

ANÁLISIS CAUSAL DE LAS INTERDEPENDENCIAS DE LAS INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ.

Por: **Humberto R. Álvarez A.**, Ph. D., Profesor de Ingeniería Industrial, Director del Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá. | **Ing. Evidelia Gómez**, M. Sc., Docente de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Chiriquí, Candidata a Doctor, Doctorado en Ingeniería de Proyectos, Universidad Tecnológica de Panamá. | **Lic. Marta Moreno**, M. Sc., Docente de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Centro Regional de Panamá Oeste, Candidata a Doctor, Doctorado en Ingeniería de Proyectos, Universidad Tecnológica de Panamá.

E-mail: humberto.alvarez@utp.ac.pa

Recibido: Abril de 2015

Aceptado: Junio de 2015

Resumen

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. 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.

Las infraestructuras críticas son aquellas imprescindibles para el funcionamiento de los sistemas sociales y económicos, tanto en el gobierno como las empresas. 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. Estas dependencias generan afectaciones que impactan los procesos productivos y sociales, en especial los procesos logísticos del país.

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.

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 affects various public and private services.

Critical infrastructures are those essential to the functioning of social and economic systems, both in government and business. These structures are essential and necessary for the normal functioning of basic public services and production systems. Thus, any interruption will have serious consequences on the logistics of vital supplies or operation of essential services, causing serious disturbances in the economic and social systems of any country. These units generate affectations that affect the productive and social processes, especially the logistics processes of the country.

This paper proposes a dynamic and comprehensive analysis of the different elements that are influenced by critical infrastructure using social network analysis and system dynamics.

Keywords: Critical infrastructures, social network analysis, systems dynamics.

1. Introducción / Planteamiento del problema

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 capital panameña 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 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 Interamericana, 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 de agua de Chilibre 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, cualquiera que hayan sido las causas que los originaron, se pudo constatar que Panamá no estaba preparada para afrontar estos eventos, 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, 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 (Álvarez, 2013).

La literatura define a las infraestructuras críticas como sistemas y/o activos físicos o virtuales (Homeland Security Presidential Directive 7, 2003, Moteff y Parfomak 2004, Gómez Castro y otros, 2010): 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 (Caro, 2011). 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 Severino Mejía (2013) 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, MOP, SINAPROC, Policía Nacional, etc., 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 interrupciones 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.

2. Revisión de literatura

Tal como se definió anteriormente, una infraestructura crítica es aquella cuya paralización ocasiona graves consecuencias sociales y económicas en un país. Por otro lado, la noción de que dichas infraestructuras están altamente interconectadas y son mutuamente dependientes, es real ya que lo que le suceda a una infraestructura puede afectar directa e indirectamente otras infraestructuras, impactando grandes áreas de la geografía de un país o región, afectando también la sociedad y economía global (Rinaldi, et al, 2001).

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 (Eusgeld et al, 2015). 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 Laugé y otros (2015), muchas de las investigaciones existentes no consideran el efecto del tiempo (dinámica) sobre los sistemas y las relaciones.

Rinaldi, et al (2001) define diferentes dimensiones en las interdependencias entre infraestructuras críticas. Estas dimensiones son, tipos de interdependencias, ambiente, características de las infraestructuras, respuesta, el tipo de fallo y estado de la operación.

Estos autores definen los tipos de interdependencias como:

- Interdependencias físicas: dos infraestructuras son físicamente interdependientes si el estado de cada una es dependiente del recurso producido por la otra.
- Interdependencias geográficas: existen cuando las infraestructuras son dependientes del ambiente local (geográfico, cambios climáticos, etc.)
- Interdependencia cibernética: si el estado de una



- infraestructura depende la información transmitida a través de la red de datos o comunicaciones.
- Interdependencia lógica: en este caso el estado de las infraestructuras depende de otro mecanismo diferente a los antes mencionados (regulaciones, intereses, etc.)

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.

Respecto al tipo de fallo, este puede ser por causas comunes, en cascada o que vaya escalando en el tiempo. Esto hace que, por último, 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

(Laugé y otros, 2015), 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, 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 que en general es resultado de un proceso de aprendizaje (Senge, 1990). 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 (Rinaldi, et al, 2015, Chai, et al, 2011).

De acuerdo a Chai, et al (2011), las interacciones entre las infraestructuras críticas son similares, en muchos aspectos, a las interacciones entre individuos o entidades sociales. 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 para

analizar los aspectos estructurales de una red de infraestructuras.

La mayoría de autores que trabaja el tema de las redes sociales está de acuerdo en definir una red (Grossetti, 2009) como un conjunto de relaciones. Las redes sociales son estructuras sociales compuestas de grupos de personas, o entidades sociales, las cuales están conectadas por uno o varios tipos de relaciones, tales como amistad, parentesco, intereses comunes o que comparten conocimientos. Las redes sociales resultan determinantes como fuentes de acceso a la información, insumos, infraestructura e instituciones requeridas para implementar la innovación (Monge y Hartwich, 2008).

El Análisis de Redes Sociales (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 (Dekker, 2001b). Es un enfoque para analizar personas y organizaciones donde el principal aspecto son las relaciones existentes entre personas o grupos.

Dekker (2001a) define cuatro objetivos principales para el ARS:

- Visualizar las comunicaciones y relaciones entre personas y grupos por medio de diagramas o grafos.
- Estudiar los factores que influyen las relaciones y estudiar la correlación entre estas relaciones.

- Generar implicaciones acerca de la data relacional, incluyendo los cuellos de botellas donde se acumula la información canalizada a través de personas o grupos.
- Hacer recomendaciones que permitan mejorar la comunicación y relaciones entre los diferentes miembros de la red.

El ARS, como herramienta social cuantitativa, fue propulsado por Alba (1973) quien en su trabajo seminal definió el ARS como la aplicación de teoría de grafos para representar relaciones sociales. El ARS es una herramienta multidisciplinaria de conocimiento y análisis, que incluye áreas de matemática, estadística, sociología, ciencias organizacionales, entre otras (Borgatti, 2003). Es campo de rápido crecimiento, tanto en las ciencias sociales, como en las ciencias duras y sus aplicaciones están creciendo cada año, encontrándose en la web muchos ejemplos y documentación sobre proyectos.

En las redes sociales, la difusión de ideas, conocimientos e información es un proceso de diseminación determinado por una serie de factores, que a su vez definen los predicados y operadores de distancia. Entre estos factores se encuentran (Monge y Hartwich, 2008):

- *Cohesión*: A mayor densidad de vínculos dentro de un grupo o subgrupo, mayor la influencia y la similitud esperable entre sus miembros (Mergel y otros, 2007).

- *Equivalencia Estructural*: la competencia entre personas de estatus similar (i.e., entre personas con grupos de referencia y posición estructural semejantes) es la fuerza motriz de la diseminación
- *Rango*: Los vínculos débiles y heterófilos son fundamentales durante la difusión temprana de nuevas ideas y comportamientos, debido a que ellos proveen acceso a otras partes de la red que de otra forma se hallarían desconectadas, así como vínculos a fuentes externas y no redundantes de información. Los vínculos débiles tienen la función de servir de puentes entre actores que de otra manera están desconectados. Tales puentes usualmente son adoptadores tempranos de las diferentes acciones e innovaciones sociales. Además, la ventaja posicional que estos intermediarios poseen constituye su capital social.
- *Popularidad*: Los miembros prominentes y bien conectados (i.e., aquellos con alta centralidad), que son usualmente líderes de opinión, generalmente adoptan pronto aquellas actividades que son consistentes con las normas grupales y se resisten a adoptar aquellas acciones que no encajan con las mismas. Al contrario, los miembros marginales de la red se ven menos afectados por los juicios del resto, por lo que con mayor probabilidad se les halla entre los primeros en adoptar las actividades no congruentes con los valores y normas grupales.
- *Proximidad Espacial*: La difusión entre actores físicamente próximos supone que los miembros de la red están distribuidos de tal forma en el espacio social que su cercanía física se corresponde con su cercanía relacional. Por lo tanto, sería de esperar que sus actitudes y conductas sean muy parecidas.

Existen variables estructurales que describen el comportamiento de una red social. Estas variables estructurales describen aspectos como centralidad y cercanía, entre otras. A continuación una breve explicación de cada una de ellas [2]:

- *Grado de Centralidad*: se define como el número de conexiones inmediatas que tiene un determinado nodo en la red, sin considerar la dirección y el valor o fuerza de la conexión. Se puede decir que este valor mide el nivel de actividad o participación de un determinado actor dentro de la red social. Sea $C_D(i)$ el grado de centralidad para un actor i en una red de n nodos y x_{ij} la existencia de una conexión entre el actor i y el actor j tomada de la matriz de relaciones explicada anteriormente (ver ecuación 2), entonces:

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n x_{ji}$$

En el caso del Grado de Centralidad Normalizado, esto es, en función del tamaño de la red:

$$\overline{C_D}(i) = \frac{C_D(i)}{n-1}$$

- *Grado de Centralidad desde y hacia el actor i*: en el caso de que se considere la dirección de la relación, se tienen entonces dos medidas de centralidad:

Grado de entrada de *i*
(indegrecentrality):

$$C_I(i) = \sum_{j=1}^n x_{ji}$$

Grado de Salida de *i* (OutdegreeCentrality):

$$C_O(i) = \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

- *Intermediación*: Aunque el grado de centralidad pueda ser la manera más intuitiva de conocer la centralidad de una red social, no es necesariamente la medida de mayor robustez ya que no considera el resto de la red. El Grado de Intermediación considera la localización dentro de la red y no solamente las relaciones existentes. Mide que tan seguido un nodo dado está conectando (de intermediario) entre dos nodos dados, calculando cuantas veces un actor está en el camino más corto entre otros dos actores. Sea $C_B(k)$ el grado de centralidad del nodo k , g_{ijk} el número de conexiones entre los actores i y j que pasan por el nodo k , y g_{ij} el número de conexiones entre los nodos i y j :

$$C_B(k) = \sum_{\text{en el número de enlaces entre } i \text{ y } j} \frac{g_{ijk}}{g_{ij}}$$

Para el caso del Grado de Intermediación Normalizado:

$$\overline{C_B}(k) = \frac{C_B(k)}{\frac{(n-1)(n-2)}{2}}$$

- *Grado de Cercanía*: mide el grado de dependencia existente por un nodo para transmitir información a otros nodos. Un actor con bastantes nodos conectados es bastante independiente ya que puede alcanzar a otros sin depender de intermediarios. Igualmente, Prell (2012) afirma que el Grado de Cercanía puede verse como un indicador de la capacidad de un actor determinado para influenciar en la red y obtener información de diferentes nodos. Esta medida es función de la cantidad de cercanía de los arcos existentes entre un actor dado y otros actores de la red. Sea $C_C(i)$ el grado de cercanía para un actor i , y d_{ij} la distancia conectando el actor i al actor j ,

$$C_C(i) = \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

El Grado de Cercanía Normalizado será:

$$\overline{C_C}(i) = \frac{n-1}{C_C(i)}$$

- *Densidad de la red*: La densidad de la red, o densidad global, es la proporción de vínculos en una red en relación con el total de vínculos posibles (redes escasas versus densas). Sean d_i la densidad de una red con respecto a un actor i , n el

número de nodos conectados al nodo i y L la cantidad de enlaces entre los nodos,

$$d = \frac{2L}{n(n-1)}$$

Finalmente, las medidas de estructurales antes mencionadas son calculadas en base a matrices de relación binarias cuadradas, por lo que hay que garantizar esto al momento de construir las relaciones bipartitas en una red social.

Por otro lado, al no vivir en un mundo direccional, el efecto de las decisiones o de acciones puede afectar futuras acciones lo que hace que la magnitud de los resultados no sea necesariamente proporcional a las causas de estos. La Dinámica de Sistemas (García, 2008) es una metodología para el estudio y manejo de sistemas sociales complejos. Esta proporciona un método de estudiar la retroalimentación de los sistemas y su complejidad dinámica.

Forrester es el padre de la dinámica de sistemas aplicada al comportamiento organizacional y sistemas sociales (Sterman, 2000), permitiendo la investigación de las características de la información de retroalimentación en sistemas organizacionales y el uso de modelos como guía para el rediseño de organizaciones. García (2008) afirma que la dinámica de sistemas es la rama de la Teoría de Control relacionada con los sistemas socio-económicos y la controlabilidad de los mismos. Combina áreas de Teoría de Control, Toma de

Decisiones, Simulación y Tecnología de la Información.

La Dinámica de Sistemas tiene como principal objetivo el de mostrar como los sistema funcionan utilizando diagramas que delinear el flujo de información, actividades y decisiones, y sus influencias en los diferentes componentes del sistema. Ayuda a entender la interacción de las variables críticas que dominan un sistema social en función del tiempo, la interacción total del sistema y su ambiente y a explicar las complejidades que aparecen envueltas en los sistemas sociales complejos.

La Dinámica de Sistemas se basa en diagramas 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 (Sterman, 2000).

Adicionalmente, debido a que los diagramas causales no 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.

Dentro de los ejemplos encontrados están aquellos que tratan de explicar

la difusión de las innovaciones, las relaciones existentes entre individuos en las estructuras sociales y rurales, en la agricultura, la difusión del conocimiento científico, etc.

De las investigaciones realizadas sobre estudios y aplicaciones de ARS en análisis de infraestructuras críticas se encontró una investigación (Chai, et al, 2011) orientada a analizar las características estructurales de redes de infraestructuras de combustible y gas en China y Estados Unidos. Yusta y otros (2011), presentan 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.

Adicionalmente Chen et al (2009) presenta un enfoque de matriz de insumo-producto que permite complementar el enfoque de ARS dándole pesos objetivos a las relaciones. Finalmente, Genge (2015) utiliza un enfoque de dinámica de sistema para representar la complejidad dinámica de las relaciones entre elementos en una red de infraestructuras críticas bajo un ataque cibernético.

En Panamá se ha podido encontrar muy poco sobre el tema, donde solamente la Autoridad de Innovación Gubernamental ha desarrollado formalmente una estrategia nacional de seguridad cibernéticas y protección de infraestructuras pero orientada hacia

las TIC's. Fuera de esto, solamente un artículo de opinión (Mejía, 2013) en un diario local.

3. 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 ha pensado desarrollar aplicar una serie de encuestas que permitan definir las interrelaciones e interdependencias entre infraestructuras críticas en Panamá, utilizando como base un catálogo que se deberá desarrollar a partir de la definición de los aspectos contextuales del estudio. Por ejemplo, se hará 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 (Eusgeld, 2011) y definir el sistema coordinador de dichas redes (Rinaldi et al, 2001).

3.1. Análisis de Redes Sociales.

Chai et al (2011) proponen un enfoque basados en redes sociales para definir las interrelaciones e interdependencias entre estructuras críticas. En este sentido se aplicará

una encuesta a personas coordinadoras y de nivel operativo a fin de definir las interrelaciones de primer y segundo orden (Laugé et al, 2015). Este análisis permitirá definir las entidades prioritarias y la red de interacciones existentes.

Utilizando el enfoque de Chai et al (2011) se desarrollará la red social que modela las interrelaciones e interdependencias existentes, en función a la importancia y orden de la relación.

Así, se espera lograr tener una red de interrelaciones, como la que se muestra en la figura 1, 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.

Para este proyecto, se procurará analizar diferentes grupos de infraestructuras críticas, agrupadas en función a sus objetivos, alcance regional y grado de interrelación

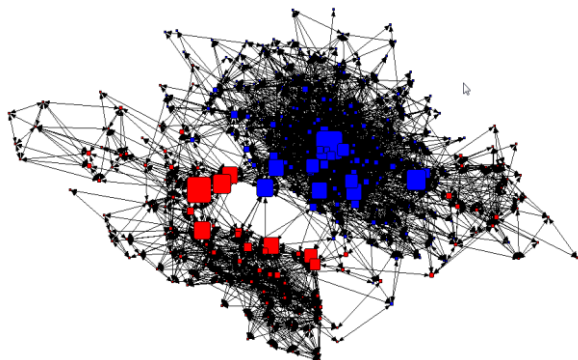


Fig.1 Relaciones dentro de una red social, tomada de Álvarez, et al (2015)

Este gráfico de redes sociales permitirá observar el grado de influencia que tiene cada una de las infraestructuras bajo estudio en los diferentes elementos del sistema o conjunto bajo análisis.

La información será recopilada a través de encuestas y entrevistas y el modelo será construido y analizado utilizando el software UCINET de Analytic Technologies, 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.

3.2. Análisis Dinámico de las Relaciones

Genge et al (2015), proponen una metodología de análisis utilizando Dinámica de Sistemas a fin de modelar la dinámica de las interrelaciones y su efecto a través del tiempo cuando ocurren situaciones críticas.

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.

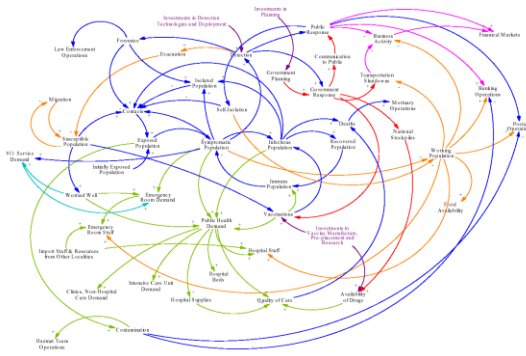


Fig.2 Relaciones causales entre infraestructuras críticas, tomado de Pederson et al (2006)

El análisis dinámico se hará utilizando el software Vensim PLE+ de Ventana Systems, el cual es un software de bajo costo y de gran capacidad de análisis.

4. 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, 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	0	1	0	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, donde

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

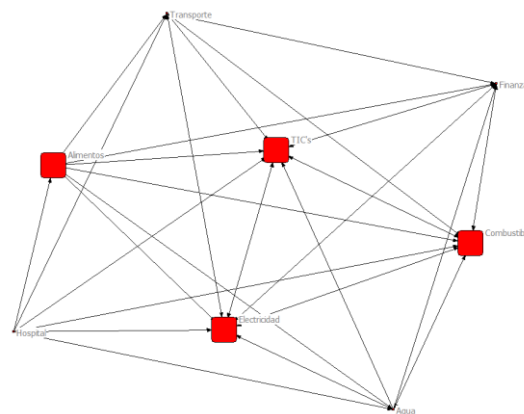


Fig.4 Red resultante

De esta manera es posible construir la Red Social 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 primera o de directa entre las infraestructuras dadas.

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.

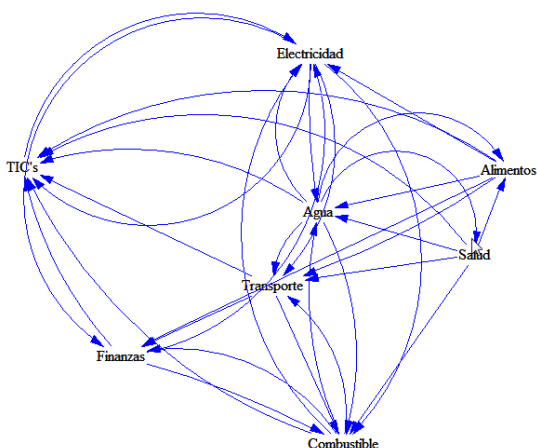


Fig.5. Diagrama causal

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.

4. Conclusiones y trabajo futuro

A fin de lograr un desarrollo sostenible integral se hace necesario poder definir aquellos elementos que son esenciales para lograr dicho

desarrollo, teniendo en cuenta los riesgos resultantes por posibles efectos naturales o humanos en las infraestructuras que sostienen el desarrollo del país.

El estar claro en las interrelaciones existentes entre los sistemas de transmisión eléctrica, sistema vial, de salud y financiero con el desarrollo social y económico del país se hace necesario a fin de poder abordar los retos de lo que es el primer gran desafío de Panamá: el desarrollo sostenible.

A fin de poder abordarlo y entenderlo se necesita estudiar el mismo “de manera holística e interdisciplinaria..., no sólo como problemas complejos en sí mismo, sino como retos inseparables. (PENCIYT 2015-2019, p 14).”

Ya que el desarrollo sostenible integral considera dimensiones políticas, sociales, culturales, económicas y ambientales como ejes para una gestión adecuada de los recursos y el desarrollo social en equilibrio con las estrategias del país, es fundamental poder definir aquellos elementos que, de una manera u otra puedan afectar este desarrollo integral, en especial si se considera que la falta de los mismos no dejaría que el sistema nacional trabajara de manera efectiva y eficiente frente a los problemas y oportunidades de desarrollo.

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.

El proyecto que aquí se presenta está orientado a apoyar al desarrollo e implementación de planes y políticas a corto, mediano y largo plazo en la gestión integral de riesgos y desastres, distribución de energía, construcción de infraestructuras, y lo principal, conocer lo que se tiene y sus efectos interrelacionados en caso de que alguna de las infraestructuras falle o no esté en capacidad de funcionar.

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, ser posible entonces definir las relaciones dinámicas y el comportamiento en el tiempo si una de las relaciones se es afectada.

Referencias:

- Alba, R. (1973) *A Graph-Theoretic Definition of a Sociometric Clique*, Journal of Mathematical Sociology Vol. 3, pp 113-126
- Álvarez, H., et al (2015) *Uso de Análisis de Redes Sociales para el estudio y determinación de Capital Social entre jóvenes panameños*, Actas de la XIII Conferencia de LACCEI, celebrada en Santo Domingo, República Dominicana, del 28 al 31 de julio de 2015.
- Autoridad Nacional para la Innovación Gubernamental (2013) *Estrategia Nacional de Seguridad Cibernética y Protección de Infraestructuras Críticas*, Gaceta Oficial Digital No. 27289-A, viernes 17 de mayo de 2013.
- Borgatti, S. (2003) *Basic Principles of Social Network Analysis*, www.analytictech.com/networks
- Caro Bejarano, M. J. (2011) *La Protección de las Infraestructuras Críticas, Documento de Análisis*, Instituto Español de Estudios Estratégicos, 021/2011, 27 de julio de 2011. Consultado el 24 de febrero de 2012 en <http://www.analisisinternacional.eu/archivo/viejos/dossiers/doss31.pdf>
- Chai, C. L., Liu X., Zhang, W: J. y Z. Baber (2011). *Application of social network theory to prioritizing Oil & Gas industries protection in a networked critical infrastructure system*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries v. 24, n. 5, pp. 688 – 694.
- Chen, P., Scowin, C., Matthews, H., Scott, G., James, H. y Chris Hendrickson (2009). *Managing Critical Infrastructure Interdependence through Economic Input-Output Methods*. Journal of Infrastructure and Systems, September, pp. 200 – 210.
- Dekker, A. (2001) *Social Network Analysis in Military Headquarters using CAVALIER*, en Eades, P. and Pattison, T., Eds. (2001). *Information Visualisation 2001. Australian Symposium on Information Visualisation (invis.au 2001)*. CRPIT. 9. Sydney, Australia, ACS
- Department of Homeland Security (2003) *Homeland Security Presidential Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection*, consultado el 3 de marzo de 2012 en http://www.dhs.gov/xabout/laws/gc_1214_597989952.shtm#0
- Eusgeld, I., Nan, C. y SvenDietz (2011). *“System-of-systems” approach for interdependent critical infrastructures*, Reliability Engineering and System Safety 96, pp. 679–686.
- García, J. M (2008) *Ejercicios avanzados de Dinámica de Sistemas*, Juan Manuel



- García, Ed., España.
- Genge, B., Kiss, I. y Piroška Haller (2015) *A system dynamic approach for assessing the impact of cyber-attacks on critical infrastructures*, International Journal of Critical Infrastructure Protection, in press, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548215000244>
- Gómez Castro, C., Castiblanco Rey, D., y Mauricio Sánchez-Silva (2010) "Aproximación integral a la evaluación y manejo de riesgos sobre la infraestructura urbana", Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes, No. 31, Enero - Junio de 2010, pp. 84-96, Bogotá, Colombia consultado el 28 de febrero de 2012 en <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/A8%2031.pdf>
- Grossetti, M. (2009) *¿Qué es una relación social? Un conjunto de mediaciones diádicas*, REDES - Revista hispana para el análisis de redes sociales, Vol.16,#2, Junio 2009, <http://revista-redes.rediris.es>
- Gutiérrez Ruiz, C. (2009) *El rol de las relaciones interpersonales en el proceso de elaboración y puesta en marcha de la política de descentralización en Chile*, REDES - Revista hispana para el análisis de redes sociales Vol.16, #10, Junio 2009, <http://revista-redes.rediris.es>
- Laugé, A., Hernantes, J. y Jose M. Sarriegi (2015). *Critical infrastructures dependencias: A holistic, dynamic and quantitative approach*, International Journal of Critical Infrastructure Protection, n. 8 enero, pp. 16-23.
- Mejía, S. (2013) *Infraestructuras críticas, impacto Social*. La Prensa/Opinión, 1 de marzo de 2013. Tomado de http://impresa.prensa.com/opinion/Infraestructuras-criticas-impacto-Severino-Mejia_0_3605639507.html el 16 de julio de 2015.
- Mergel, I., Huertas, A. y Jennifer van Stelle (2007) *How do networkers network?*, PNG Working paper No. PNG07-005, Harvard University
- Monge Pérez, M. y Frank Hartwich (2008) REDES - *Análisis de Redes Sociales aplicado al estudio de los procesos de innovación agrícola*, Revista hispana para el análisis de redes sociales Vol.14, #2, Junio 2008, <http://revista-redes.rediris.es>
- Moteff, J. y Paul Parfomak (2004) *Critical Infrastructure and Key Assets: Definition and Identification*, CRS Report for Congress, Congressional Research Service The Library of Congress, consultado el 13 de julio de 2015 en http://www2.cs.uidaho.edu/~oman/RTCS/Moteff_CIS.pdf
- Pabjan, B. (2005) *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, Vol. 3, # 2, pp. 100 -108
- Pederson, P., et al (2006) *Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research*, Idaho National Laboratories, U. S. Department of Energy, Estados Unidos.
- Plan Estratégico Nacional de Ciencia y Tecnología de la República de Panamá 2014 – 2016, SENACYT – Panamá.
- Prell, C., (2012) *Social Network Analysis; history, theory and methodology*, SAGE Publications, California.
- Senge, P. (1990). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. Doubleday: Estados Unidos.
- Šlaus, Ivo y Garry Jacobs (2011) *Human Capital and Sustainability*, Sustainability, N. 3, 97-154
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education.
- Steven M. Rinaldi, S. M, Peerenboom, J. P., y Terrence K. Kelly (2001). *Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructures Interdependencias*, IEEE Control Systems Magazine, pp. 11-25.
- Yusta, J., Correa, G., y LacalArántegui, R.(2011) *Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art*, Energy Policy, v. 39, n. 11, pp. 6100–6119.