

CASA

Herramienta para la Toma de Decisiones en Sistemas Urbanos durante Eventos Críticos

Complex Society Lab and Infinitum Humanitarian Systems - ONR Grant N00014-22-1-2613

La resiliencia de los sistemas sociales es esencial para enfrentar los desafíos globales actuales, marcados por eventos críticos provocados tanto por la actividad humana como por fenómenos naturales. Las tensiones derivadas de la globalización, los conflictos de seguridad, el cambio climático, las crisis de gobernanza, y las dinámicas económicas están transformando los sistemas urbanos y sociales en todo el mundo. En este contexto, resulta fundamental fortalecer la resiliencia comunitaria mediante el uso de evidencia científica, cuantitativa y objetiva, para anticipar, mitigar y adaptarse a estos escenarios.

En este contexto, presentamos el modelo de Análisis Complejo para la Adaptación Socioambiental (CASA por sus siglas en inglés), un enfoque innovador diseñado para respaldar a los tomadores de decisiones. Este modelo facilita la evaluación y mejora de la resiliencia en una variedad de contextos, como ciudades, urbanizaciones y asentamientos informales. Además, ofrece herramientas predictivas para analizar la posible propagación de daños en sus infraestructuras críticas así como en las capacidades instaladas en sus organizaciones y sus componentes, elementos críticos para garantizar el funcionamiento del sistema social. El modelo CASA representa un avance significativo al integrar el análisis de la resiliencia con la efectividad de Sistemas Complejos, utilizando enfoques basados en las ciencias de la Complejidad y las Redes. Esta perspectiva permite capturar las intrincadas interdependencias de los sistemas sociales, brindando una visión integral de la resiliencia alineada con los objetivos de desarrollo sostenible.

Como herramienta pionera en la evaluación de la resiliencia territorial, el modelo CASA combina la Ciencia de la Complejidad y el análisis de datos para generar recomendaciones prácticas que refuercen las capacidades adaptativas frente a situaciones de crisis. Su enfoque integral no solo aborda los desafíos inmediatos de las sociedades actuales, tales como el cambio climático, sino que también enriquece el debate sobre las acciones sectoriales de mitigación y sus implicancias para el desarrollo sostenible.

Complex Society Lab (Chile): J. P. Cárdenas, M. Fuentes, G. Olivares, C. Urbina, S. Salazar, G. Vidal, C. Nova.

Infinitum Humanitarian Systems (USA): E. Rasmussen et al.

El modelo CASA. Una herramienta para tomadores de decisiones.

Nuestra investigación se ha centrado en el desarrollo de un modelo capaz de abordar la capacidad de respuesta de los sistemas sociales ante presiones adaptativas. Para ello, ha sido necesario considerar la complejidad social, es decir, cómo se vinculan los diferentes componentes asociados con su resiliencia.

En este sentido, nuestra investigación tomó en cuenta las distintas dimensiones sociales de la resiliencia descritas en la literatura, utilizando el modelo ARISE como base fundamental. Desarrollado hace una década, ARISE es una herramienta para evaluar los niveles de resiliencia mediante la recopilación de datos públicos. Inicialmente, el modelo ARISE fue utilizado por el Centro de Excelencia en Gestión de Desastres y Asistencia Humanitaria (COE-DMHA) del Tripler Army Medical Center en Hawái para evaluar la resiliencia de los países del Pacífico. Las métricas obtenidas de ARISE proporcionan una visión detallada de indicadores desagregados, ofreciendo un panorama instantáneo sobre la resiliencia en un momento específico para un país determinado.

El modelo ARISE está estructurado en torno a cinco pilares fundamentales. Clasifica la resiliencia en sectores específicos bajo cada pilar, y estos sectores se desglosan en componentes detallados, lo que proporciona un marco robusto para evaluar la resiliencia en diversos niveles.

Sin embargo, el diseño lineal de ARISE no se responde totalmente a lo que exige el análisis de la resiliencia bajo situaciones críticas, ya que ignora las interdependencias entre los elementos que componen los sistemas sociales. Esta desconexión entre los elementos representa un desafío significativo para prever escenarios futuros que incluyan interacciones, cadena de eventos y bucles de retroalimentación. Además, dificulta la comprensión sobre las implicancias que pueda tener la alteración de un componente sobre otros dentro del mismo nivel, lo que impide comprender afectaciones indirectas en distintos niveles. Asimismo, resulta de vital importancia formular indicadores que consideren conjuntos de elementos heterogéneos de la resiliencia, no contemplados inherentemente en el marco de ARISE, incluidos aquellos que pertenecen a otros sectores o pilares.

El diseño estructural del modelo antes descrito, limita la metodología sistémica necesaria para abordar la complejidad desde una perspectiva más realista y contemporánea, un aspecto que nuestra propuesta buscó mejorar.

Por esta razón, nuestro trabajo se centró en enriquecer el modelo ARISE mediante la incorporación de un enfoque avanzado que permite utilizar el conocimiento científico global actual, adaptándolo a los desafíos complejos del mundo moderno.

Para lograr esto, seleccionamos elementos específicos del modelo ARISE, complementándolos con otros modelos de resiliencia existentes, con el objetivo de establecer un marco sistémico integral. Para esclarecer las interconexiones entre

estos elementos y construir una red interrelacionada, llevamos a cabo búsquedas bibliográficas automáticas en bases de datos científicas, abarcando el

periodo de 2008 a 2023, considerando más de 70 millones de documentos científicos.

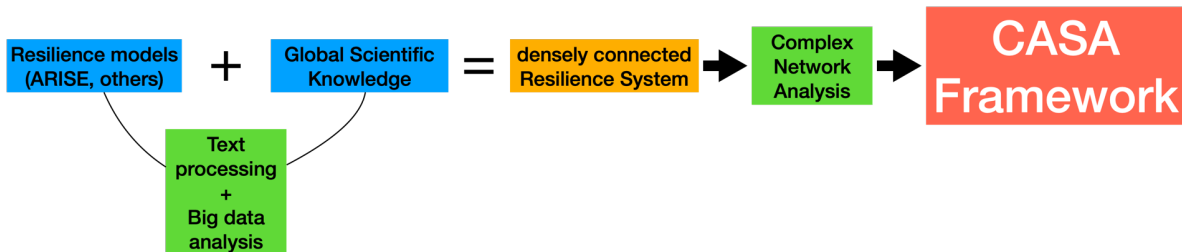


Figura 1. Metodología implementada para desarrollar el modelo CASA.

El análisis inicial resultante mostró una densidad de conectividad notablemente alta, con numerosos vínculos entre los componentes de la resiliencia social. Este nivel de complejidad nos planteó desafíos significativos para el análisis e interpretación de la estructura obtenida. Para abordar este problema, aplicamos herramientas de la Teoría de Redes Complejas, lo que nos permitió conservar la estructura general de la red mientras nos enfocábamos en las relaciones más sustanciales e influyentes.

La metodología implementada (Fig. 1) nos proporcionó, de manera espontánea, es decir, sin un diseño previo, la estructura de un sistema de resiliencia social: el

modelo CASA, representado en la Figura 2. Este modelo refleja lo que el conocimiento científico sugiere sobre resiliencia social y sus elementos esenciales, ahora integrados en un todo interconectado.



Figura 2. Versión web del modelo CASA. La red muestra las diferentes dimensiones sociales relacionadas con la resiliencia, interconectadas de acuerdo con el conocimiento científico global. En esta representación, el color de los componentes indica las distintas comunidades detectadas mediante análisis de redes y nombradas (cajas de colores en la parte superior) según los criterios de inteligencia artificial.

Universalidad del modelo CASA

Uno de los aspectos fundamentales de nuestro trabajo se refiere a la naturaleza universal de la estructura del modelo CASA. Dado que su estructura emerge de manera espontánea al considerar el conocimiento científico global, podríamos estar ante una estructura cuasi-universal*, en la que los diferentes componentes del sistema social se interconectan dentro de una arquitectura mínima que explica la organización de las distintas dimensiones sociales asociadas con la resiliencia.

Esta universalidad implica que el modelo CASA posee una estructura independiente del territorio y de la naturaleza de las fuerzas que ejercen presiones adaptativas sobre el sistema. En otras palabras, el modelo tendría un potencial de aplicación en distintas partes del mundo y en diversos contextos de crisis (ej., ambientales, sociales, etc.).

* Depende del conocimiento científico, el cual puede estar sesgado y no ser la única fuente de conocimiento.

Aplicación de la universalidad del modelo CASA

Aunque la estructura de la red CASA podría considerarse universal, su aplicabilidad depende de las propiedades locales, es decir, de las características que definen la resiliencia del territorio donde se aplicará (localidad, ciudad, región, etc.).

Al igual que su predecesor ARISE, el modelo CASA considera datos específicos que alimentan cada uno de los componentes del sistema (nodos de la red). Estos datos reflejan las capacidades instaladas en cada uno de ellos para ese territorio en particular. De este modo, el modelo CASA incorpora las capacidades de resiliencia del territorio, organizadas sobre un sustrato universal.

Resiliencia Topológica

La conjugación entre las capacidades de resiliencia de un territorio, superpuestas en una estructura relacional universal, nos permite definir el concepto de Resiliencia Topológica, es decir, capacidades de resiliencia propias de un territorio, limitadas por la estructura y la ubicación de cada componente dentro de la arquitectura del sistema. En otras palabras, la capacidad de resiliencia de un sistema dependerá tanto de las capacidades individuales de sus componentes aunque también, cómo estos se encuentran ubicados dentro del marco estructural que representa el modelo CASA.

La Figura 3 muestra aquellos componentes esenciales de la resiliencia debido a su ubicación dentro de la red.

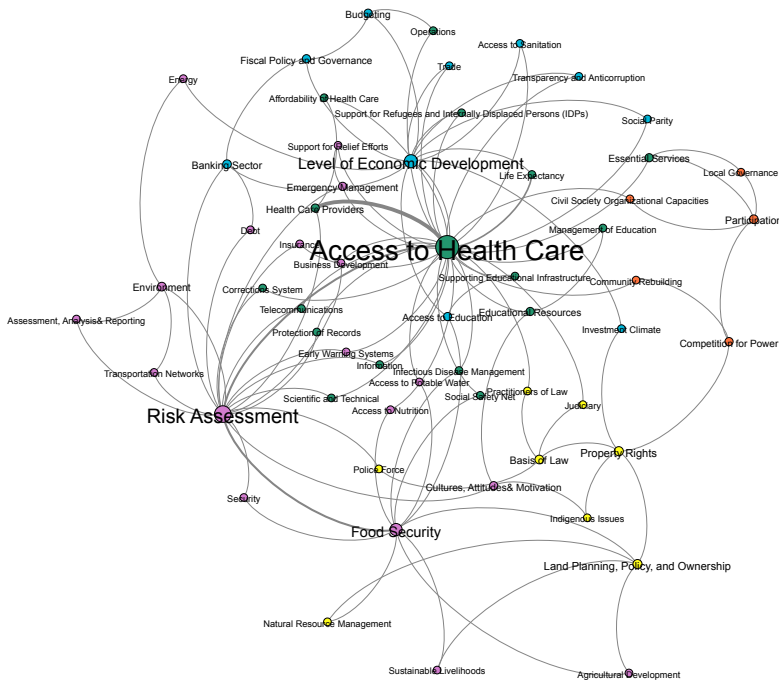


Figura 3. Centralidad de los Componentes en el Modelo CASA: El tamaño de los nodos y sus etiquetas indican la cercanía relativa de cada uno con los demás dentro del modelo. El color de los nodos representa las diferentes comunidades detectadas mediante análisis de redes.

Cuando la información local se cruza con las capacidades instaladas en cada uno de los componentes, el resultado permite identificar aquellos componentes con mayor fortaleza o debilidad. La Figura 4

muestra una representación gráfica de las capacidades instaladas en cada una de las comunidades del modelo-red CASA para la localidad de Puchuncaví, Chile.

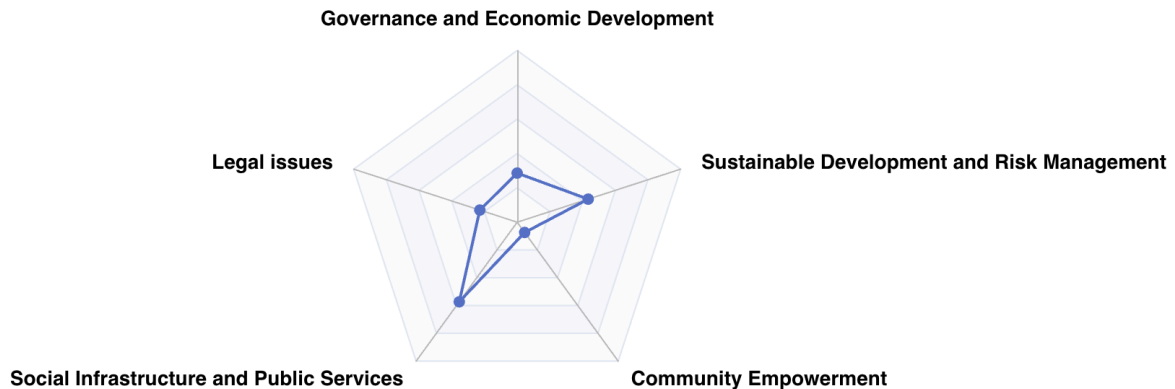


Figura 4. Modelo CASA para Puchuncaví, Chile: Capacidades instaladas en cada comunidad del modelo-red CASA. Nota: Los datos para Puchuncaví fueron recopilados durante el año 2023.

Herramientas del modelo CASA

Herramienta Web

Uno de los objetivos finales de nuestro proyecto es el desarrollo de un sitio web abierto a tomadores de decisión que les permita actuar con información procesada, objetiva y basada en la ciencia. Este sitio web contará con una serie de herramientas asociadas al modelo CASA, como la visualización de la Resiliencia Topológica, la comparación entre territorios según su Resiliencia Topológica, la geolocalización del modelo CASA sobre el territorio, entre otras. Para lograrlo, nuestro grupo ha desarrollado una serie de líneas de investigación.

Predicciones: Dinámicas en la Red CASA

Dado que el modelo CASA es una estructura conectada, donde es posible acceder a cualquier componente desde otro, es factible simular la propagación de daños como una cascada de eventos que respeta las conexiones entre los componentes.

Nuestro grupo desarrolló un modelo de propagación que considera la resistencia de cada componente frente a un impacto, determinada por las capacidades instaladas en él y obtenidas a partir de datos locales, así como la fortaleza de la relación con sus vecinos en la red CASA, la distancia que lo separa de la afectación inicial y el tiempo transcurrido desde esta. Con estas reglas, nuestro modelo de propagación permite responder a diversas preguntas para un

determinado territorio, tales como: ¿cuáles son los componentes críticos del sistema de resiliencia territorial que deben protegerse ante una posible crisis?, ¿qué tan robusta es la resiliencia de un territorio?, ¿Cuáles son los gatilladores de conflicto social que emergen de distintas afectaciones?, entre otras.

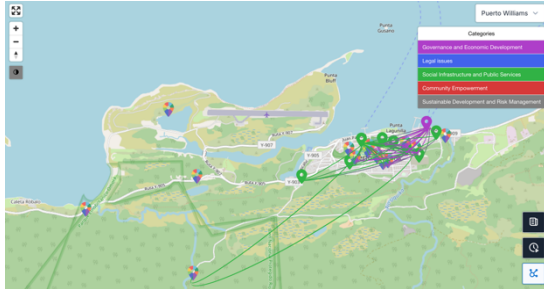


Figura 5. Modelo CASA proyectado sobre la ciudad de Puerto Williams, Chile. Los marcadores en el mapa representan la infraestructura crítica relacionada con las categorías del modelo CASA y los enlaces entre ellas, de acuerdo con el marco del modelo CASA.

Propagación de Daños en Infraestructura Crítica

Uno de los aspectos que nos ocupa es el mapeo de las diferentes dimensiones sociales del modelo CASA a la infraestructura crítica del territorio. De este modo, podemos simular, sobre el territorio, aquellos puntos críticos (ej., escuelas, bancos, hospitales, etc.) que podrían verse afectados ante la propagación de fallos determinada por el modelo de propagación descrito anteriormente (Fig. 5).

De la Resiliencia Topológica a la Crisis Social

Finalmente, sabemos que las fallas en diferentes componentes del sistema social actúan como impulsores de conflictos sociales (ej. sujetos afectados en la Fig. 6). Nuestro trabajo se centra en este aspecto, utilizando el conocimiento desarrollado por nuestro grupo* a partir de las Ciencias Sociales, las Ciencias de la Complejidad y entrevistas con actores locales clave, para prever los distintos fenómenos sociales que podrían emerger ante un impacto en el sistema.



Figura 6. Simulación de la propagación de daños en el Modelo CASA aplicado a la ciudad de Puerto Williams, Chile. Durante la simulación, se identifican sujetos afectados en las dimensiones Material, Social, Gobernanza, Legal y Económica..

* Refs: doi.org/10.1155/2022/8980913;
doi.org/10.3389/fphy.2021.650648;
doi.org/10.1155/2018/9343451;
[doi:10.1016/j.physa.2018.03.03](https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.03.03)

Estamos totalmente abiertos a colaborar con ustedes y recibir sus comentarios, los cuales serán fundamentales para enriquecer y mejorar nuestra investigación.

USA contact

Eric Rasmussen

rasmussene@ihs-i.com



Latin America contact

- Juan Pablo Cárdenas

jp.cardenas@complexsocietylab.cl

- Miguel Fuentes

m.fuentes@complexsocietylab.cl

