

# LA EXPANSIÓN DEL CANAL DE PANAMÁ: ANÁLISIS UTILIZANDO UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS\*

**Luis Carlos Rabelo, Ph. D.**

lrabelo@mail.ucf.edu

*Universidad de la Florida Central*

**Humberto R. Álvarez A., Ph. D.**

humberto.alvarez@utp.ac.pa

**Darío Solís**

dario.solis@utp.ac.pa

*Universidad Tecnológica de Panamá*

**Arnoldo Cano**

arcano@pancanal.com

*Autoridad del Canal de Panamá*

## Resumen

*La expansión del Canal de Panamá va a ser el proyecto de inversión en infraestructura más grande desarrollado por la República de Panamá en sus cien años de vida independiente. El objetivo de este estudio de simulación es el de utilizar el proyecto de expansión del Canal de Panamá para desarrollar y demostrar el proceso de decisión en un sistema complejo y desarrollar un modelo que ayude a entender el efecto de diferentes aspectos económicos, sociales y políticos relacionados con esta magna obra. Los mayores retos de este proyecto de investigación incluyen el desarrollo de las expresiones paramétricas que explican las relaciones que lo rigen, así como la dinámica de dichas relaciones y la validación del modelo.*

*Palabras clave:*

*Dinámica de Sistemas, sistemas complejos, Canal de Panamá, toma de decisiones.*

\* Este trabajo fue presentado originalmente en el Industrial Engineering Research Conference celebrado en Orlando, Florida, en mayo del 2006, el que fue desarrollado gracias al financiamiento parcial de la Secretaría Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación de la República de Panamá y al apoyo de la Universidad Tecnológica de Panamá, de la Universidad de la Florida Central y de la Autoridad del Canal de Panamá.

## Introducción

Tal y como se aprecia en la figura 1 [1], el Canal de Panamá es un sistema de navegación de 80 km de largo, que permite que las naves transiten de un océano a otro, a través del Istmo de Panamá, todo esto gracias a un conjunto compuesto por canales y esclusas, alimentados por el lago Gatún, a 30 metros sobre el nivel del mar. El tránsito a través de canal toma entre 8 y 10 horas, sin tomar en cuenta el tiempo de espera en la entrada al mismo.



Figura 1. El Canal de Panamá.

Desde su construcción en 1914, el Canal de Panamá ha sido un elemento clave en la industria marítima y de transporte mundial. En la actualidad maneja alrededor del 4% del comercio mundial [2], y es un importante competidor en algunas de las rutas de transporte de importancia. Por ejemplo, el Canal actualmente maneja sobre el 15% del comercio marítimo de los Estados Unidos y más del 25% de la carga en contenedores entre el norte de Asia y la Costa Este de los Estados Unidos [2]. Para la República de Panamá, el canal ha generado, en especial, el crecimiento de las ciudades terminales de Panamá y de Colón, con el desarrollo de un conglomerado de servicios correlacionados y de industrias que rodean el canal, incluyendo puertos de trasbordo, ferrocarriles, venta y abastecimiento de combustible, reparaciones de naves, actividades bancarias, seguro y turismo, entre otros.

El Canal de Panamá ha estado sujeto a gran presión debido a los cambios en la industria marítima. Cambios en tendencias del transporte,

incluyendo la utilización creciente de contenedores y los servicios que envían con las rutas fijas y los itinerarios, han estado presionando el canal por más capacidad y servicios más confiables, reduciendo los tiempos de espera y de tránsito. Al mismo tiempo, el incremento en naves que no pueden transitar por el Canal, en especial en el segmento de contenedores, presionando por modernizar y expandir sus esclusas y facilidades para minimizar el número de tránsitos y la cantidad de carga a través del mismo.

## Situación actual del Canal de Panamá

En la actualidad, el Canal de Panamá está operando en aproximadamente 90% de su capacidad sostenida [2, 3], lo que limita su habilidad y capacidad para proveer un servicio de calidad y a la vez captar la demanda creciente en los próximos 5 a 10 años. Adicionalmente, los operadores portuarios en ambos lados del Canal están invirtiendo grandes y millonarias sumas de dinero con el fin de aumentar su capacidad de almacenamiento de carga y atención a barcos tipo Postpanamax, que no pueden transitar por el Canal.

Debido a esas presiones, la Autoridad del Canal de Panamá ha propuesto un proyecto de expansión, conocido como el Tercer Juego de Exclusas. El proyecto consistiría en dos juegos nuevos de esclusas paralelas a las existentes, una en el océano Atlántico y otra en el océano Pacífico, con capacidad para manejar buques de gran calado que en la actualidad no pueden transitar por el Canal. Adicionalmente, la Autoridad del Canal de Panamá está considerando el uso de un sistema de tinas de reutilización de agua, de tal manera que consumirían menos agua que las actuales.

Sin embargo, la decisión de expandir el Canal de Panamá depende, por mandato constitucional, de un referéndum nacional a fin de decidir el futuro de dicho proyecto. Debido a esto, han surgido diferentes grupos de interés. Los grupos que apoyan la ampliación del Canal de Panamá lo hacen basándose en la contribución de dicho canal a la economía panameña. De acuerdo con la Contraloría General de la República [5], el canal ha estado creciendo de manera significativa en los últimos diez años, contribuyendo notablemente a la economía del país. Por ejemplo, los aportes del Canal de Panamá al gobierno nacional han sido de sobre 1 billón de dólares. Adicionalmente, por cada dólar que el Canal genera, los sectores económicos que apoyan al Canal generan US\$1,25. Debido a que el proyecto de expansión doblaría la capacidad del Canal,

su impacto sobre la economía sería mucho mayor. De igual manera, durante los 8 años estimados de construcción, la generación de empleos, además de otros impactos sociales, serían de gran importancia.

Por otro lado, grupos que se oponen al proyecto de ampliación arguyen elementos que van desde un costo demasiado elevado del proyecto, el cual se estima en US\$ 5,25 billones, otros grupos adversos lo estiman en US\$25 billones, hasta problemas ambientales y de uso de agua, así como riesgos tecnológicos del proyecto.

Dado que este proyecto de expansión sería una de las obras de infraestructura más importantes desarrolladas en Panamá desde la construcción del propio canal, su objetivo fue el de desarrollar un modelo que permitiera entender el efecto que las diferentes variables involucradas en el proyecto de ampliación tienen en los elementos relacionados a una obra tan compleja. A fin de lograr dicho objetivo, se desarrolló un modelo sistémico mostrando diferentes relaciones y efectos del proyecto de ampliación, no solamente desde un punto de vista económico, sino también desde un punto social y ambiental.

La tarea inicial fue estudiar el impacto del proyecto de ampliación del Canal de Panamá en términos de teorías de sistemas complejos, y desarrollar un modelo que explicara el impacto de las decisiones políticas, sociales, ambientales y económicas relacionadas a dicho megaproyecto.

Con el objetivo de cumplir con las metas deseadas, se utilizó la dinámica de sistemas como herramienta, a fin de describir las variables y relaciones de dicho sistema complejo. La dinámica de sistemas se ha identificado como un enfoque que permite introducir estructuras dinámicas a aspectos complejos del proceso de toma de decisiones [6, 7, 8, 9].

Como parte del desarrollo del modelo, se prestó especial atención al proceso de validación del modelo. La validación de un modelo de dinámica de sistemas tiene que ver con dos criterios muy importantes [10, 11, 12, 13]. Primero, el modelo debe generar comportamientos que no difieran significativamente de aquellos del sistema real por modelar. Segundo, se dice que un modelo puede explicar el comportamiento de un sistema si refleja las relaciones causales de este. En consecuencia, el grado de utilidad del modelo dependerá más del usuario que de la persona que lo desarrolle.

Con el fin de desarrollar el modelo, se utilizó la metodología Compram. Esta metodología se desarrolló con el objetivo de manejar y modelar, de manera adecuada, los problemas sociales complejos. Un problema social complejo se puede definir como un problema de la vida

real, que presenta comportamientos dinámicos. La metodología define un marco prescriptivo que permite analizar, guiar y predecir problemas sociales complejos y, comprende las metaetapas que debe seguir por un equipo multidisciplinario con el objetivo de definir, describir y resolver problemas complejos de dinámica de sistemas. Para mayor información véase la página web indicada en la nota [1].

## El modelo

Aunque este documento no entrará en detalles en el proceso de modelado, si es importante aclarar que a lo largo de este trabajo de investigación se realizaron reuniones con diferentes actores dentro de los sistemas que componen el Canal de Panamá: colaboradores de la Autoridad, usuarios, campesinos, economistas, sociólogos, etcétera. Debido a que mucha de la información necesaria era confidencial al momento de escribir el modelo original, se procuró aproximar la información presentada con el fin de que permitiera describir los comportamientos esperados del modelo.

La figura 2 presenta el diagrama causal del modelo. Esta figura muestra que a medida que los tránsitos aumentan, las utilidades debido a los peajes también aumentan. Por otro lado, el incremento en los tránsitos requiere una mayor capacidad operativa, que requiere, a su vez, inversiones de los ingresos del Canal, lo que a su vez disminuye el aporte social de este.

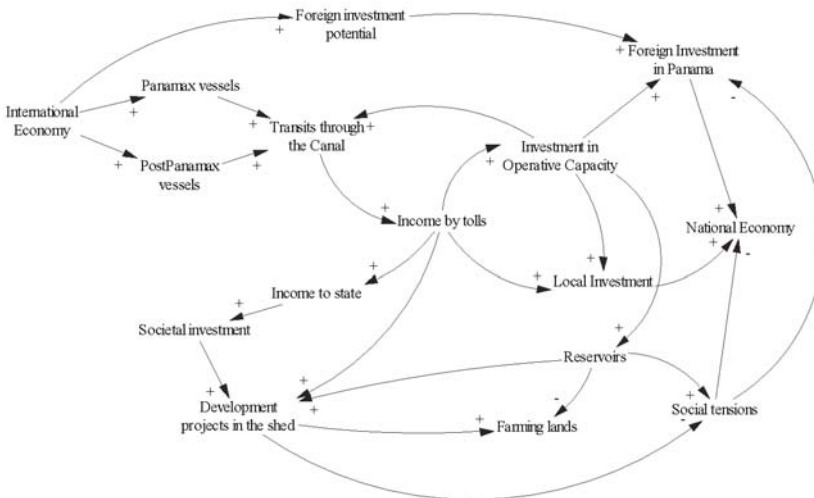


Figura 2. Modelo Causal [15].

Adicionalmente, un aumento en la capacidad operativa del Canal requerirá mayor cantidad de agua, lo que a su vez reduce la disponibilidad de tierras existentes en las riveras del Canal disminuyendo las posibilidades de aumentar los cultivos locales, creando tensiones sociales en el área, lo que afecta internacionalmente la imagen de Panamá, afectando a su vez los tránsitos por el Canal.

A partir del modelo causal, se desarrollaron dos submodelos dinámicos. Así, la figura 3 muestra el modelo dinámico de la operación, donde se aprecian variables como ingresos netos en función al tipo de tránsitos, tonelaje que atraviesa el canal y costos operativos, así como la inversión social, que por ley no puede ser menor que el 10 por ciento de los ingresos netos del Canal.

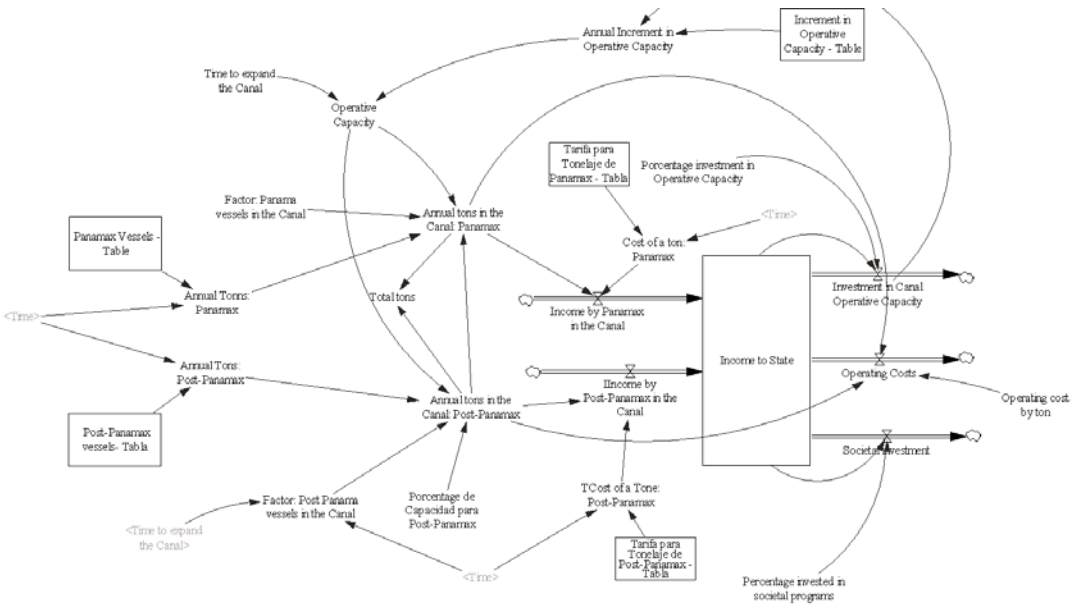


Figura 3. Modelo dinámico de las relaciones [15].

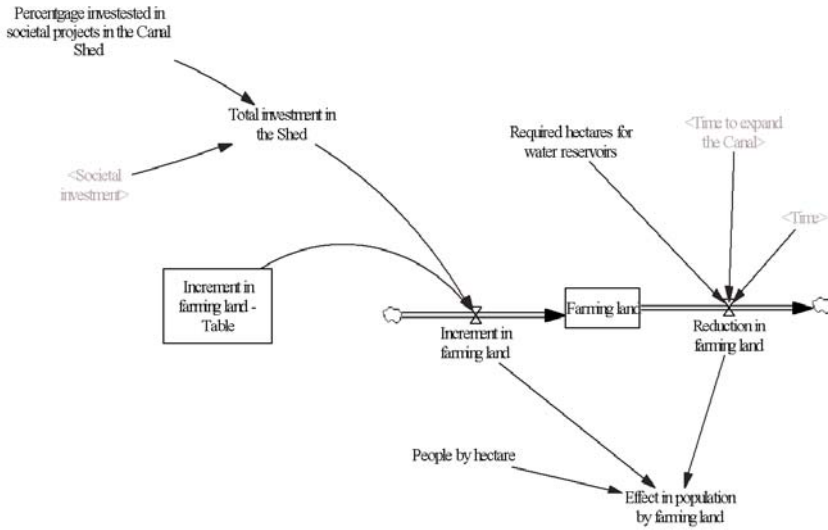


Figura 4. Submodelo correspondiente a los embalses [15].

La figura 4 muestra el submodelo correspondiente a los embalses. Como se aprecia la cantidad de tierra disponible está en función de la inversión social en la cuenca y de la cantidad de agua necesaria para la operación del canal, variable que depende a su vez del tiempo para la expansión. En este punto, es importante explicar que dicha variable es una variable de control para modelar los diferentes escenarios del modelo. Así, siendo el tiempo de simulación del modelo 25 años, se considerará entonces que tiempos menores de 25 años representarán un escenario con ampliación, mientras que mayores de esta cifra modelarán el escenario de no expansión. La tabla 1 muestra con mayor detalle los supuestos del modelo.

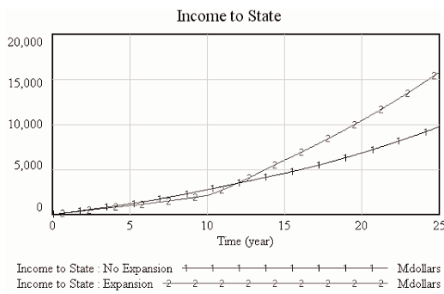
Tabla 1.  
Supuestos del Modelo

	Escenarios	
	Expansión	No Expansión
Tiempo para la expansión	10 años	100 años
Porcentaje de inversión en capacidad operativa	15% del ingreso anual	5% del ingreso anual

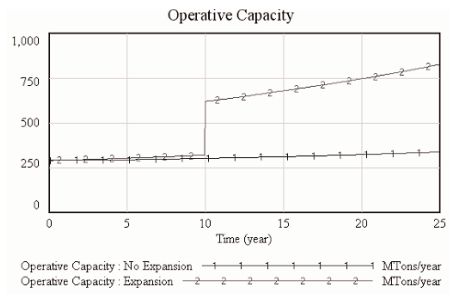
Se supone que el 15 por ciento de la inversión en capacidad operativa está en función a la necesidad del Canal de cubrir sus costos de ampliación. El 5 por ciento está en función de mejoras para aumentar de manera incremental y limitada la capacidad del Canal.

Se hicieron varias corridas del modelo con el fin de poder corroborar los comportamientos en función a la experiencia de funcionarios de la Autoridad del Canal de Panamá y de otros actores relevantes en la investigación, quedando de manifiesto que los comportamientos generados bajo información básica inicial eran similares a lo que la experiencia indicaba.

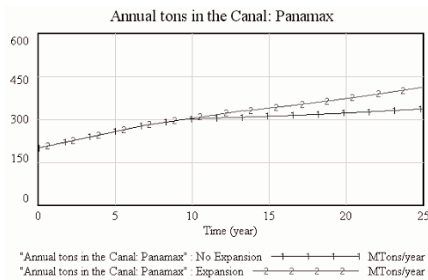
La figura 5 muestra los resultados obtenidos para los escenarios modelados. La figura 5a muestra que durante los cinco primeros años



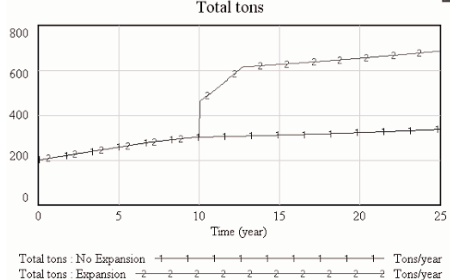
5a



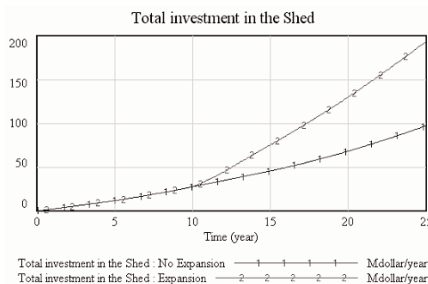
5b



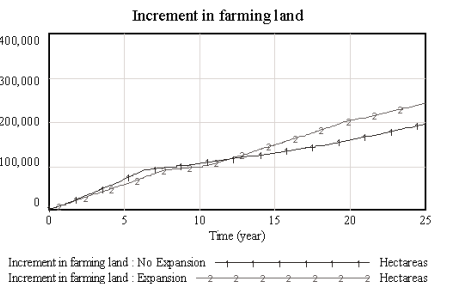
5c



5d



5e



5f

Figura 5. Resultados del modelo [15].



de operación, el ingreso acumulado bajo el escenario de expansión será menor que bajo el de no expansión. Esto es de esperarse, ya que durante este tiempo el Canal estará bajo el proyecto de expansión, que debe cubrirse con su propio flujo de caja, resultante de las operaciones del Canal actual. A través del tiempo, el incremento en tonelaje, tal y como lo muestra la figura 5b, generará suficientes ingresos para compensar, y superar los gastos iniciales.

Las figuras 5c y 5d muestran cómo las tendencias en los tránsitos estarán en función de los escenarios modelados. De ocurrir la expansión, habrá un incremento rápido de las toneladas transportadas por buques Postpanamax, mientras que las toneladas transportadas por buques Panamax tiende a estabilizarse. Por el contrario, de no producirse la expansión, la cantidad de toneladas transportadas crecerá de manera limitada en función a la capacidad disponible del Canal.

Finalmente, las figuras 5e y 5f muestran que, contrariamente a lo que se pudiera creer, la inversión social en la cuenca del Canal incrementará la probabilidad de proyectos de desarrollo, lo que requerirá de mayor cantidad de tierra cultivable que competirá con los embalses que se requerirían. Esta tierra sería tomada de otras áreas limítrofes a la cuenca y sería necesario generar políticas de conservación con el fin de controlar la deforestación.

En conclusión, bajo los escenarios, el contexto y suposiciones hechas, la expansión del Canal parece favorable, ya que lejos de provocar conflictos, traería progreso, en especial en la cuenca del Canal, que es la más sensible a las tensiones sociales por estar directamente bajo el área de influencia operativa de este.

## Futuros trabajos

Aunque el modelo fue validado originalmente por personal de la Autoridad del Canal de Panamá y otros actores relevantes del proyecto, es necesario desarrollar varias actividades de seguimiento. Primero, se debe correr el modelo con datos reales provenientes del Canal y otras fuentes importantes. Segundo, es necesario generar modelos relevantes sobre el impacto de otros factores en aspectos tales como la economía panameña y el comercio internacional. Finalmente, hay que profundizar más en el submodelo de impacto o tensión social con el fin de poder predecir posibles comportamientos que afecten el proyecto en un futuro.

Nota: El domingo 22 de octubre del 2006 fue aprobado, mediante referéndum nacional, el proyecto de ampliación del Canal con una amplia mayoría del 78 por ciento de los votantes a favor de dicho proyecto. Para mayor información véase la página web del Canal de Panamá: <<http://www.pancanal.com>>.

## Notas

- El Canal de Panamá <[http://www.bbc.co.uk/spanish/panama/panama\\_main.stm](http://www.bbc.co.uk/spanish/panama/panama_main.stm)> (16 de octubre del 2006).
- Panama Canal Authority, Maritime Authority of Panama, 2005. "Almost Full Capacity". *Panama Maritime Handbook 2005/6*, 7-13.
- Lozano, L., 2005. "Still Going Strong", *The Journal of Commerce*, Vol. 6, Issue 48, November 28, p. 24.
- Franzese, L. A., Abdenur, L. O., Starks, D., Botter, R. C., and Cano, A., 2004. "Simulating the Panama Canal, Present and Future," Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 1835-1838.
- Sandoval, Y. 2005. "The Dilemma of the Expansion Costs," *Martes Financiero. La Prensa*, 409, January 17, pp. 24-28.
- Winch, G. 1998. "Dynamic visioning for Dynamic Environments," *Journal of the Operational Research Society*, 49(4), 354-361.
- Forrester, J. W., 1961. *Industrial Dynamics*, The M. I. T. Press – Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc., U. S. A.
- Giaglis, G. M., 2001. "A Taxonomy of Business Process Modeling and Information Systems Modeling Techniques," *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 13(2), 209-228.
- Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, New York.
- Klabbers, J. H. G., 2000. "Learning as Acquisition and Learning as Interaction," *Simulation & Gaming*, 31(3), 380-406.
- Dutta, A., and Roy, R., 2002. "System Dynamics," *ORMS Today*, 29(3), 30-35.
- Wittenberg, J., 1992. "On the Very Idea of a System Dynamic Model of Kuhnian Science," *System Dynamics Review*, 8(1), 21-33.

- Larsen, E. R., and A. Lomi, 1999. "Resetting the Clock: A Feedback Approach to the Dynamics of Organizational Inertia, Survival and Change," *Journal of the Operational Research Society*, 50(4), 406 – 221.
- DeTombe, D. J. 2001. *Compram, A Method for Handling Complex Societal Problems*. *European Journal of Operational Research* 128(2): pp. 266-261.
- Álvarez, H., Solís, D., Cano, A., Sarmiento, A., Rabelo, L., 2006. "Developing a Simulation Model for Complex Societal Decision Making Processes Using System Dynamics: The Expansion of the Panama Canal", *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference*, Orlando, Florida.