

Análisis estructural: un apoyo para el modelado con dinámica de sistemas

Structural analysis: support for modeling with system dynamics

Danny A. Quintero Posso, Ing. & Sandra M. López Muriel, PhD.

Grupo de investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática GIDATI

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

danny.quintero@upb.edu.co, sandra.lopez@upb.edu.co

Recibido para revisión 22 de mayo de 2010, aceptado 28 de octubre de 2010, versión final 23 de noviembre de 2010

Resumen— En este artículo se presenta una propuesta metodológica para identificación de variables y construcción del diagrama causal en Dinámica de sistemas apoyado en el análisis estructural como una alternativa confiable que reduce la subjetividad en estas etapas del análisis de problemas. El artículo describe de manera genérica el proceso y luego lo aplica a modo de ejemplo al caso de la televisión digital interactiva en Medellín y su área metropolitana.

Palabras Clave—Análisis Estructural, Dinámica De Sistemas, Selección de Variables, Diagrama Causal, MICMAC

Abstract—This article proposes a method for identification of variables and construction of the causal diagram in system dynamics supported by structural analysis as a reliable alternative that reduces subjectivity in this phase of problem analysis. The article describes generically the process and then applies it as an example the case of interactive digital television in Medellín and its metropolitan area.

Keywords— Structural Analysis, System Dynamics, Selecting Variables, Causal Diagram, MICMAC

I. INTRODUCCIÓN

La Dinámica de Sistemas resulta útil en la toma de decisiones estratégicas, ya que facilita la comprensión de la complejidad de la estructura de un sistema [1],[2]. Esa complejidad reside principalmente en las relaciones que se presentan entre las variables que componen o describen un sistema.

En las metodologías que describen los procedimientos para la elaboración de modelos con Dinámica de sistemas [2]-[4], no se profundiza en un método particular para la escogencia de variables ni para la construcción de hipótesis dinámicas en las

que se basa el diagrama que muestra las relaciones causales entre ellas; este asunto se deja prácticamente a discreción del investigador.

Aunque algunos autores que trabajan en la metodología de Dinámica de sistemas coinciden en dar indicaciones muy generales para la caracterización inicial de un problema y abordar la selección de variables y la construcción del diagrama causal: discusiones con personas del entorno del sistema, complementado por información histórica, recopilación de datos, entrevistas y observación directa o la participación. [1]-[4]

En general los métodos empleados por los investigadores para el modelado de sistemas, al menos en las publicaciones encontradas, son principalmente metodologías que involucran la participación de expertos [5]-[12] y/o personas que están muy relacionadas con el problema particular analizado (*Group Model Building*) [13]-[24].

En algunos casos la participación de los expertos se articula mediante métodos de prospectiva, entre los más utilizados están el método Delphi y el método de análisis estructural.

El método Delphi consiste fundamentalmente en la realización de varias rondas de consulta a expertos para llegar a un consenso en los aspectos relevantes a incluir en el análisis o investigación, y se utiliza principalmente en la selección de las variables [25]-[28].

El método de análisis estructural parte de la reflexión colectiva de un grupo de expertos, quienes en primer lugar debaten para seleccionar y definir las variables que son parte del sistema, posteriormente evalúan la influencia directa que ejerce cada una de las variables sobre las demás y finalmente se procesa estas interrelaciones mediante un software (MICMAC®¹) especializado que ayuda en la escogencia de las variables esenciales para la evolución del sistema, como se describe en el numeral 2.1 [29]-[32].

Por otra parte se ha encontrado que en otros casos las variables y los diagramas causales simplemente se obtienen a partir de fuentes secundarias, (publicaciones, datos históricos, estadísticas, etc.) y/o modelos existentes [5],[33]-[53].

El análisis estructural, facilita la visión sistémica de un problema y permite identificar de mejor manera las diferentes interrelaciones entre los factores que intervienen en el sistema que se analiza, puesto que el software MICMAC®¹ entrega además un diagrama con las relaciones directas entre las variables analizadas, que aunque bastante confuso cuando hay muchas relaciones, en este artículo se propone como una primera base para descubrir los ciclos en el sistema. Godet y otros, precursores del método citan: *“Probablemente fue JayForrester, a través de sus trabajos sobre modelos de dinámicas industriales y luego, dinámicas urbanas (1961), quien dio origen a las primeras justificaciones del análisis estructural”* [54], lo que pone en evidencia los primeros indicios de la relación entre el análisis estructural y la dinámica de sistemas.

El presente artículo desarrolla en el numeral 2 la metodología empleada en la investigación para la selección de variables e identificación de las hipótesis dinámicas, como bases para la construcción del diagrama causal. En el numeral 3 se presenta un caso de estudio donde se aplica el análisis estructural al caso de la televisión digital interactiva en el área metropolitana de la ciudad de Medellín para la identificación de variables e interrelaciones entre variables. Finalmente, el numeral 4 se entregan las conclusiones obtenidas del trabajo investigativo.

II. METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES Y CONSTRUCCIÓN DE DIAGRAMA CAUSAL EN DINÁMICA DE SISTEMAS

La selección de variables y la identificación de las interrelaciones existentes entre ellas, es un proceso fundamental para la comprensión de un sistema y es la base para la construcción de los modelos que lo describen, aspectos que aborda claramente el análisis estructural, en el cual nos centraremos en este artículo.

2.1. Identificación y selección de variables

El análisis estructural de acuerdo con Godet et al.[29],[54] es una metodología apoyada por personas con experiencia demostrada en determinada área, los cuales participan en un proceso que consta de tres fases: Inventario de variables ó factores; descripción de las relaciones entre

variables y finalmente, la identificación de las variables esenciales para el comportamiento del sistema.

El inventario de variables debe ser muy exhaustivo de manera que se considere la mayor cantidad de factores que intervienen en el sistema. Este proceso se desarrolla a partir de reuniones, lluvias de ideas, fuentes secundarias, etc. Esta lista de variables debe ser homologada eliminando las que son redundantes, tienen el mismo significado o no son pertinentes al contexto analizado. Luego se realiza una detallada y consensuada descripción de cada una de las variables para que el significado de éstas sea igual a todos los miembros del grupo de trabajo [54].

Las variables obtenidas en la fase 1 se presentan en una matriz de doble entrada. Los expertos evalúan las influencias directas entre todas las variables de acuerdo con la intensidad de la afectación existente: fuerte (3), media (2), débil (1), nula (0) ó potencial (P).

Cada experto califica las relaciones entre las variables según los criterios ya expuestos del análisis estructural, y posteriormente el software MICMAC® mediante la iteración sucesiva de la matriz calcula el grado de influencia y dependencia existente entre las variables. Como resultado de éste cálculo, se pueden caracterizar las variables de acuerdo con la ubicación en un plano influencia y dependencia que entrega el software MICMAC como resultado (figura 1), en el cual se pueden identificar cuatro categorías asociadas a los cuadrantes que forman los ejes de influencia y dependencia [54]: Variables de poder, variables de enlace, variables de respuesta y variables autónomas, las cuales se describen a continuación.

Variables de poder: Estas variables son las que ejercen cierto grado de influencia sobre las demás variables, pero no dependen de ninguna otra, por lo que cualquier cambio en una de las variables de poder, se reflejará en las demás variables del sistema.

Variables de enlace: Estas variables a pesar de ser influyentes en el sistema, ya poseen una dependencia de las variables de poder. Además éstas variables presentan un comportamiento complejo inestable dada la naturaleza altamente dependiente e influyente.

Variables de respuesta: Estas variables son las más sensibles al comportamiento de las variables de poder y de enlace. Son variables de salida del sistema.

Variables autónomas: Estas variables son poco influyentes y dependientes, por lo que tienden a descartarse del análisis dado que los cambios que éstas tienen no afectan significativamente el sistema, sin embargo, la ubicación de estas variables en las cercanías a los ejes de influencia y dependencia pueden significar un efecto que se deba considerar.

1. MICMAC (Impact Matrix Cross- Reference Multiplication Applied to a Classification). Laboratoire d'innovation, de prospective stratégique et d'organisation, LIPSOR.

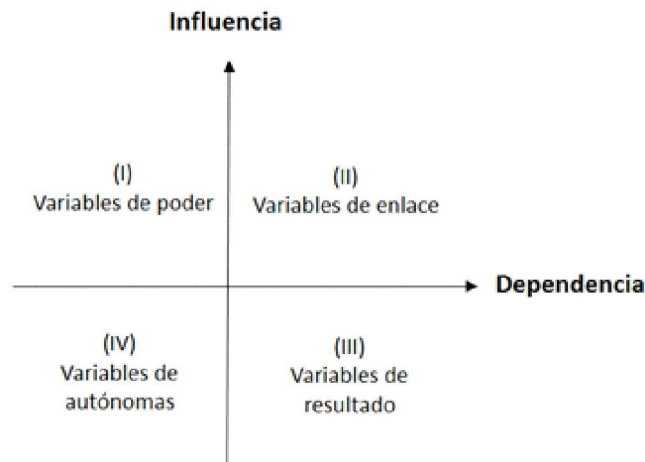


Figura 1. Plano influencia / dependencia
Fuente: (15)

La naturaleza de éste método, estimula la reflexión de los expertos en torno al problema analizado, incorporando aspectos cualitativos que son parte del mismo[54], lo cual permite una amplia y profunda cobertura de los diferentes factores involucrados en el sistema.

En contraste, la principal desventaja del método consiste, según la experiencia, en que cuando se tiene un número grande de variables, se requiere de largos tiempos de reunión con los expertos, asunto que no siempre es posible conseguir.

1.1 Hipótesis dinámicas (Diagrama Causal) basado en análisis estructural

Las interrelaciones entre las variables cumplen un papel vital dentro del sistema y su interpretación, dado que son estas relaciones las que definen la dinámica del sistema.

En este sentido, el software MICMAC permite visualizar las interrelaciones que existen entre las variables del sistema,

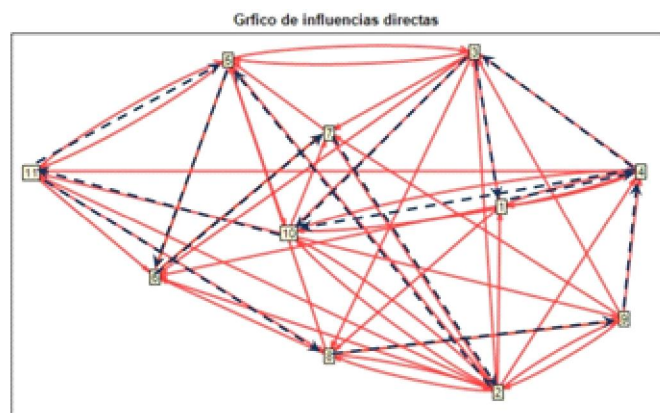


Figura 2. Gráfico genérico de influencias directas
Fuente: Resultados MICMAC®

mediante el gráfico de influencias directas, (Ver figura 2), entregado como parte de los resultados del MICMAC, entrelazando las variables con flechas de diferentes tipos, que indican el nivel de influencia que ejerce una variable sobre otra y que refleja tanto las influencias directas como las indirectas.

Este gráfico es el punto de partida para la construcción del diagrama causal de Dinámica de Sistemas, a partir del cual se extraen las relaciones más fuertes que permitan una adecuada construcción del diagrama causal asociado.

Teniendo en cuenta que el análisis estructural recomienda incluir en la formulación de estrategias las variables de poder, de enlace y respuesta y descarta las variables autónomas.

El primer paso es identificar las relaciones fuertes entre esas variables y eliminar del diagrama las variables autónomas con sus respectivos enlaces. Cuando se hallan relaciones que son redundantes para afectar a las variables del sistema, éstas se simplifican representando esos efectos por medio de relaciones entre varias variables que conduzcan al mismo resultado de afectación entre las variables implicadas. Adicionalmente, se pueden reforzar o depurar otras interrelaciones existentes, considerando las relaciones más fuertes o significativas entre las variables más dinámicas del sistema, teniendo en cuenta las opiniones dadas por los expertos durante las reuniones previas, las fuentes secundarias y el conocimiento de quienes analizan el problema.

Además la transición del gráfico de influencias directas al diagrama causal, permite identificar de manera gradual los ciclos (*loops*) entre las variables, mostrando la estructura compleja del mismo y cuyo resultado permite observar la naturaleza dinámica del sistema.

Las influencias que se destacan en la figura 2 mediante flechas punteadas, describen la transición a un diagrama causal (figura 3) a partir del gráfico de influencias directas () que represente completamente la dinámica del sistema.

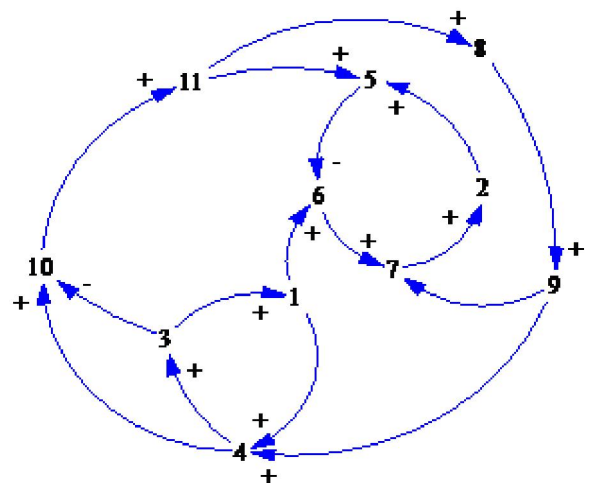


Figura 3. Esquema genérico de un diagrama causal
Fuente: Elaboración propia

Este proceso ofrece una ventaja al investigador dado que permite conocer de antemano las relaciones más importantes entre las variables del sistema por lo que se facilita el entendimiento del mismo y una más ágil construcción del diagrama causal asociado a dicho sistema.

El proceso de identificación de las relaciones entre las variables, algunas de ellas no tan evidentes a simple vista, es bastante útil para conocer la estructura del sistema, sustentado en el análisis de los expertos y la información disponible durante el proceso, garantizando de esta manera una solución confiable acorde con el objetivo planteado para el desarrollo del proceso (selección de variables y construcción del diagrama causal).

Como puede deducirse del procedimiento descrito, la idea central es ofrecer una alternativa que ayude a la selección de variables y la identificación de las principales interrelaciones existentes entre un conjunto de variables, de manera que sirva de apoyo en la construcción del diagrama causal para describir un sistema determinado, además de poner en relieve las bondades que ofrece el análisis estructural para lograr una adecuada y completa comprensión del sistema.

A continuación se presenta el caso de la televisión digital interactiva y su entrada en funcionamiento en la comunidad del área metropolitana de Medellín (Colombia).

III. CASO DE ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ESENCIALES Y CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA CAUSAL EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Dado que Colombia está en proceso de transición de televisión análoga a televisión digital [55] y teniendo en cuenta que la televisión es el medio de mayor penetración en los hogares a nivel mundial: Europa occidental (95%) [56], Norteamérica (99%) [57], China (89%) [56], Suramérica (85%) [56]; Colombia (88%) [58] y específicamente para de Medellín, el porcentaje de hogares con televisión es del (94%) sobre más de dos millones de habitantes [58]; entender el proceso de acceso y uso de la televisión digital sus posibilidades de interactividad para Medellín y su área metropolitana, resulta de interés para comprender cómo la nueva tecnología puede impactar a la sociedad que la recibe, considerando los diversos factores que intervienen (técnicos, económicos, sociales, contenidos).

Especialmente lo relacionado con la interactividad, es de particular interés dado que es esta característica llamada a cambiar el paradigma de pasividad respecto a la televisión convencional y puede significar una transformación en la forma como las personas participan e interactúan entre sí.

3.1. Selección de variables

Cómo se ha mencionado anteriormente, la selección de variables y construcción de hipótesis dinámicas constituyen

un elemento fundamental para validar un modelo con Dinámica de Sistemas, dado que aumentan el grado de certeza de haber incluido de una forma menos sesgada, las variables y las interrelaciones entre ellas que afectan en mayor medida la dinámica del sistema.

Es por lo anterior que se trabajó conjuntamente con un grupo de expertos en diferentes áreas: Ingeniería, ciencias de la comunicación e innovación, pero que en su profesión están vinculados a temáticas asociadas a la televisión, para desarrollar el proceso de identificación, selección, evaluación y clasificación de variables que permita desarrollar un modelo causal para comprender mejor el comportamiento de los diferentes factores que componen el sistema, ante la entrada de la televisión digital interactiva.

Con el grupo de expertos se realizó el proceso de análisis estructural para la identificación, selección y evaluación de las variables.

En la figura 4, se puede observar que las variables de poder en el sistema son completamente diferentes para cada experto, se comparten algunas variables de respuesta entre el experto de tecnología y el experto en desarrollo, en cuanto a las variables autónomas hay coincidencia entre pares de expertos (tecnología-desarrollo, desarrollo-comunicación y tecnología-comunicación) y finalmente, sólo en algunas variables de enlace hay coincidencia para los tres expertos.

	Variables de Poder	Variables de Enlace	Variables Respuesta	Variables Autónomas
EXPERTO 1 (TECNOLOGÍA)	▲	■	■	■
EXPERTO 2 (DESARROLLO)	◆	■	■	■
EXPERTO 3 (COMUNICACIÓN)	●	■		■

Figura 4. Clasificación de variables, de acuerdo con el tipo de experto
- Fuente: Elaboración propia

El resultado de la calificación individual de cada experto como puede verse en la figura 4, permite observar que hay una evaluación sesgada de acuerdo con la visión que le permite su disciplina y actividad, producto del reduccionismo que se aplica a la mayoría de las actividades del ser humano [59].

El análisis estructural lo que logra es un consenso de expertos que disminuye el reduccionismo, confrontando los modelos mentales individuales (figura 4), lo cual permite aumentar la probabilidad de éxito en la formulación de políticas y estrategias, que elaboradas de manera sistémica, permite una visión más completa e imparcial de los diferentes factores presentes en el sistema, además que se pueden brindar mejores posibilidades para la comprensión del sistema.

La valoración por consenso entre los expertos, permite mediante el proceso que se lleva a cabo en el software MICMAC, identificar el rol que cumplen las diferentes variables con relación con el proceso de acceso y uso de la televisión digital interactiva en el contexto analizado, observando en las variables el tipo de influencia o dependencia que ejercen sobre las demás variables del sistema, pero ahora con una mirada conjunta y consensuada del grupo de expertos sobre todos los factores del modelo del caso de la televisión digital interactiva como se aprecia en la figura 5.

La ubicación de las variables expuestas en la figura 5 permite clasificarlas en variables de poder, variables de enlace, variables respuesta y variables autónomas, tal como se describen a continuación:

- Variables de poder: QoS (Calidad del servicio), Precio del dispositivo y Tipo de tecnología.

- Variables de enlace: Nivel de interactividad, Cambio tecnológico, Contenidos de interés, Valores emocionales y afectivos, QoE (Calidad de la experiencia), Formas de participación, Precio de la interactividad, Hábitos de uso, Utilidad percibida, Estrategias de comercialización.
- Variables resultado: Alfabetización Digital, Difusión boca-boca, Interés de compra, Publicidad pagada.
- Variables autónomas: Cobertura educativa, Ingreso disponible, Competencia, Infraestructura tecnológica.

De acuerdo con su ubicación en el plano, del grupo de variables autónomas, se descartaron para el modelo las variables: Cobertura educativa e Ingreso disponible, por su ubicación distante en el plano de la figura 5.

Posteriormente se obtiene el gráfico de influencias directas correspondiente a las interrelaciones existentes entre las variables del caso de estudio (figura 6).

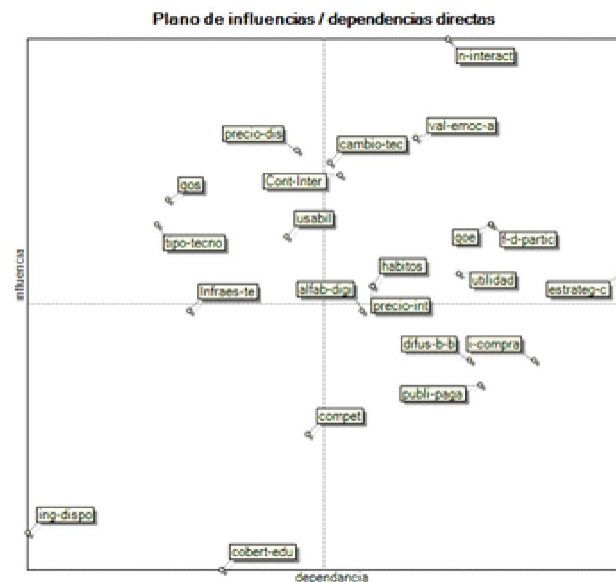


Figura 5. Plano de influencia/dependencia de variables - Caso de estudio iTV - **Fuente:** Resultados MICMAC®

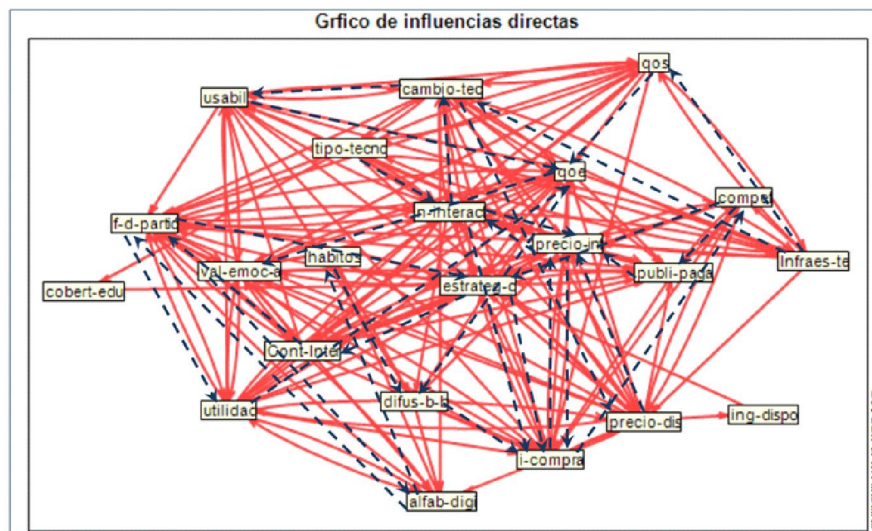


Figura 6. Gráfico de influencias directas - Caso de estudio iTV - **Fuente:**Elaboración propia a partir de resultados MICMAC®

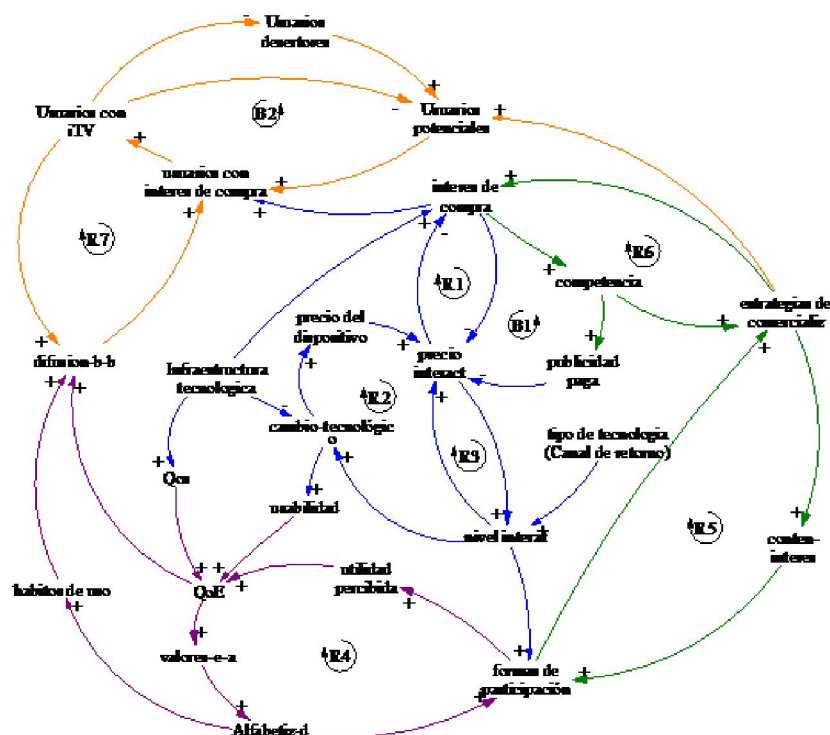


Figura 7. Diagrama causal caso de estudio - Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico de influencias directas, se realizó el análisis correspondiente a las relaciones que allí se presentan (flechas punteadas de la figura 6) siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 3.2, para construir el diagrama causal (figura 7) fundamentado en la opinión de los expertos consultados, el cual representa los procesos dinámicos asociados al acceso y uso de la televisión digital interactiva en el área metropolitana de la ciudad de Medellín.

El resultado obtenido del proceso de análisis del diagrama de influencias directas (figura 6) ilustra el comportamiento del sistema que relaciona los diversos factores asociados a la televisión digital interactiva, e involucra aspectos económicos, sociales y tecnológicos.

En el diagrama causal de la figura 7 se pueden observar unos bucles y ciclos de realimentación entre las variables, los que indican un comportamiento dinámico en el sistema, los cuales se describen a continuación.

Ciclo de refuerzo R1: Está dado por la relación mutuamente negativa entre *interés de compra* y *precio de la interactividad*, el cual estará limitado por el comportamiento de los usuarios ante las condiciones de oferta y demanda del mercado.

Ciclo de refuerzo R2: Relaciona las variables *precio de la interactividad*, *nivel de interactividad*, *cambio tecnológico* y *precio del dispositivo*, donde los cambios incrementales en una variable afectan positivamente en la siguiente, desencadenando más efectos positivos en las variables

involucradas, el cual a pesar de ser incremental, se tendrá restricciones ante la evolución de la tecnología y el acceso a la misma.

Ciclo de refuerzo R3: Relaciona las variables *precio de la interactividad*, *nivel de interactividad*, y de manera similar al ciclo R1, estará limitada a factores económicos.

Ciclo de refuerzo R4: Está íntimamente relacionado con los aspectos subjetivos de los usuarios y su reacción ante la televisión digital interactiva. Relaciona: *formas de participación*, *utilidad percibida*, *Calidad de la experiencia (QoE)*, *valores emocionales y afectivos* y la *alfabetización digital*.

Ciclo de refuerzo R5: En este ciclo, se muestra la relación que guarda la oferta con las posibilidad de interacción que pueden alcanzar los usuarios de los servicios de la televisión digital interactiva, reforzando los efectos que ejerce una variable sobre otra: *Estrategias de comercialización*, *contenidos de interés* y *formas de participación*.

Ciclo de refuerzo R6: Las variables que se relacionan en este ciclo de refuerzo: *Interés de compra*, *estrategias de comercialización* y *competencia*, muestran las interrelaciones que se dan desde el punto de vista de la competencia que se puede dar en un mercado con múltiples oferentes de servicios interactivos.

Ciclo de refuerzo R7: pone en evidencia el efecto de refuerzo positivo (*difusión boca a boca*, *usuario con interés de compra*, *usuarios con iTV*) que se da entre los usuarios de un sistema

para el acceso a un servicio mediante la comunicación de información de boca a boca.

Ciclo de balance B1: Las relaciones entre las variables (*competencia, publicidad paga, precio de la interactividad, interés de compra*) generan un efecto de estabilidad en el ciclo, gracias a la compensación que se genera por los efectos positivos y negativos que interactúan entre las variables involucradas.

Ciclo de balance B2: Las relaciones entre las variables (*usuarios potenciales, usuarios con interés de compra, usuarios con iTV y usuarios desertores*) tanto positivas como negativas, y la limitación física existente (cantidad de usuarios) genera que el ciclo alcance un punto de estabilidad al no tener más usuarios o se haya cubierto a los existentes.

Como se puede observar en el diagrama causal, el sistema es ampliamente dinámico y ofrece una visión amplia e incluyente de la televisión digital interactiva y los factores que son parte del sistema; concebido desde una mirada multidisciplinar mediante un análisis riguroso y exhaustivo de los diferentes factores involucrados.

V. CONCLUSIONES

La elección del método para la selección de variables e identificación de las hipótesis dinámicas, debe comenzar con un cuidadoso y riguroso análisis del problema, de manera que se consideren todos los factores que intervienen en su comportamiento y se reduzca el riesgo de cometer errores en su entendimiento, por lo que resulta destacable el resultado que se obtiene implementando el análisis estructural para la amplia y completa visión del problema.

El aporte de los expertos en el análisis estructural resulta bastante útil gracias al conocimiento que poseen de la situación o problema tratado, pero sobre todo al método de consenso al que se llega mediante una reflexión colectiva de la situación estudiada, lo cual genera suficiente confianza para tomar dichas apreciaciones con un alto grado de certeza y validez.

Las interrelaciones entre las variables que se presentan en el diagrama de influencias directas de MICMAC®, son bastante útiles para iniciar la construcción del diagrama causal ya que permite identificar de manera directa las relaciones de causalidad entre variables, con la ventaja que dichas relaciones están sustentadas en el análisis de los expertos y la información disponible durante el proceso, brindando así un alto grado de confiabilidad al diagrama causal construido.

El proceso llevado a cabo mediante el análisis estructural, además de facilitar la selección de variables y la identificación de las hipótesis dinámicas, permite a partir del plano de influencia/dependencia, identificar las variables que dentro de

la dinámica del sistema juegan un papel más importante, dado el efecto que sobre las demás variables del sistema puedan desencadenar ante un cambio en ellas. Facilitando al investigador dirigir las políticas y estrategias más convenientes en los puntos del sistema que pueden generar un mayor impacto.

Finalmente la utilización de un método determinado para la selección e identificación de las hipótesis dinámicas, dependerá de los objetivos definidos para la investigación, el conocimiento de los investigadores y la información disponible, que permita dar una solución óptima al problema abordado.

VI. AGRADECIMIENTOS

A Colciencias y al centro de excelencia ARTICA a través del macro proyecto: Sistema experimental de televisión interactiva (s-itv) diseñado para dar soporte con énfasis inicial al foco de educación, Subproyecto 5: Investigación e innovación en contenido e interactividad para la sociedad de la información y el conocimiento y los investigadores partícipes del mismo así como a la Universidad Pontificia Bolivariana.

REFERENCIAS

- [1] Industrial Dynamics. Forrester, Jay. Cambridge : MIT Press, 1961.
- [2] Sterman, John. Business Dynamics, Systems thinking and modelling for a complex world. Quebec : McGraw Hill, 2000. pág. 86. 007238915X.
- [3] Aracil, J. Introducción a la dinámica de sistemas. Madrid : Alianza Editorial, 1983. 8420680583.
- [4] Strategic Modelling and Business Dynamics. Strategic Modelling and Business Dynamics. Morecroft, John. Chichester, UK : John Wiley & Sons, 2007.
- [5] Duggan, J. Statistical Thinking Tools for System Dynamics. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA : s.n., 26-30 de July de 2009.
- [6] Linking event thinking with structural thinking: methods to improve client value in projects. Howick, S., Ackermann, F. y Andersen, D. 2, 2006, System Dynamic Review, Vol. 22, págs. 113-140.
- [7] Group Model Building: Problem Structuring, Policy Simulation and Decision Support. Andersen, D., y otros. 5, 2007, Journal of the Operational Research Society, Vol. 58, págs. 691-694.
- [8] Fokkinga, B., Bleijenbergh, I. y Vennix, J. Group model building evaluation in single cases: a method to assess changes in mental models. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA : s.n., 26-30 de July de 2009.
- [9] Gordon, T. The Delphi Method. Millennium Project, Futures Research Methodology. Washington : The United Nations University, 2003, págs. 1-30.
- [10] Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando dinámica de sistemas. Zartha, J.,

- Vélez, G. y Herrera, J. 2, s.l. : Universidad del Cauca, 2007, *Biología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, Vol. 5, págs. 118-125. 1692-3561.
- [11] La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Problemas y métodos. Godet, M., y otros. 2000, Cuaderno 5, *Prospektiker Futuribles*, UNESCO, España.
- [12] López, S., y otros. Modeling access to information and communication technology (ICT) for assessing a penetration policy. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 20-24 de July de 2008.
- [13] Evaluating system dynamics models of risky projects using decision trees: alternative energy projects as an illustrative example. Tan, B., y otros. 1, 2010, *System Dynamic Review*, Vol. 26, págs. 1-17.
- [14] Kopainsky, B. y Derwisch, S. Model-based exploration of strategies for fostering adoption of improved seed in West Africa. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [15] Godet, M., y otros. STRUCTURAL ANALYSIS with the MICMAC Method & Actors' Strategy with MACTOR Method. Whashington D.C. : A.M. Methodology, 2002.
- [16] Comisión Nacional de Televisión. Colombia ya tiene estándar de televisión digital terrestre: el europeo. [En línea] 28 de agosto de 2008. [Citado el: 13 de julio de 2010.] http://www.cntv.org.co/cntv_bop/noticias/2008/agosto/28_08_08.html.
- [17] International Telecommunication Union. Yearbook of statistics - Telecommunication Services - 1997-2006. Geneva : International Telecommunication Union, 2008. 92-61-12401-1.
- [18] US Census Bureau. Table 1105. Cable and Premium TV—Summary: 1980 to 2008. [En línea] 2008. [Citado el: 4 de julio de 2010.] <http://www.census.gov/compendia/statab/2010/tables/10s1105.pdf>.
- [19] DANE. Indicadores Básicos de Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC. Encuesta de Calidad de Vida 2003-2008. [En línea] 25 de Marzo de 2009. [Citado el: 15 de Agosto de 2009.] http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/bol_tic_09.pdf.
- [20] Rosental, M. y Ludin, P. *Diccionario Filosófico*. Cuba : Editora Política, 1984.
- [21] Abaunza, F. y Arango, S. A system dynamics model for the world coffee market. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [22] Group model building: adding more science to the craft. Andersen, D., Richardson, G. y Vennix, J. 2, 1997, *System Dynamic Review*, Vol. 13, págs. 187-201.
- [23] Scripts for group model building. Andersen, D. y Richardson, G. 2, 1997, *System Dynamics Review*, Vol. 13, págs. 107-129.
- [24] Astigarraga, E. El método Delphi. Prospectiva. [En línea] 3 de marzo de 2004. [Citado el: 3 de mayo de 2010.] <http://www.prospectiva.eu/curso-prospectiva>.
- [25] Application of system dynamics to corporate strategy: an evolution of issues and frameworks. Birdseye, H. 2007, *System Dynamic Review*, Vol. 23, págs. 137-156.
- [26] Empleo de la referenciación y el método micmac en la definición de estrategia individual y colectiva. Aplicación a las pymes del plástico de Cali, Colombia. Cano, C. 2004, *Ingeniería Industrial*, (Ing. Ind.), Vol. 25, págs. 43-53. 0258-5960.
- [27] A system dynamics-based simulation experiment for testing mental model and performance effects of using the balanced scorecard. Capelo, C. y Ferreira, J. 2009, *System Dynamic Review*, Vol. 25, págs. 1-34.
- [28] Demonstrating the utility of system dynamics for public policy analysis in New Zealand: the case of excise tax policy on tobacco. Cavana, R. y Clifford, L. 2006, *System Dynamics Review*, Vol. 22, págs. 321-348.
- [29] Integrating critical thinking and systems thinking: from premises to causal loops. Cavana, R. y Mares, E. 3, 2004, *System Dynamics Review*, Vol. 20, págs. 223-235.
- [30] Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect. Croson, R. y Donohue, K. 3, 2005, *System Dynamic Review*, Vol. 21, págs. 249-260.
- [31] Cruz, J. y Olaya, C. A system dynamics model for studying the structure of network marketing organizations. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 20-24 de July de 2008.
- [32] Demirezen, E. y Barlas, Y. A simulation model for bloodcholesterol dynamics and related disorders. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [33] Group model-building: tackling messy problems. Vennix, J. 4, 2000, *System Dynamics Review*, Vol. 15, págs. 379-401.
- [34] Improving model understanding using statistical screening. Taylor, T., Ford, D. y Ford, A. 1, 2009, *System Dynamic Review*, Vol. 26, págs. 73-87.
- [35] System dynamics modeling in the legal arena: meeting the challenges of expert witness admissibility. Stephens, C., Graham, A. y Lyneis, J. 2, 2005, *System Dynamics Review*, Vol. 21, págs. 95-122.
- [36] Sliskovic, M., Munitic, A. y Jelic-Mrcelic, G. Influence of variable catch factors on sardine population level in eastern Adriatic tested by System Dynamics. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 24 de July de 2008.
- [37] Rouwette, E., Hoppenbrouwers, S. Collaborative systems modeling and group model building: a useful combination? The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 20-24 de July de 2008.
- [38] Group model building effectiveness: a review of assessment studies. Rouwette, E., Vennix, J. y Mullekom, T. 1, 2002, *System Dynamic Review*, Vol. 18, págs. 5-45.
- [39] An interregional system dynamics model of animal disease control: applications to foot-and-mouth disease in the Southern Cone of South America. Rich, K. 1, 2008, *System Dynamics Review*, Vol. 24, págs. 67-96.
- [40] Gloucester Fishery: insights from a group modeling intervention. Otto, P. y Struben, J. 4, 2004, *System Dynamics Review*, Vol. 20, págs. 287-312.
- [41] Müller, M. y Ulli-Beer, S. Modeling the Diusion dynamics of a new Renovation Concept. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 20-24 de July de 2008.
- [42] Analyzing National Health Reform Strategies With a Dynamic Simulation Model. Milstein, B., Homer, J. y Hirsch, G. 5, 2010, *American Journal of Public Health*, Vol. 100.
- [43] Diffusion models of mobile telephony in Greece. Michalakelis, C., Varoutas, D. y Sphicopoulos, T. 2008, *Telecommunications Policy*, Vol. 32, págs. 234-245.
- [44] Aplicación de la dinámica de sistemas al modelado y simulación

- de las emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Cartagena de Indias. Menaca, C., Prieto, S. y Mena, A. 2009, Latinoamérica, una comunidad que aprende Dinámica de Sistemas y con Dinámica de Sistemas. 978-958-44-5902-2.
- [45] The electronic oracle: computer models and social decisions. Meadows, D. y Robinson, J. 2, 2002, System Dynamic Review, Vol. 18, págs. 271-308.
- [46] New product diffusion models in innovation management - a system dynamics perspective. Maier, F. 4, 1999, System Dynamics Review, Vol. 14, págs. 285-308.
- [47] System dynamics for market forecasting and structural analysis. Lyneis, J. 1, 2000, System Dynamics Review, Vol. 16, págs. 3-25.
- [48] Lychkina, N. y Shults, D. Simulation modeling of regions social and economic development in decision support systems. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. New Mexico, Albuquerque, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [49] Anatomy of a group model-building intervention: building dynamic theory from case study research. Luna-Reyes, L., Martínez-Moyano, I., y otros. 2006, System Dynamics Review, Vol. 22, págs. 291-320.
- [50] Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models. Luna-Reyes, L. y Andersen, D. 4, 2004, System Dynamic Review, Vol. 19, págs. 271-296.
- [51] In search of a mental model-like concept for group-level modeling. Kim, H. 3, 2009, System Dynamic Review, Vol. 25, págs. 207-223.
- [52] Khan, N. y McLucas, A. A Case Study in Application of Vee Model of Systems Engineering to System Dynamics Modelling of Dryland Salinity in Australia. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece :s.n., 2-24 de July de 2008.
- [53] Indian Implementation of Alternative Refrigerant Technology: A Dynamic Analysis. Karimi, N. y Haleem, A. 2007, Global Journal of Flexible Systems Management, Vol. 3, págs. 39-48.
- [54] Harbich, T. y Matheus, K. Business Dynamics Model for Market Acceptance Considering Individual Adoption Barriers. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [55] Expert knowledge elicitation to improve formal and mental models. Ford, D. y Sterman, J. 4, 1998, System Dynamics Review, Vol. 14, págs. 309-340.
- [56] Modelo del mercado de acceso banda ancha al servicio de internet residencial en Colombia: una aproximación desde la dinámica de sistemas. Flétscher, L. y Gallón, L. 7, 2009, Revista Educación en Ingeniería, págs. 84-97.
- [57] Models for management of wildlife populations: lessons from spectacled bears in zoos and grizzly bears in Yellowstone. Faust, L., y otros. 2, 2004, System Dynamics Review, Vol. 20, págs. 163-178.
- [58] Erdil, N. Simulation modeling of electronic health records adoption in the U.S. healthcare system. The 27th international conference of the system dynamics society. Albuquerque, New Mexico, USA :s.n., 26-30 de July de 2009.
- [59] A basis for understanding fishery management dynamics. Dudley, R. 2008, System Dynamic Review, Vol. 24, págs. 1-29.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Facultad de Minas



Escuela de Ingeniería de Sistemas

Grupos de Investigación

Grupo de Investigación en Sistemas e Informática

Categoría A de Excelencia Colciencias
2004 - 2006 y 2000.

GIDIA: Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial

Categoría A de Excelencia Colciencias
2006 – 2009.



Grupo de Ingeniería de Software

Categoría C Colciencias 2006.

Grupo de Finanzas Computacionales

Categoría C Colciencias 2006.



Centro de Excelencia en Complejidad

Colciencias 2006

Escuela de Ingeniería de Sistemas
Dirección Postal:
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8A
Facultad de Minas. Medellín - Colombia
Tel: (574) 4255350 Fax: (574) 4255365
Email: esistema@unalmed.edu.co
<http://pisis.unalmed.edu.co/>

