

Causal Analysis of the Interdependencies of the Critical Infrastructures of the Republic of Panama

Humberto R. Álvarez A., Ph. D¹., Evidelia Gómez, M. Sc.², Marta Moreno, M. Sc.³, Kadir Mark⁴ y Tomás Madrid⁵

¹Profesor de Ingeniería Industrial, Director del Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, humberto.alvarez@utp.ac.pa

²Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá, evidelia.gomez@utp.ac.pa

³Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Panamá Oeste, Universidad Tecnológica de Panamá, marta.moreno@utp.ac.pa

⁴Estudiante de Ing. Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, kadirm020756@gmail.com

⁵Estudiante de Ing. Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, tgmadrid1532@hotmail.com

Abstract- *The critical infrastructure are vital for the development of a growing economy and the public services offered by a nation. These permit the vital systems of a nation are responsive to the needs of the population. Over the last few years Panama has seen a growing problem in necessary infrastructure for the strategic operation of the nation. That said, when infrastructure is vulnerable to forces of nature or human activity, they then become critical infrastructure that once inter-related they affect the normal functioning of a nation. Critical infrastructure are systems and/or assets physical or virtual: the production of goods, roadways, telecommunications, etc. where their inoperability or destruction impact different public or private services. This document Paper? Proposes a dynamic analysis of the different elements that are influenced by the critical infrastructures using the analysis of social networks and the dynamic of systems.*

Key Words: *Critical infrastructures, social network analysis, systems dynamics.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.169>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Análisis causal de las interdependencias de las infraestructuras críticas en la República de Panamá.

Humberto R. Álvarez A., Ph. D¹, Evidelia Gómez, M. Sc.², Marta Moreno, M. Sc.³, Kadir Mark⁴ y Tomás Madrid⁵

¹Profesor de Ingeniería Industrial, Director del Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, humberto.alvarez@utp.ac.pa

²Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá, evidelia.gomez@utp.ac.pa

³Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Panamá Oeste, Universidad Tecnológica de Panamá, marta.moreno@utp.ac.pa

⁴Estudiante de Ing. Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, kadirm020756@gmail.com

⁵Estudiante de Ing. Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, tgmadrid1532@hotmail.com

Resumen- Las infraestructuras críticas son vitales para el desarrollo de una economía en crecimiento, y los servicios públicos de un país. Estas permiten que los sistemas vitales de una nación respondan a las necesidades de sus habitantes. En los últimos años se ha visto en Panamá una creciente problemática en infraestructuras necesarias para el funcionamiento estratégico del país. Ahora bien, cuando una infraestructura es vulnerable ante eventos naturales o del ser humano, entonces se convierten en infraestructuras críticas que al interrelacionarse unas y otras afectan el normal funcionamiento de un país. Las infraestructuras críticas son sistemas y/o activos físicos o virtuales: la producción de bienes, vías de acceso, las telecomunicaciones, etc. en donde su inoperatividad o destrucción impacta diferentes servicios públicos y privados. Este documento propone un análisis dinámico e integral de los diferentes elementos que se ven influenciados por las infraestructuras críticas utilizando el análisis de redes sociales y la dinámica de sistemas.

Es conocido por las grandes metrópolis urbanas que a medida que se da el crecimiento económico y poblacional de una región o de un país en esa misma medida crecen sus complejidades por servicios cada vez más eficientes. Las economías actuales requieren de estructuras de sistemas de servicios que garanticen el ritmo normal de sus actividades. Tales servicios dependen de infraestructuras que sirvan de soporte a estas actividades. La Ciudad de Panamá es un claro ejemplo de cómo ha evolucionado su dependencia de servicios, tanto público como privado, a medida que incrementa su actividad comercial acompañado de un acelerado crecimiento poblacional

Así, las infraestructuras urbanas son vitales para el desarrollo de una economía en crecimiento, y los servicios públicos de un país. Permiten que los sistemas vitales de una nación respondan a las necesidades de sus habitantes. A pesar de este notable crecimiento, estos sistemas que deben darle soporte al país se hacen cada vez más vulnerables. Son estos sistemas de infraestructuras críticas, activos vitales que son necesarios conocer y analizar con el fin de minimizar esa vulnerabilidad que los hace críticos. Cuando una

Palabras claves- Infraestructuras críticas, análisis de redes sociales, dinámica de sistemas.

Abstract- Urban infrastructures are vital for the development of a growing economy, and public services in a country. They allow the vital systems of a nation to respond to the needs of its inhabitants. In recent years Panama has been a growing problem in the infrastructure needed for the strategic running of the country. When any infrastructure is vulnerable to natural events or human being, they become critical infrastructures. When these critical structures interact they might affect the normal functioning of a country. Critical infrastructures are systems and/or physical or virtual assets: the production of goods, roads, telecommunications, etc., where its inability or destruction impacts various public and private services.

Keywords-- Critical Infrastructures, Social Network Analysis, Systems Dynamics.

I. INTRODUCCIÓN

infraestructura es vulnerable ante eventos naturales o del ser humano, entonces se convierten en infraestructuras críticas que al interrelacionarse unas y otras afectan el desarrollo de un país.

Panamá no escapa de las consecuencias de estas interacciones. Ejemplo de ello fue lo ocurrido en febrero del 2012, donde el cierre de la Carretera Panamericana, por representantes de pueblos originarios de la Comarca Gnöbe Bugle, provocó pérdidas millonarias, al paralizar el transporte de mercancías y personas desde Chiriquí y hacia Panamá, y al resto de Centro América por varios días. Otro caso fue el apagón generalizado en Febrero del 2013, causado por la quema de herbazales en un sector productivo del país, paralizando la planta potabilizadora de agua de Chilibre que abastece la capital del país y congestionando las líneas telefónicas; y otro caso más reciente en Julio de 2014, en donde la fuente para el agua potable el Río La Villa en Pesé, fue contaminada afectando más de 200,000 personas en las comunidades que se servía y al comercio de la región.

En los diferentes eventos mencionados, cualesquiera que hayan sido las causas que los originaron, se pudo constatar que Panamá no estaba preparada para afrontar estos eventos,

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.169>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability", 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

ni de forma preventiva ni en el manejo de la crisis. Por ejemplo, en el apagón del año 2013, la falta de electricidad produjo una reacción en cadena, que durante casi cuatro horas, mantuvo a la población en ascuas. El problema se agravó por la falta de agua en muchos hogares al no poder bombearse al agua, lo que agudizó la situación. Las redes de servicio eléctrico y del suministro de agua son infraestructuras críticas en todos los países del mundo; su interrupción genera un impacto de grandes proporciones en la seguridad, salud, bienestar personal y económico de los ciudadanos, incluyendo el eficaz funcionamiento de las instituciones del Estado y de la administración pública [1].

La literatura define a las infraestructuras críticas como sistemas y/o activos físicos o virtuales ([2], [3], [3], [4]): la producción de bienes, vías de acceso, las telecomunicaciones, etc. en donde su inoperatividad o destrucción impacta diferentes servicios públicos y privados.

Estas estructuras son fundamentales y necesarias para el funcionamiento normal de los servicios públicos básicos y los sistemas de producción. Así, cualquier interrupción no deseada tendrá graves consecuencias en la logística de suministros vitales o en el funcionamiento de los servicios esenciales, ocasionando graves perturbaciones en los sistemas económicos y sociales de cualquier país.

Dada esta connotación de carácter estratégico es necesario establecer los procedimientos preventivos y operativos para que, frente a cualquier contingencia, ya sea creada por el hombre o generada por fenómenos naturales, las consecuencias o impactos sean mínimos y no afecten el bienestar de la población. Por eso, la reiteración de señalar que la seguridad debe ser integral y multidimensional.

Otro aspecto importante a definir es el de activos claves. Los activos claves son infraestructuras individuales cuyo daño o destrucción pone en peligro sistemas vitales, pero pueden crear desastres locales [5]. También se pueden definir como facilidades o instalaciones individuales o localizadas que tienen especial valor para las comunidades, un potencial destructivo o de daños ambientales graves. Finalmente, se incluyen dentro de estos activos claves a aquellos activos o estructuras de gran valor moral, tradicional o comercial y que, por daños o destrucción pueden causar daños en la moral o confianza de la ciudadanía. En el primer caso se pueden mencionar ejemplos tales como hospitales, escuelas, tanques de agua, etc. En el segundo caso se pueden mencionar plantas químicas, centros de almacenamiento de combustibles o rellenos sanitarios. El último caso se refiere a monumentos históricos o edificios simbólicos.

De acuerdo a [6], en Panamá no se ha definido de manera clara cuáles son las infraestructuras críticas existentes, sin embargo observando estudios que se han hecho en otros países y la forma en que éstos clasifican los tipos de infraestructuras críticas en sus países, aplicando esos mismos conceptos en nuestro territorio es posible citar varios ejemplos de infraestructuras críticas que se encuentran en

Panamá, por ejemplo, el Canal de Panamá, las redes de información, las centrales y redes de energía eléctrica, el agua, monumentos históricos, los centros que almacenan mercancías peligrosas, los sistemas de información y comunicaciones, las infraestructuras de salud el transporte, la alimentación, el sistema financiero y tributario, entre otros. Un ataque o algún tipo de paralización en estas infraestructuras, generaría una catástrofe para nuestro país, pues pondría en juego la estabilidad y la confianza de la ciudadanía en el Estado para enfrentar estas amenazas.

Es importante que en Panamá se puedan definir las interrelaciones existentes entre estas infraestructuras, así como las interdependencias existentes de tal manera que se pueda analizar el conjunto de infraestructuras críticas como un sistema o conjunto de sistemas interconectados de manera compleja y dinámica. En investigaciones de campo realizadas, se pudo constatar que no existe en ninguna dependencia, un catálogo o listado de dichas infraestructuras o al menos no se ha hecho un trabajo integral para estandarizarlo.

Finalmente, la identificación y priorización de qué activos dentro de una infraestructura crítica son los más esenciales, o poseen el mayor peligro hacia vidas o propiedades si tienen alguna amenaza o son dañados, es importante a fin de poder definir no solamente los posibles problemas o disrupciones que se pudieran generar en los sistemas productivos, sino para poder definir estrategias de protección y mantenimiento efectivas. Esto es así porque no todos los activos, funciones y sistemas dentro de un sector de la infraestructura crítica son igualmente importantes. Por esa razón se hace este estudio que es la creación de un catálogo de infraestructuras críticas físicas, como primera etapa del área metropolitana, y en áreas críticas del país y un análisis de interrelación e interdependencias entre ellas para que sirva como preámbulo para futuras investigaciones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El estudio de las interdependencias entre infraestructuras críticas es un campo de investigación en pleno crecimiento debido más que nada, a la importancia que ganan cada vez las infraestructuras críticas en el mundo desarrollado y el efecto en cascada, que potenciales fallos en ellas puedan tener, afectando no solo a las redes de suministros, sino a la economía de un país o región [7]. Aun con el gran interés existente en la comunidad científica, el estudio de dichas interdependencias es todavía un gran reto ya que, de acuerdo a [8], muchas de las investigaciones existentes no consideran el efecto del tiempo (dinámica) sobre los sistemas y las relaciones.

Es posible definir diferentes categorías o dimensiones en las interdependencias entre infraestructuras críticas [9]. Estas dimensiones definidas en función a los tipos de interdependencias, ambiente, características de las

infraestructuras, respuesta, el tipo de fallo y estado de la operación.

Así, de manera general, los tipos de interdependencias se pueden definir como físicas, geográficas, cibernéticas y lógicas. Por otro lado, desde un punto de vista del ambiente y contexto de la infraestructura crítica las interrelaciones se pueden dar de acuerdo al tipo de negocio, políticas públicas, seguridad, salud, relaciones económicas, aspectos legales y regulatorios, sociales, técnicos y políticos.

De acuerdo a las características de la infraestructura, se puede hablar de interdependencias de tipo organizacional, operacional, espacial y temporal. Adicionalmente, desde el punto de vista del tipo de respuesta, esta interrelación se puede dar por la adaptabilidad o inflexibilidad de la relación, si la respuesta es lineal o compleja o si el grado de rigidez de la respuesta en función del ambiente. Finalmente, respecto al tipo de fallo, este puede ser por causas comunes, en cascada o que vaya escalando en el tiempo. Esto hace que se tome en cuenta también el estado de la operación, que puede ser normal, en estado crítico o en restauración.

Los responsables de las infraestructuras críticas normalmente entienden lo que se puede definir como relaciones de primer orden ([8], [9]) que son aquellas relaciones directas que existen entre las propias infraestructuras y otras infraestructuras. Por el contrario, debido a la complejidad de las relaciones existentes, muchas veces no entienden relaciones indirectas o de segundo orden, o interrelaciones de orden superior, que existen entre infraestructuras específicas, más que nada porque estas relaciones no son claramente vistas y porque muchas veces su efecto se ve a lo largo del tiempo.

Así, todas las infraestructuras críticas tienen una propiedad en común, y es que todas ellas son una colección de componentes que interactúan de manera compleja. En otras palabras son sistemas adaptativos complejos que forman redes conectadas en múltiples puntos de tal manera que existe una relación bidireccional entre los estados de cualquier par dado de infraestructuras, lo que puede definirse como un sistema técnico y social ([9], [10], [11]).

De acuerdo a lo anterior, las interacciones entre las infraestructuras críticas son similares, en muchos aspectos, a las interacciones entre individuos o entidades sociales [11]. Aspectos tales como intensidad de la relación entre entidades, direccionalidad de la comunicación y tipo de comunicación son alguno de los elementos comunes entre ambos sistemas.

Como resultado, es posible utilizar el Análisis de Redes Sociales (ARS) para analizar las interrelaciones de una red de infraestructuras críticas.

El ARS es una rama de las matemáticas aplicadas a las ciencias sociales que tiene como objetivo el análisis de organizaciones, enfocado en los tipos de relaciones más que en los individuos. El mismo se fundamenta en el análisis de matrices relacionales binarias, donde se muestran las relaciones existentes entre los diferentes actores de la red.

Así, en estas matrices, cada elemento x_{ij} se definirá como:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{si no hay relación entre } i, j \\ & \text{o } \forall i = j \\ 1, & \text{si dicha relación existe} \end{cases} \quad (1)$$

La figura 1 muestra un ejemplo de una red de interacciones entre actores individuales, donde se muestran relaciones entre individuos dentro de una red social. Los colores representan grupos de interés y el tamaño, la influencia que cada uno de ellos tiene dentro del grupo.

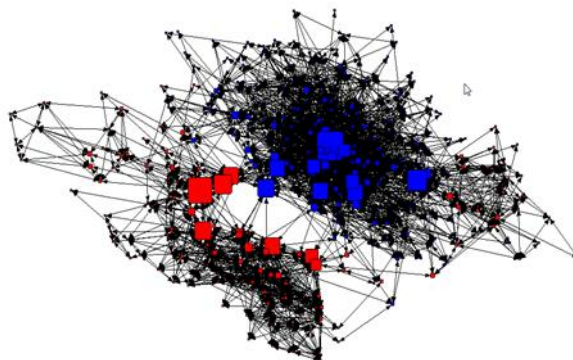


Fig.1 Relaciones dentro de una red social, [1]

Debido a que el objetivo del ARS es analizar personas y organizaciones donde el principal aspecto son las relaciones existentes entre personas o grupos, el comportamiento no lineal típico de los sistemas sociales complejos no es mostrado bajo este enfoque. A fin de resolver esta limitante, se propone una metodología de análisis utilizando Dinámica de Sistemas a fin de modelar la dinámica de las interrelaciones o interdependencias y su efecto a través del tiempo cuando ocurren situaciones críticas [12].

La Dinámica de Sistemas tiene como principal objetivo el de mostrar como los sistemas funcionan a través de tiempo a [13]. Se fundamenta en diagramas que delinean el flujo de información, actividades y decisiones, y sus influencias en los diferentes componentes del sistema, conocidos como Diagramas Causales de Lazo, los cuales representan las relaciones causa-efecto en sistema, e implican la retroalimentación y las relaciones existentes entre los elementos de toma de decisión, los resultados y la retroalimentación, mostrando de manera sencilla los modelos mentales acerca de las estructuras y las estrategias de los sistemas.

Así, de la información obtenida de los diagramas de interrelaciones, será posible construir un diagrama causal que permita ver los efectos de cada uno de los elementos analizados sobre el sistema total. En la figura 2 se muestra un diagrama causal de las interrelaciones de diferentes infraestructuras e instituciones en New Orleans cuando el Huracán Katrina en 2005 [14].

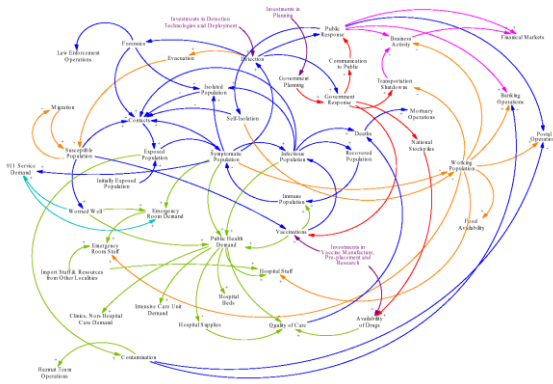


Fig.2 Relaciones causales entre infraestructuras críticas, [14]

pueden mostrar el comportamiento no lineal típico de los sistemas sociales complejos, se introducen los diagramas y modelos de flujos y acumulaciones, mostrando acciones y resultados como flujos que entran, salen y se acumulan a lo largo del tiempo.

III. METODOLOGÍA

Este proyecto nace bajo la proposición de que es posible representar y entender, a través del Análisis de Redes Sociales y Dinámica de Sistemas la dinámica de las interrelaciones existentes entre las infraestructuras críticas prioritarias en Panamá.

Para tal efecto, se han desarrollado una serie de encuestas que permiten definir las interrelaciones e interdependencias entre infraestructuras críticas en Panamá, utilizando como base un catálogo que se está desarrollando a partir de la definición de los aspectos contextuales del estudio por estudiantes de Ingeniería Industrial como parte de su trabajo final de grado.

Por ejemplo, se está desarrollando un estudio entre entidades dedicadas a ofrecer servicios públicos, así como agencias e instituciones dedicadas a la Gestión Integral de Riesgos y Desastres, Logística Humanitaria, Seguridad Pública y otras relacionadas a fin de determinar la existencia o no de información acerca de las infraestructuras críticas existentes en Panamá y definir las prioridades de ellas y definir el sistema coordinador de dichas redes. Este trabajo es parte de dos tesis doctorales que se están desarrollando bajo la tutoría del autor principal de esta investigación.

Como guía están revisando diferentes estudios previos en la literatura, por ejemplo, [15] presenta un estudio del estado del arte sobre interrelaciones y protección de infraestructuras críticas, donde presente una red de interrelaciones e interdependencias de las diferentes infraestructuras, pero enfocado al área de transmisión y distribución eléctrica, mientras que [16], permite complementar el enfoque de ARS dándole pesos objetivos a las relaciones entre infraestructuras, utilizando técnicas econométricas.

Se procura analizar diferentes grupos de infraestructuras críticas, agrupadas en función a sus objetivos, alcance nacional y grado de interrelación. La información recopilada a través de encuestas y entrevistas está siendo analizada utilizando el software UCINET [17], el cual es utilizado en su gran mayoría en los estudios encontrados ya que permite no solo hacer el análisis gráfico, sino el estadístico sin tener que cambiar de plataforma.

De la información obtenida de los diagramas de interrelaciones, será posible construir un diagrama causal que permita ver los efectos de cada uno de los elementos analizados sobre el sistema total. El análisis dinámico se hará utilizando el software Vensim PLE+ de Ventana Systems [18], el cual es un software de bajo costo y de gran capacidad de análisis.

IV. RESULTADOS PARCIALES

El avance del proyecto incluye, como primera etapa, el desarrollo de un catálogo de infraestructuras críticas, de acuerdo a lo definido en la literatura. Para tal efecto se está trabajando con un grupo de estudiantes para empezar con la Región Metropolitana, para después viajar al resto de las provincias.

Se están aplicando encuestas en diferentes instituciones como SINAPROC, Bomberos, Ministerio de Salud, etc., así como organizaciones como Cámara de Comercio, Sindicato de Industriales y APEDE, a fin de que listen, de acuerdo a sus prioridades, aquellas infraestructuras que ellos consideren críticas.

Junto a los estudiantes, se está trabajando con dos estudiantes doctorales, a fin de preparar las estrategias que se seguirán para implementar los análisis antes mencionados.

La información hasta ahora recopilada ha permitido generar algunos ejemplos utilizando la clasificación de infraestructuras sugerida por Chai (2011): TIC's, Electricidad, Agua, Combustible, Hospital, Finanzas, Alimentos, Transporte.

	TIC's	Electricidad	Agua	Combustible	Hospital	Finanzas	Alimentos	Transporte
TIC's	0	1	0	1	0	1	0	0
Electricidad	1	0	1	1	0	1	0	1
Agua	1	1	0	1	0	1	0	0
Combustible	1	1	1	0	0	1	0	1
Hospital	1	1	1	1	0	0	1	1
Finanzas	1	1	0	1	0	0	0	0
Alimentos	1	1	1	1	0	1	0	1
Transporte	1	1	0	1	0	1	0	0

Fig.3 Matriz de relaciones

La figura 3 muestra una sección de la matriz de relaciones resultante. En dicha matriz se muestran las interrelaciones

entre las diferentes clasificaciones y como los encuestados consideraron sus relaciones, tal que:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si no hay relación} \\ 1 & \text{si hay relación} \end{cases}$$

Con esta información se construye la red de interrelaciones mostrada en la figura 4, donde cada nodo representa una entidad o infraestructura crítica, y cada arco representa la existencia de una relación de dependencia directa entre las infraestructuras dadas.

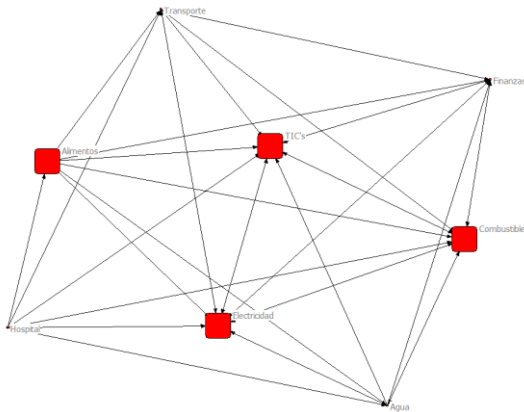


Fig.4 Red de interrelaciones

En dicha figura, el tamaño de los nodos indica el grado de cercanía, o importancia, que cada infraestructura tiene en la red. Se puede ver que la TIC's, alimentos, electricidad y combustibles son críticos en este análisis, lo que obliga a desarrollar políticas que garanticen el funcionamiento de todas estas infraestructuras.

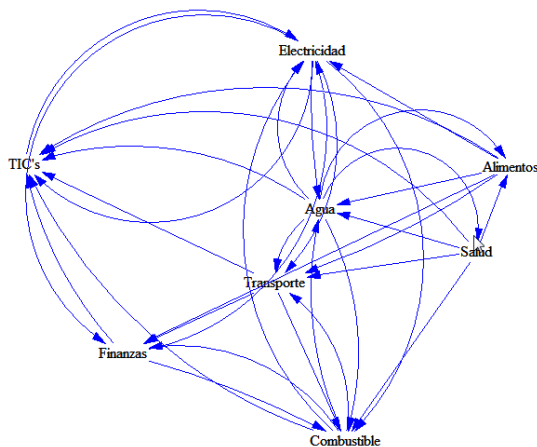


Fig. 5 Interrelaciones causales o de influencia entre infraestructuras críticas.

La figura cinco muestra una primera aproximación de las relaciones de influencias causales existentes entre las infraestructuras, mostrando solamente, las relaciones entre las filas y las columnas, lo que indica solamente las relaciones desde y no hacia las diferentes entidades.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En esta etapa del proyecto es posible concluir que existen interrelaciones e interdependencias claras entre infraestructuras críticas. Estas interrelaciones no son fáciles de ver en algunos casos de orden superior, donde se dificulta ver que efecto tiene una infraestructura en otra no directamente relacionada.

El uso de herramientas matemáticas y computacionales tales como el ARS y la Dinámica de Sistemas permiten ver de una manera sistémica estas interrelaciones y sus efectos dentro de un sistema altamente interconectado y complejo.

De acuerdo a la información recopilada en esta etapa, la infraestructura eléctrica (generación, transmisión y distribución) es altamente crítica, ya que afecta a todas las otras infraestructuras estudiadas. Sigue en importancia el combustible, TIC's y alimentos. En otras palabras, las personas que contestaron consideran que la falta de energía eléctrica afectaría el funcionamiento de todas las demás infraestructuras.

Como trabajo futuro queda por definir de manera más completa el catálogo de infraestructuras críticas, así como el de definir y validar las interrelaciones e interdependencias entre las infraestructuras que el estudio defina como prioritarias. Con estas relaciones definidas por los actores de este estudio, será posible entonces definir las relaciones dinámicas y el comportamiento en el tiempo si una de las relaciones se ve afectada. El Anexo 1, figura 6 muestra un ejemplo de las relaciones entre diferentes sistemas de estructuras críticas.

Finalmente, ver al país como un sistema de elementos interrelacionados y altamente complejos y complicados es uno de los elementos importantes en este proyecto, lo que permite analizar como este sistema País responde a planes de desarrollo, a la integralidad y sostenibilidad de sus recursos y al trabajo coordinado de todos ellos.

REFERENCIAS

- [1] H. Álvarez, E. Gómez y M. Moreno, «Análisis causal de las interdependencias de las infraestructuras críticas en la República de Panamá,» *Plus Economía - UNACHI*, vol. 1, n°

- 3, pp. 8-18, 2015.
- [2] Department of Homeland Security , «Homeland Security Presidential Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection,» 2003. [En línea]. Available: http://www.dhs.gov/xabout/laws/gc_1214597989952.shtm#0. [Último acceso: 3 3 2015].
- [3] C. Gómez Castro, D. Castiblanco Rey y M. Sánchez-Silva, «Aproximación integral a la evaluación y manejo de riesgos sobre la infraestructura urbana,» *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*, Vols. %1 de %2Enero-Junio, n° 31, pp. 84-96, 2010.
- [4] J. Moteff y P. Parfomak CCRS Report for Congress, Congressional Research Service The Library of Congress, «ritical Infrastructure and Key Assets: Definition and Identification,» 2004. [En línea]. Available: <http://www2.cs.uidaho.edu/~oman/R>. [Último acceso: 13 7 2015].
- [5] Caro Bejarano, M. J., Instituto Español de Estudios Estratégicos, «Documento de Análisis 021/2011, La Protección de las Infraestructuras Críticas,» 27 7 2011. [En línea]. Available: <http://www.analisisinternacional.eu/>. [Último acceso: 24 2 2015].
- [6] S. Mejía, «Infraestructuras críticas, impacto Social,» *La Prensa*, Tomado de http://imprensa.prensa.com/opinion/Infraestructuras-criticas-impacto-Severino-Mejia_0_3605639507.htm, 1 3 2013.
- [7] I. Eusgeld, C. Nan y S. Dietz, «“System-of-systems” approach for interdependent critical infrastructures,» *Reliability Engineering and System Safety*, n° 96, pp. 679-686, 2011.
- [8] A. Laugé, J. Hernantes y J. M. Sarriegi, « (2015). Critical infrastructures dependencies: A holistic, dynamic and quantitative approach, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, n. 8 enero, pp. 16-23.».
- [9] S. M. Rinaldi, J. P. Peerenboom y T. K. Kelly, « Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructures Interdependencies,» *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 11-25, 2001.
- [10] P. Senge, *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*, Estados Unidos: Doubleday, 1990.
- [11] C. L. Chai, X. Liu, W. J. Zhang y Z. Baber, «Application of social network theory to prioritizing Oil & Gas industries protection in a networked critical infrastructure system.v. 24, n. 5, pp.,» *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 24, n° 5, pp. 688-694, 2011.
- [12] B. Genge, I. Kiss y P. Haller, « A system dynamic approach for assessing the impact of cyber-attacks on critical infrastructures,» *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 10, n° September, pp. 3-17, 2015.
- [13] J. D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education., New York: McGraw-Hill Higher Education. , 2000.
- [14] P. Pederson, *Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research, United States.:* Idaho National Laboratories, U. S. Department of Energy, 2006.
- [15] J. Yusta, G. Correa y R. Lacal Arántegui, «Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art,» *Energy Policy*, vol. 39, n° 11, pp. 6100-6119, 2011.
- [16] P. Chen, C. Scowin, H. Matthews, G. Scott, H. James y K. Hendrickson, «Managing Critical Infrastructure Interdependence through Economic Input-Output Methods,» *Journal of Infrastructure and Systems*, n° September, pp. 200-210, 2009.
- [17] S. Borgatti, M. Everett y L. Freeman, *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis.*, Harvard, MA: Analytic Technologies., 2002.
- [18] Ventana Systems Inc., «Vensim PLE Software,» 2006. [En línea]. Available: Retrieved from the website: Open Educational Resources (OER) Portal en <http://www.temoa.info/node/3682>.

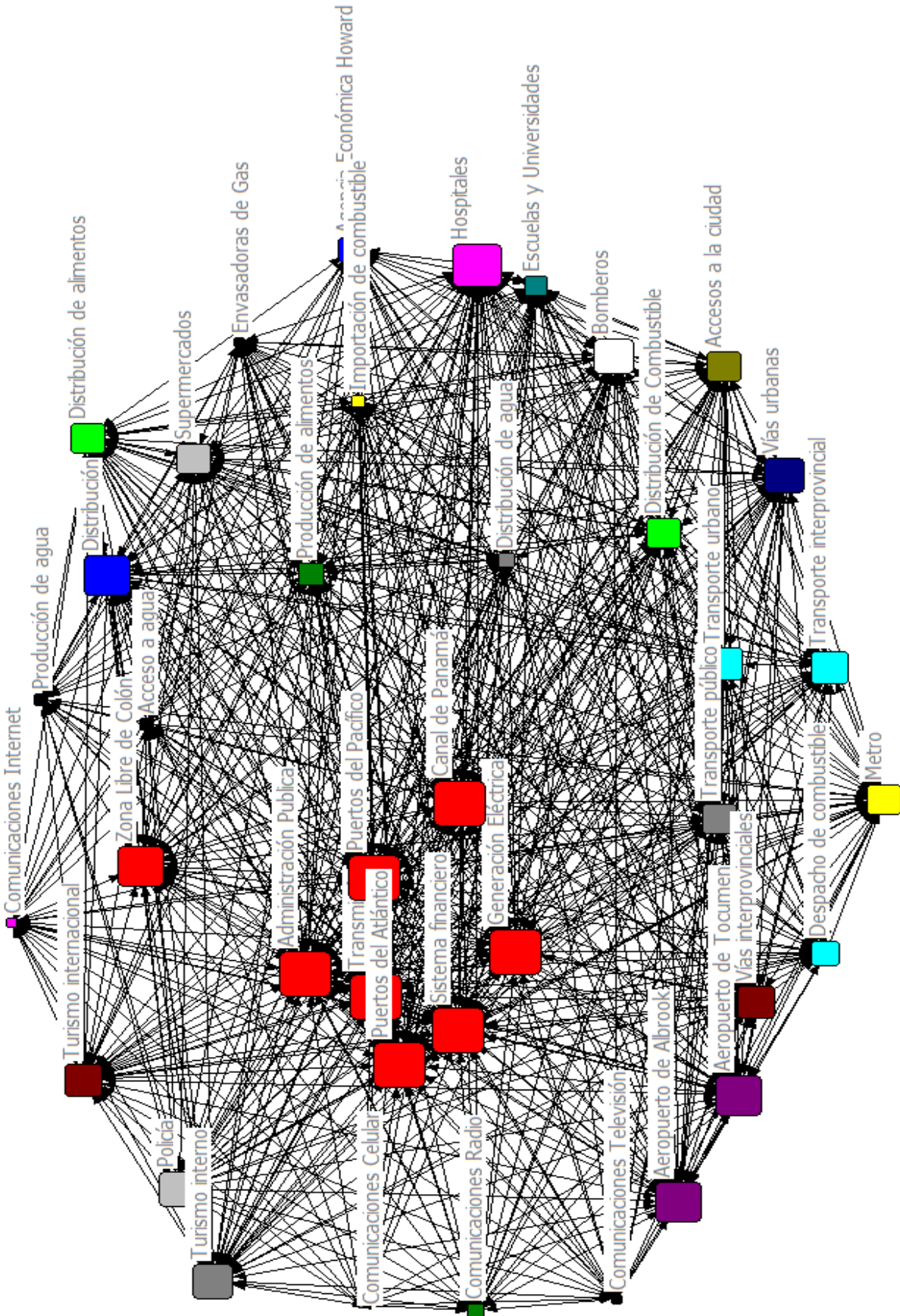


Fig. 6 Red de interrelaciones segunda etapa