los ciclos de retroalimentación. Estos procesos tienen unas estructuras comunes que se interceptan en un conjunto de ciclos de retroalimentación. Estos ciclos pueden ser de refuerzo o de balance [34, 35].

El sistema típicamente incluye niveles y flujos. La DS es aplicable para el entendimiento del comportamiento de sistemas con causalidad compleja y variantes en el tiempo. Los investigadores suelen estar interesados en la búsqueda de las condiciones iniciales que conducen a cambios abruptos y no lineales, tales como puntos de inflexión, las catástrofes, y la aparición de los círculos viciosos o virtuosos [24].

2.2.2. Modelos de optimización

Un modelo de optimización busca encontrar la mejor forma de llevar a cabo una meta. Estos modelos típicamente incluyen una función objetivo, variables y restricciones. La función objetivo es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar, según el caso). Las variables representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Las restricciones representan el conjunto de relaciones, expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones, que ciertas variables están obligadas a satisfacer [36]. Resolver un problema de optimización consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones [37].

Existen diferentes métodos de optimización. Se pueden clasificar en métodos clásicos y métodos meta heurísticos. Dentro de los primeros se encuentra la optimización lineal, lineal entera mixta, no lineal, estocástica, dinámica, etc., en el segundo grupo se encuentran los algoritmos evolutivos, el método del recocido simulado o las búsquedas heurísticas. De forma muy general, se puede decir que los métodos clásicos buscan y

garantizan un óptimo local, mientras que los métodos meta-heurísticos tienen mecanismos específicos para buscar un óptimo global, aunque no garantizan su alcance [36].

Los modelos de optimización son la mejor técnica a usar si el problema a resolver consiste en hallar la mejor selección de entre un conjunto de alternativas y si el sistema a optimizar es relativamente estático y libre de retroalimentaciones [25]. Esta última condición sin embargo, pocas veces es cierta en sistemas sociales, económicos y ecológicos.

2.3. Modelamiento en la Seguridad Alimentaria

El uso de modelos para el estudio de la SA ha sido muy amplio, por ejemplo los desarrollados por la *Food and Agriculture Organization* (FAO), *International Food Policy and Research Institute* (IFPRI), *Food and Agricultural Policy Research Institute* (FAPRI), *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), *United States Department of Agriculture* (USDA), entre otros. Las metodologías más utilizadas para estos análisis se han basado en dos tipos, a saber: *Modelos de proyección de tendencia* y los *Modelos de comercio mundial*, según se observa en la figura 2, [38].

Los *modelos de proyección de tendencia* pronostican la brecha entre el consumo y la producción alimentaria para un país o región, suponiendo que los precios relativos son constantes en el tiempo. Estas dos com-

ponentes son proyectadas por separado de acuerdo con su tendencia histórica. Ahora, este tipo de proyección puede ser clasificada en dos tipos: *Modelos puros de proyección de tendencia*, que comprende la mayoría de modelos en esta categoría, la diferencia entre la proyección del consumo y de la producción genera una brecha (*gap*), que si es positiva indica escasez de alimentos o si es negativa indica un superávit de alimentos [38]. La otra clasificación son los *Modelos extendidos de proyección de tendencia*, que de igual forma generan la proyección de la brecha alimentaria y luego utiliza esa información para construir un modelo de comercio espacial para distribuir el déficit o superávit entre las regiones o países.

La segunda categoría general de estos modelos se refiere a los *Modelos de comercio mundial* de equilibrio, que permite la interacción entre países y regiones a través del comercio. Este tipo de modelos no sólo predicen volúmenes de mercado, sino también predicen los precios de los productos. Son llamados también modelos de precios endógenos. Todos los modelos actuales usados para proyectar la situación mundial alimentaria se ubican en esta clasificación. Dentro de dicha categoría, existen también dos tipos de modelos, *modelos espaciales* y *no espaciales de comercio mundial*. Los no espaciales predicen sólo la posición del comercio neto de un país, sin especificar las fuentes de importación o el destino de las exportaciones. Los espaciales hacen dos tipos de predicciones, proyectar el comercio neto de una región y el flujo del comercio por fuentes y destinos. Estos dos métodos no son los únicos, pero son los más utilizados [39].

Figura 2. Metodologías utilizadas para el análisis de estados alimentarios.



Algunos de los modelos desarrollados para analizar la SA más reconocidos son: Modelo IMPACT desarrollado por el IFPRI, *Food Security Assessment* desarrollado por la USDA, *World Food Model* desarrollado por la FAO, *Policy Dialogue Model* desarrollado por el IWMI, entre otros. En la Tabla 1 se muestran sus características básicas y sus propósitos de modelación. La mayoría de estos modelos están basados en un equilibrio. Estos modelos se basan en datos históricos, los cuales implícitamente suponen que las tendencias históricas de las variables claves se mantendrán en el futuro. Otra característica limitante es que centran sus esfuerzos en mejorar la capacidad del modelo de reproducir comportamientos reales del sistema en tiempos pasados.

Tabla 1. Características de modelos más reconocidos

Nombre	Metodología	Énfasis
Food Security Assessment -USDA- [40]	Modelo de equilibrio parcial	Evalúa la SA de un país mediante la brecha existente entre la proyección del consumo doméstico alimentario y el consumo requerido en 70 países de bajos ingresos al 2014.
International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade -IFPRI- [41]	Modelo de equilibrio parcial	Ofrece una metodología para el análisis de líneas de referencia y escenarios alternativos de la demanda global de alimentos, oferta, comercio, ingreso y población, el estado de nutrición, especialmente en países en desarrollo.
Policy Dialogue Model. A Water and Food Security Planning Tool -IWMI- [42]	Modelo de proyección de tendencia	Determina la demanda de agua en 2025 y encuentra los requerimientos alimentarios como resultado del crecimiento de la población y los cambios en la dieta.
World Food Model -FAO- [43]	Modelo de equilibrio general	Provee un marco para proyectar la disponibilidad, acceso y flujo neto alimentario entre 150 países.

3. NUEVOS REQUERIMIENTOS METODOLÓGICOS

La SA se describe como un sistema complejo, de orden socio-económico, debido a que: intervienen las decisiones del hombre, presenta cambios a través del tiempo, es de comportamiento dinámico, presenta relaciones no lineales, con retroalimentación múltiple de subsistemas, de naturaleza abierta, compuesto de partes o subsistemas interdependientes entre ellos [44].

Dadas las características del fenómeno, se propone el uso de modelos causales-descriptivos, como la DS, como herramienta complementaria. La DS trata eficientemente problemas en un nivel alto de abstracción, y se enfoca en niveles macros y estratégicos (dinámicas poblacionales, estudios sectoriales, ecosistemas, etc). [25, 45, 46, 47]. Estudia el comportamiento de sistemas con causalidad compleja y cambios en el tiempo. Permite afrontar preguntas de investigación relacionadas con el conocimiento de cuándo y cómo pequeñas interrupciones crean grandes catástrofes [24].

Los modelos de simulación en DS son más efectivos cuando el propósito es un *entendimiento general* o un *diseño e implementación de políticas* para sistemas agregados. Su rango de aplicaciones incluye diferentes tipos de sistemas como: urbanos, sociales, ecológicos. De acuerdo a [48], la DS es un enfoque computacional para el análisis y diseño de políticas. Aplica a problemas dinámicos, que son originados en sistemas complejos sociales, de gestión, económicos o ecológicos, literalmente, cualquier sistema dinámico caracterizado por la interdependencia, mutua interacción, retroalimentación de información y causalidad circular [49].

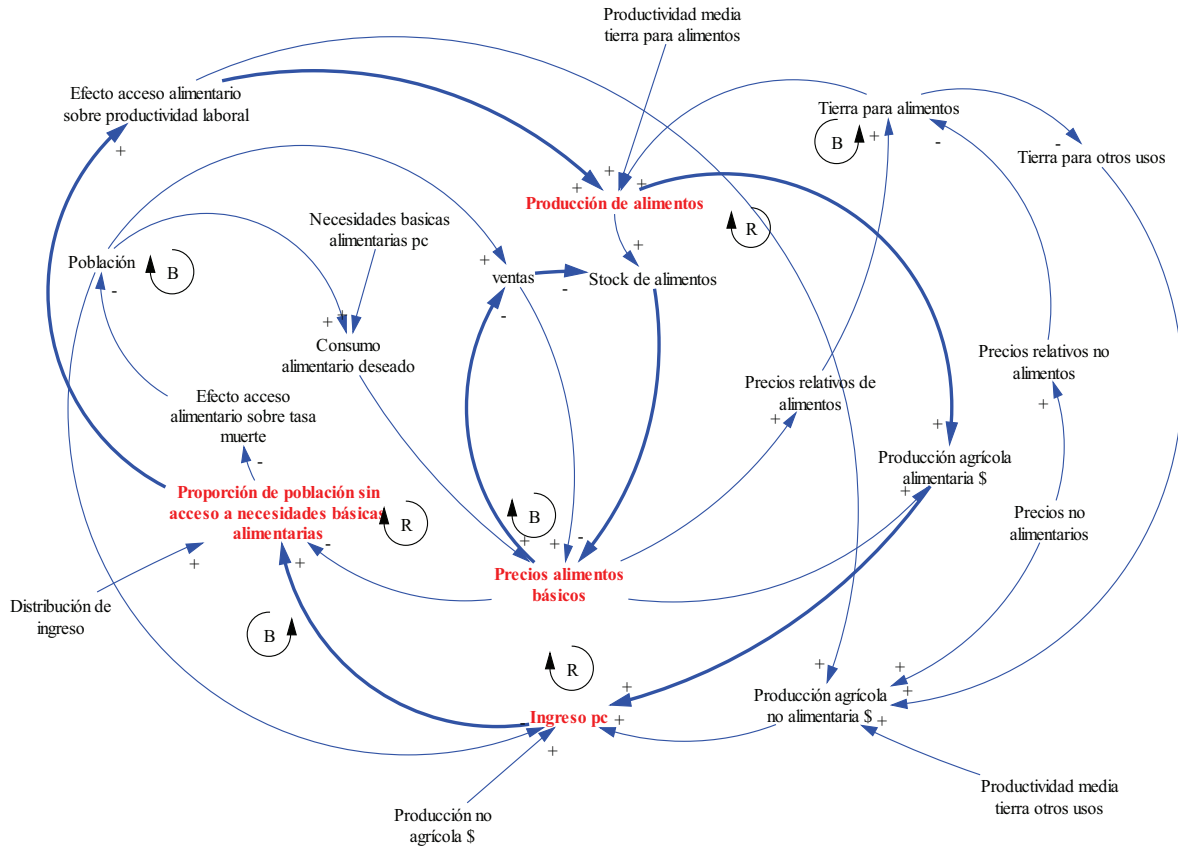
En resumen, la DS es una metodología adecuada para abordar este tipo de problemas debido a que:

- Es una metodología que permite el análisis de sistemas dinámicos, de tiempo continuo, y es propicia además para usarse en el modelamiento y simulación de sistemas complejos.
- Permite comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema y de cada uno de los elementos que lo componen. Es precisamente esta propiedad la que hace propicia esta metodología para que se puedan simular acciones sobre el sistema y evaluar el posible comportamiento en el tiempo.
- Permite identificar cuáles son las variables críticas que afectan el fenómeno, cómo se comportan ante algunos cambios inducidos, propiciando la formulación de unos escenarios más probables.
- Posee características como amigabilidad, transparencia, guía para la elaboración de políticas y capacidad de integralidad (*comprehensiveness*).

4. APROXIMACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS AL PROBLEMA DE SEGURIDAD ALIMENTARIA

Una propuesta agregada del sistema de SA de un país como punto de partida para estudiar el comportamiento de su estructura y el efecto de políticas propuestas, es presentada en el diagrama causal mostrado en la figura 3. Se ha partido de la interacción entre los tres componentes principales cubiertos por la SA desde un enfoque nacional, tales como: 1) Disponibilidad, 2) Acceso y 3) Estabilidad entre la producción media y los medios para adquirirlos.

Figura 3. Diagrama causal de la estructura base de la SA a nivel nacional



Fuente. [50]

Son identificadas cuatro variables críticas, dado que tienen una interacción importante de causas y efectos, y están relacionadas con: la producción de alimentos, precios de los alimentos básicos necesarios, ingreso per cápita y proporción de población sin acceso a las necesidades básicas calóricas. Los precios de los productos alimenticios, así como los precios de los productos no alimentarios determinan el flujo entre el tipo de uso de la tierra y la producción de alimentos.

La relación entre la producción de alimentos y medios de vida están dados por la productividad laboral debido a un acceso adecuado a los alimentos, así como la distribución de los ingresos y los precios de los productos básicos necesarios para mantener una vida activa y saludable.

La dinámica de la población relacionada con el acceso a los alimentos y las cantidades necesarias de alimen-

tos básicos, definen el flujo de ventas de los alimentos producidos.

Tal vez la mejor manera de definir la SA desde una perspectiva nacional es el equilibrio entre la producción y el acceso de alimentos a precios razonables. Figura 3.

5. COMENTARIOS FINALES

Han sido variadas las estrategias para el entendimiento, análisis y experimentación en el sistema alimentario. El uso de modelos ha sido parte de estas estrategias, cuyo fin ha sido ayudar realizar análisis de escenarios y evaluación de políticas en el tiempo. Para esto, se han utilizados modelos con diferentes categorías, tales como modelos econométricos y causales-descriptivos. Los resultados de los modelos son insumos fundamentales para la formulación y evaluación de políticas, por

lo tanto es relevante hacer una apropiada selección de la metodología de modelamiento.

En este sentido, la elección de una metodología apropiada para el análisis de un fenómeno, requiere en primera instancia tener claridad del objetivo o problema de estudio. Para el caso de la Seguridad Alimentaria, resulta de interés particular el poder identificar una metodología capaz de representar de una manera coherente, las principales relaciones causales del sistema alimentario de forma comprensiva y dinámica, características fundamentales del problema de Seguridad Alimentaria.

Los modelos econométricos para simulación de políticas han sido apropiados para el corto plazo. Estos han sido utilizados para evaluar cambios en la estructura de la demanda, cambios en los precios alimentarios, cambios en los factores de producción, etc. Sin embargo, este tipo de modelos no considera factores adicionales importantes para la evaluación de políticas a largo plazo, por ejemplo la racionalidad del comportamiento humano, la disponibilidad de información que los tomadores de decisiones no tienen y la no presencia de mercados perfectos y en equilibrio. Los modelos Econométricos y los *input-output* proveen apoyo en la etapa de diseño de políticas. Técnicas de optimización son las más usadas para seleccionar la decisión que mejor funciona en un conjunto de mejores alternativas. La simulación y la optimización se complementan en cierto grado.

Para el análisis de largo plazo, se argumenta que los modelos de dinámica de sistemas (modelos causales-descriptivos) son los más efectivos para propósitos de un entendimiento general o una formulación de políticas para sistemas agregados. Los modelos de simulación generan información acerca del posible desarrollo de un sistema, esa información forma la base para la generación de nuevos objetivos o para la discusión de objetivos existentes.

6. REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas (2009). Programa mundial de la Alimentación. New York, USA.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2009). The State of Food Insecurity in the World. Rome, Italy.
- [3] Thomson, Anne and Metz, Manfred. (1999). Implications of Economic Policy for Food Security: A Training Manual. FAO. Roma
- [4] Machado, A. (1991). Problemas Agrarios Colombianos. Ed. CEGA. Segunda edición. Bogotá, Colombia.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2008). El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo. Roma, Italia.
- [6] The World Bank, (2008). World Development Report 2008: Agriculture for Development. Washington, D.C. USA
- [7] Saeed, K. (1987). World Hunger: Do we understand it?. System Dynamics Review 3 (no. 1. Winter)
- [8] Ericksen, Polly J., Ingram, John S.I and Liverman, Diana M (2009). Food security and global environmental change: emerging challenges. Environmental Science and Policy. Volume 12, Issue 4
- [9] Trudell, Robert H. (2005). Food Security Emergencies and the Power of Eminent Domain: a Domestic Legal Tool to Treat a Global Problem. Syracuse J. Int'l L. & Com. Vol. 33:277, 2005.
- [10] Brand, Jon A., Bailey, Kenneth W., and Westhoff, Patrick (1991). Food costs and the 1988 US drought. An assessment of stock policies. Food Policy October 1991
- [11] Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2008). The State of Food and Agriculture. Biofuels: prospects, risks and opportunities (SOFA). Rome, Italy
- [12] Brown, Lester R. (2009). Could Food Shortages Bring Down Civilization? Scientific American Magazine. En línea <<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=civilization-food-shortages>> Abril 22 de 2009.
- [13] Carr, Edward R. (2006). Postmodern conceptualizations, modernist applications: Rethinking the role of society in food security. Food Policy, Vol 31 pp. 14-29.
- [14] Escobar, Jose C., Lora, Electo S., Venturini, Osvaldo J., Yañez, Edgar E., Castillo, Edgar F. and Almazan, Oscar. (2009). Biofuels: Environment, technology and food security. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1275-1287.
- [15] Maxwell, S. (1997). Implementing the World Food Summit Plan of Action: organizational issues in multi-sectoral planning. Food Policy, Vol. 22 No 6, pp. 515-531.

- [16] Malthus, Thomas R. 1914 [1798]. An essay on the principle of population, Reprint. New York: E. P. Dutton.
- [17] Sterman, J., 1988. Deterministic Chaos in Models of Human Behavior: Methodological Issues and Experimental Results. *System Dynamics Review*. 4, 148-178.
- [18] Ruth, M. and Hannon, B. (1997). Modeling dynamic economic systems. Springer Verlag, New York.
- [19] Kopainsky, B. (2005). A system dynamics analysis of socio-economic development in lagging Swiss regions. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Doctoral Thesis ETH No. 15843.
- [20] Meadows, D. and Robinson, J. (1985). The electronic oracle. Computer models and social decisions. John Wiley & Sons, Chichester/ New York/ Brisbane/ Toronto/ Singapore.
- [21] Law, A. M., and Kelton, D.W. (1991). Simulation modeling and analysis. (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- [22] Carley, K.M. (2001). Computational approaches to sociological theorizing. In J. Turner (ed), Handbook of sociological theory: 69-84. New York: Kluwer Academic/Plenum.
- [23] Lave, C., and March, J. G. (1975). An introduction to models in the social sciences. New York: Harper & Row.
- [24] Davis, Jason P, Eisenhardt, Kathleen M. and Bingham, Christopher B. (2007). Developing Theory through Simulation Methods. *Academy of Management Review* Vol. 32, No. 2, 480-499
- [25] Sterman, J. D. (1988). A Skeptic's Guide to Computer Models. In: Barney G. O., Kreutzer W.B., Garrett M.J. (eds.). *Managing a nation: The microcomputer software catalog*. Westview Press, Boulder CO.
- [26] Granger, Clive (1991). *Modelling Economic Series: Readings in Econometric Methodology*. Oxford University Press.
- [27] Pulido, A. (1989). Modelos Econométricos. Ed. Pirámide. Madrid, España.
- [28] Leontief, Wassily W. (1986). *Input-Output Economics*. 2nd ed., New York: Oxford University Press.
- [29] Isard W, Azis IJ, Drennan MP, Miller RE, Saltzman S, Thorbecke E (1998) *Methods of interregional and regional analysis*. Ashgate, Aldershot, Hants, England.
- [30] Meadows, D. H. (1980). *The Unavoidable a priori*. Norway: Jorgen Randers.
- [31] Forrester, J. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [32] Sastry, M. A. 1997. Problems and paradoxes in a model of punctuated organizational change. *Administrative Science Quarterly*, 42: 237-275.
- [33] Sterman, J., Repenning, N., & Kofman, F. (1997). Unanticipated side effects of successful quality programs: Exploring a paradox of organizational improvement. *Management Science*, 43: 503-521.
- [34] Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill.
- [35] Morecroft, John. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics. A feedback Systems Approach*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [36] Linares, P, Ramos, A., Sánchez, P, Sarabia, A. and Vitoriano, B. (2001). Modelos matemáticos de optimización. Universidad Pontificia de Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, España.
- [37] Gass, S.L. and Harris, C.M. (2001). *Encyclopedia of Operations Research and Management Science. Centennial Edition*. Kluwer Academic Publishers.
- [38] McCalla, A. and Revoredo, C. (2001). Prospects for Global Food Security. A Critical Appraisal of Past Projections and Predictions. IFPRI.
- [39] Thompson, Robert L. (1981). *A Survey of Recent U.S. Developments in International Agricultural Trade Models*. Bibliographies and Literature of Agriculture Number 21. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- [40] Shapouri, S. and Rosen, S. (2005). Food Security Assessment. Electronic Outlook Report from the Economic Research Service. GFA-16.
- [41] Rosegrant, M.W., Ringler, C., Msangi, S., Cline, S.A. and Sulser, T.B. (2005). International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT-WATER): Model Description. (International Food Policy Research Institute: Washington, D.C., USA).
- [42] Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden, D., de Silva, R., Barker, R., 1998. World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and issues. Research Report No. 19, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
- [43] FAO. 1993. The World Food Model - Model Specifications ESC/M/93/1. Rome, Italy
- [44] Saeed, K. (1994). *Development Planning and Policy Design. A system dynamics approach*. Avebury. Asian Institute of Technology.

- [45] Saeed, (1987). A re-evaluation of the effort to alleviate poverty and hunger. *Socio-Econ. Plann. Sci.* Vol. 21, No. 5, pp. 291-304, 1987
- [46] Mandal, P. (1994). A System dynamics model of food production. *System Dynamics: an international Journal of Policy Modelling*, 6(1/2).
- [47] Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, J., and Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind.* New York: Universe Books.
- [48] Richardson, G.P. (1991). *Systems dynamics: Simulation for policy analysis from a feedback perspective.* In: Fishwick P.A., Luker P.A. (eds.). *Qualitative simulation modeling and analysis.* Springer-Verlag, New York.
- [49] Forrester, Jay Wright. (1971). *World dynamics.* Cambridge, Mass., U.S.A.: Wright-Allen Press.
- [50] Giraldo, Diana P., Betancur, Manuel J. and Arango, Santiago (2008). Model on Food Security in Development countries: A systemic perspective. *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society, Wiley-Blackwell*, p. -, v. <, fasc.