

Imágenes de Canva educativo

Robustez y vulnerabilidad en redes de procesos organizacionales: una aproximación sistémica para una gestión estratégica

Robustness and vulnerability in organizational process networks: a systemic approach for strategic management

Carmen Hernández-Cansino^{1*}, Gustavo Carreón-Vázquez², Alejandra Elizabeth Urbiola-Solís³, Graciela Carrillo-González⁴

RESUMEN

La metodología de análisis de Sistemas Complejos Adaptativos (SCA) es una herramienta útil para estudiar redes de colaboración laboral a través de su representación estructural. Esto permite identificar patrones de interacción, dependencia y flujo de información entre sus componentes. El objetivo del presente trabajo fue identificar las condiciones de robustez y vulnerabilidad de una red de procesos organizacionales en un departamento administrativo (DPE) de una institución educativa pública. Se utilizó una metodología de modelización basada en criterios de conectividad, centralidad y eficiencia del flujo de información. Se analizaron los procedimientos operacionales de los diferentes actores; se construyó la red organizacional mediante la definición de sus nodos y se evaluaron los niveles de conectividad y la centralidad de estrés por nodo. Para medir el nivel de robustez, se realizaron simulaciones de remoción de los nodos con mayor conectividad. La eliminación de nodos con alta conectividad y centralidad de estrés —como los correspondientes a la Asistente Administrativa del Departamento, la Secretaria de Profesores y la Asistente Técnica (responsables de articular gran parte de los procesos operativos del DPE)— produjo la mayor fragmentación de la red. Esto contrastó con la remoción de la Jefatura del Departamento, que produjo un nivel de fragmentación considerablemente menor. El análisis de la estructura funcional reveló que la robustez de la red está determinada por la forma en que se estructuran e interconectan los procesos, más que por la jerarquía formal de los puestos laborales. La representación de los puestos organizacionales como nodos permitió identificar cuellos de botella críticos, dependencias funcionales y puestos cuya interrupción comprometería la continuidad operativa. El desarrollo del diagrama operativo y su análisis mediante SCA permitió visibilizar las fortalezas y vulnerabilidades del sistema, aportando información clave para aumentar la robustez organizacional, la continuidad operativa y la capacidad adaptativa desde una perspectiva de gestión estratégica sistémica.

PALABRAS CLAVE: redes complejas, robustez, vulnerabilidad, procesos organizacionales, gestión estratégica.

ABSTRACT

The methodology for analyzing Complex Adaptive Systems (CAS) is a useful tool for studying work collaboration networks through their structural representation. This approach makes it possible to identify patterns of interaction, dependency, and information flow among the components of these networks. The objective of this study was to identify the conditions of robustness and vulnerability in an organizational process network within an administrative department (DPE) of a public educational institution. A modeling methodology based on criteria of connectivity, centrality, and information-flow efficiency was used. The operational procedures of the different actors were analyzed; the organizational network was constructed by defining its nodes; and the levels of connectivity and stress centrality were evaluated for each node. To measure the level of robustness, node-removal simulations were performed on the nodes with the highest connectivity. The elimination of nodes with high connectivity and stress centrality—such as those corresponding to the Department Administrative Assistant, the Faculty Secretary, and the Technical Assistant, who are responsible for articulating a large part of the DPE's operational processes—produced the greatest fragmentation of the network. This contrasted with the removal of the Head of the Department, which produced a considerably lower level of fragmentation. The analysis of the functional structure revealed that the robustness of the network is determined by the way in which processes are structured and interconnected, rather than by the formal hierarchy of job positions. The representation of organizational positions as nodes made it possible to identify critical bottlenecks, functional dependencies, and positions whose interruption would compromise operational continuity. The development of the operational diagram and its analysis through the CAS approach made it possible to reveal the system's strengths and vulnerabilities, providing key information to strengthen organizational robustness, operational continuity, and adaptive capacity from a systemic strategic management perspective.

KEYWORDS: complex networks, robustness, vulnerability, organizational processes, strategic management.

*Correspondencia: cahernandez@correo.xoc.uam.mx/ Fecha de recepción: 7 de agosto de 2025/ Fecha de aceptación: 13 de agosto de 2026/ Fecha de publicación: 28 de agosto de 2026.

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto de la UAQ, Carretera a Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños, Santiago de Querétaro, Querétaro, México, C. P. 76140. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Ciudad de México, México, C. P. 04510. ³Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración, Querétaro, Querétaro, México, C. P. 76020. ⁴Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, UAM-X, Departamento de Producción Económica, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México, C. P. 04960.

INTRODUCCIÓN

En el análisis de redes, los conceptos de robustez, vulnerabilidad y resiliencia se abordan como categorías analíticamente diferenciadas. La robustez se refiere a la capacidad del sistema para mantener su funcionalidad frente a perturbaciones; la vulnerabilidad alude al grado de susceptibilidad o exposición a fallas estructurales; mientras que la resiliencia implica la capacidad de recuperación, adaptación o reorganización del sistema después de una disrupción (Artime y col., 2024; Xie y col., 2023).

La robustez de una red de procesos organizacionales resulta relevante para analizar la continuidad operativa de una organización (Barabási, 2016; Schwarze y col., 2024). Si bien, la pérdida o alteración de nodos y conexiones estratégicas puede generar un impacto crucial en la integridad, dinámica y estabilidad de la red (Watts, 2003), también es fundamental comprender su capacidad para mantener su funcionamiento frente a perturbaciones (Artime y col., 2024). La robustez, por tanto, no reside en un único elemento de la red, ya que su estabilidad y capacidad adaptativa se distribuyen entre las interacciones de sus puestos organizacionales mediante interacciones interdependientes, lo que genera comportamientos emergentes basados en reglas locales de agregación y adaptación que dan lugar a formas de inteligencia colectiva (Holland, 2004). En este sentido, la capacidad adaptativa y la estabilidad sistémica pueden entenderse como propiedades emergentes propias de los sistemas complejos adaptativos (SCA).

Los SCA se componen estructuralmente de múltiples elementos que interactúan entre sí, dando lugar a dinámicas emergentes en las que las propiedades del sistema no pueden explicarse únicamente a partir de la suma de sus interacciones individuales. Funcionalmente, su permanencia y coherencia a lo largo del tiempo les permiten procesar información, cooperar, autoorganizarse y adaptarse a sus condiciones bajo diversas restricciones (Holland, 2004).

Las organizaciones pueden analizarse desde la perspectiva de los SCA, ya que están conformadas por múltiples actores que interactúan, aprenden y se adaptan continuamente a su entorno. Desde dicho enfoque, pueden modelarse como redes complejas, donde las relaciones de interdependencia entre sus componentes generan propiedades emergentes que no pueden explicarse únicamente a partir del comportamiento aislado de cada uno de ellos (Aya-Velandia, 2020).

La ciencia de redes constituye un marco analítico idóneo para modelar este tipo de sistemas desde una perspectiva *bottom-up*, al centrarse en la estructura y función de las interacciones que los conforman. Dicho enfoque permite analizar cómo los elementos de un sistema, ya sean agentes, procesos o nodos, configuran patrones colectivos, y cómo estos pueden exhibir procesos de toma de decisión, memoria o incluso mecanismos de recuperación frente a perturbaciones (Barabási, 2016).

La robustez, vulnerabilidad y resiliencia constituyen un conjunto de propiedades relacionadas con la capacidad adaptativa de una organización ante perturbaciones internas y externas. Dichas propiedades describen no solo la resistencia de la estructura frente al cambio, sino también sus posibilidades de reorganización y aprendizaje ante situaciones críticas (Frigotto y col., 2022). Desde esta perspectiva, el análisis de redes organizacionales proporciona información para una gestión estratégica (Castaingts-Teillery, 2015), basada en la comprensión sistémica de las interdependencias internas y la capacidad de adaptación colectiva.

El análisis de redes ha adquirido relevancia en el estudio de organizaciones complejas debido a su capacidad para representar patrones de interacción, flujos de información y estructuras de coordinación entre actores. Desde el análisis de redes sociales, Espín-Noboa y col. (2023) señalaron que las estructuras relacionales permiten comprender dinámicas organizacionales que no pueden explicarse únicamente a partir de atributos individuales. De

igual manera, Borgatti y Foster (2003) destacaron que las relaciones entre actores constituyen elementos fundamentales para analizar procesos de colaboración, intercambio y desempeño organizacional. Por otra parte, desde la teoría de redes y la complejidad, autores como Castells (2009) y Watts (2003) han enfatizado que la conectividad, la interdependencia y la distribución de flujos influyen directamente en la estabilidad, adaptación y comportamiento emergente de los sistemas organizacionales. En este contexto, los trabajos de Hernández-Cansino y col. (2023) se integran a una línea de investigación orientada al análisis relacional de procesos organizacionales mediante enfoques basados en redes y complejidad sistémica.

A pesar de los avances en el análisis de redes y sistemas complejos aplicados a organizaciones, una parte importante de la literatura se ha centrado en describir estructuras relacionales y patrones de conectividad, sin profundizar suficientemente en cómo las interdependencias entre actores, procesos y flujos de información generan vulnerabilidades y dinámicas adaptativas dentro de los sistemas organizacionales (Watson y col., 2025). En consecuencia, persiste la necesidad de tener y utilizar metodologías que permitan integrar el análisis estructural y funcional de las organizaciones desde una perspectiva relacional y sistémica (Hassel y Cedergren, 2025).

Bajo este marco, la metodología REPRO (Red de Procesos Organizacionales) proporciona una herramienta para analizar la robustez como parte de la funcionalidad global de la red, considerando que la remoción o pérdida de un elemento puede desencadenar fallos en cascada, afectaciones en la conectividad y continuidad de los procesos. Su aplicación permite identificar escenarios de riesgo y optimizar procesos mediante la detección de nodos críticos (Hernández-Cansino y col., 2023).

El objetivo de este trabajo fue identificar las condiciones de robustez y vulnerabilidad de una red de procesos organizacionales en un

departamento administrativo de una institución educativa pública mediante una metodología de modelización basada en criterios de conectividad, centralidad y eficiencia del flujo de información.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología para obtención de una red organizacional

Para abordar el análisis de la robustez y vulnerabilidad en las organizaciones, se adoptó un enfoque metodológico basado en la teoría de los SCA y redes complejas a partir de procesos organizacionales. En este contexto, la organización se modeló como una red de procesos organizacionales, en la que los puestos de trabajo se representan mediante nodos y las relaciones procedimentales mediante aristas. A diferencia de los enfoques organizacionales tradicionales centrados en estructuras jerárquicas, REPRO permite modelar las interdependencias funcionales derivadas de los procesos organizacionales y evaluar su impacto sobre la robustez estructural (Hernández-Cansino y col., 2023).

La metodología se desarrolló en cuatro fases. La primera consistió en desarrollar la descripción de la organización, el área de trabajo y los procesos que sirvieron para hacer el modelo de la red. La segunda correspondió al levantamiento de la información a través de trabajo de campo, con el levantamiento de entrevistas que permitieron conocer el flujo de los procedimientos de los procesos que se lleva a cabo para realizar sus funciones, información utilizada para elaborar los manuales de procedimientos de la dependencia. En la tercera etapa, se construyeron los caminos de la red, para ello, se elaboró una tabla en formato CSV en la que se identificaron los actores involucrados en los procedimientos y se describieron los pasos que deben seguir para el seguimiento de sus funciones. Finalmente, en la cuarta fase, se realizó la modelización de la red a través Cytoscape, versión 3.7.1, una plataforma de software de código abierto, para visualizar y analizar las redes de interacción (Demchak, 2023).

Estudio de caso

Fase I. Descripción de la organización

La investigación se realizó en un departamento de una organización pública de educación superior con autorización de la jefatura de dicho departamento. Con el propósito de preservar la confidencialidad institucional y de los actores involucrados, se anonimizaron tanto el nombre de la organización como las referencias personales, empleando únicamente denominaciones funcionales asociadas a los cargos organizacionales. Por esta razón, en el presente estudio se denomina DPE a dicho departamento, el cual ha gestionado las funciones de las Licenciaturas de Administración y Economía de la institución desde 1975.

La organización objeto de estudio fue seleccionada debido a la disponibilidad de proporcionar información sobre sus procesos internos y el acceso a los actores involucrados. Adicionalmente, comparte características comunes con otras organizaciones educativas públicas de tamaño pequeño, lo que permite realizar inferencias analíticas sobre contextos organizacionales similares, sin pretender una generalización estadística.

Fase II. Levantamiento de la información

Durante el período 2024 a 2025 se realizó trabajo de campo para hacer el manual de procedimientos, ya que dicho departamento no contaba con este instrumento. Se identificaron y documentaron 30 de más de 50 procedimientos de la DPE, que se utilizaron para elaborar los caminos de la red organizacional. La red se construyó a partir de fuentes institucionales y entrevistas abiertas con informantes clave pertenecientes a las áreas involucradas. La representación final de la red fue revisada por actores con conocimiento directo de los procesos analizados, quienes corroboraron la correspondencia entre la modelización realizada y la operación organizacional. En la Figura 1 se muestra un ejemplo con el procedimiento denominado “solicitud de mantenimiento”. En los demás procedimientos del departamento se siguió la misma lógica de construcción. De esa forma, esta triangulación permitió reducir

sesgos de interpretación y fortalecer la confiabilidad de la estructura de red obtenida.

Se identificó el nombre del puesto del actor o actores de interés y se les etiquetó para conformar los nodos de la red y sus funciones en cada procedimiento. Los actores identificados fueron los siguientes: asistente administrativa del departamento (AAD), profesor del departamento (PD), secretaria de profesores (SPROF), jefatura del departamento (JDPE), coordinación de espacios físicos (CEF), servicios generales (SG), la entidad compuesta de la CEF y de SG (CEFySG), y otra entidad conformada por AAD, JDPE y PD (AAD_JDPE_PD). En ese sentido, hay dos formas para identificarlos; en la primera, se desarrollaron dos tipos de nodos, los primeros para el caso individual, que sucede cuando un solo actor procesa la información de un proceso y después la envía al actor siguiente; y los segundos para el caso colectivo, que se presenta cuando se agrupan dos o más actores distintos y procesan la misma información, formando una nueva entidad, para posteriormente enviarla al actor correspondiente para continuar con el flujo de trabajo. En el manual de procedimientos desarrollado se incluyó el procedimiento descrito junto con los códigos de la red.

Fase III. Caminos de la red

Los caminos de la red se construyeron a partir de los procedimientos organizacionales documentados. Cada procedimiento se representó como una secuencia de interacciones entre puestos de trabajo, donde los nodos corresponden a los cargos organizacionales y las aristas representan el flujo de información entre ellos. En este sentido, un procedimiento organizacional inicia en un nodo de origen, transita por uno o varios nodos intermedios conforme se desarrollan las actividades y concluye en un nodo de destino.

Para registrar las relaciones entre los nodos (puestos), los caminos de la red se almacenaron en un archivo digital con extensión CSV, organizados en dos columnas llamadas “origen” y “destino”, las cuales identifican los pares de

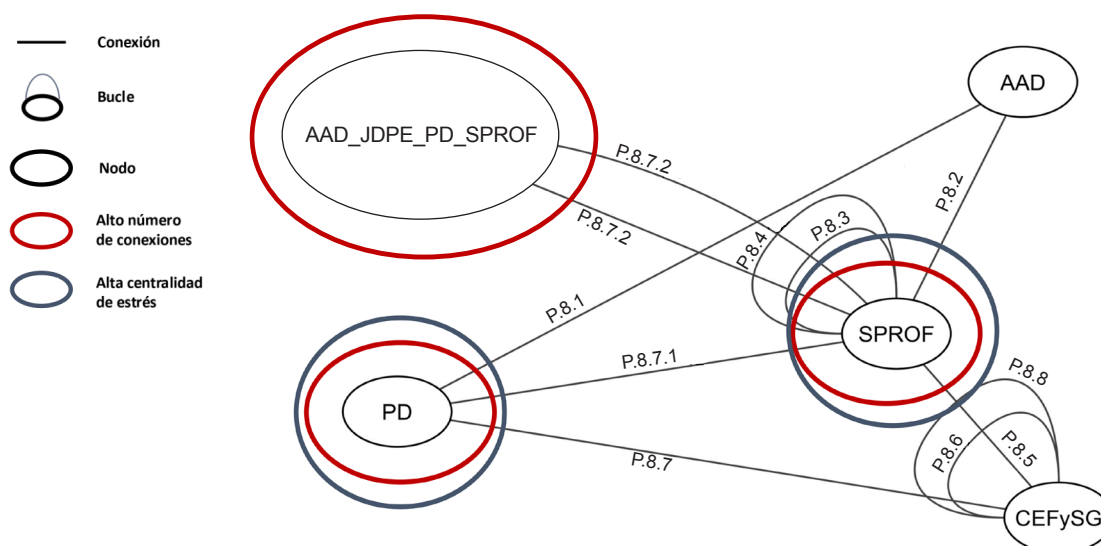


Figura 1. Red del procedimiento denominado “solicitud de mantenimiento” de DPE.
Figure 1. Network of the procedure “maintenance request” of DPE.

nodos conectados por cada interacción procedimental. Cada fila del archivo representa una relación entre dos puestos involucrados en un procedimiento, mientras que el conjunto de estas relaciones constituye la estructura completa de la red organizacional. Dicha representación permitió cargar posteriormente la información en Cytoscape para su visualización y análisis.

Fase IV. Modelización de un procedimiento

En la última fase, se procesó la información de los procedimientos de la DPE contenida en el archivo CSV. En dicha representación, los nodos corresponden a los puestos o cargos de los actores involucrados, mientras que las aristas representan las relaciones procedimentales que indican el origen y destino del flujo de información. Esta modelización permitió analizar la estructura interna de la red organizacional.

Posteriormente, se construyeron escenarios de remoción de nodos para evaluar la robustez y vulnerabilidad de la red del DPE. En dichos escenarios se removieron nodos relevantes de la estructura en función de su grado de conectividad y centralidad de estrés, con el propósito de observar cambios en la configuración de la red y estimar el posible impacto de dichas remociones sobre el flujo de los procesos.

Las métricas estructurales fueron calculadas mediante la herramienta NetworkAnalyzer de Cytoscape 3.7.1. Se emplearon los indicadores de grado, centralidad de estrés, coeficiente de agrupamiento, número de componentes conectados, diámetro, radio, longitud de ruta promedio y densidad, los cuales son utilizados en el análisis de redes complejas para identificar nodos relevantes y patrones de conectividad y cambios estructurales ante escenarios de remoción.

Análisis estadísticos

Para evaluar formalmente la relación entre el grado de conectividad de los nodos removidos y el número de componentes resultantes, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson.

Modelación de la red

La relación entre los actores de la red del DPE se caracteriza por la existencia de flujos de información y retroalimentación entre participantes, por lo cual la red fue modelada como no dirigida. Aunque una interacción puede originarse en el actor A y dirigirse al actor B, esta no concluye necesariamente en dicho punto, ya que puede generarse un retorno de información desde B hacia A. Dicha dinámica evidencia la presencia de mecanismos de validación y ajuste continuo entre los partici-

pantes, por lo que la red no se restringe a una estructura estrictamente dirigida o lineal. Por el contrario, se configura como una red abierta en la que las conexiones permiten procesos de retroalimentación que fortalecen la coordinación y la construcción conjunta de significado entre los actores.

Cabe señalar que la red fue modelada mediante aristas binarias no ponderadas. Por ello, las conexiones representan únicamente la existencia de una relación entre actores identificada en los procedimientos organizacionales. La frecuencia o intensidad de las conexiones no fue ponderada de manera independiente, aunque la recurrencia de relaciones entre ac-

tores se ve reflejada en la métrica del grado de nodo.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra el proceso para la construcción de la red del procedimiento denominado “solicitud de mantenimiento”. En ella se observan las diferentes etapas, sus códigos y su descripción. La Figura 1 es la representación gráfica de dicho procedimiento mediante los nodos que simbolizan a los actores participantes y las aristas (conexiones) que indican el flujo de las interacciones. Los nodos con mayor número de conexiones (círculos rojos), mantienen más interacciones con otros actores para llevar a cabo el

■ **Tabla 1. Descripción de las etapas del procedimiento modelo y su codificación.**
Table 1. Description of the stages of the model procedure and their coding.

Etapas del procedimiento	Código	Descripción
8.1. El profesor del departamento (PD) solicita a la asistente administrativa mantenimiento (AAD) de duplicado de llaves, fallas en líneas telefónicas, lámparas descompuestas, fugas en el baño, muebles, ventanas, mantenimiento de toda el área física y de cubículos.	P.8.1	{PD, AAD}
8.2. El(la) asistente administrativa (AAD) contacta a la secretaria de profesores (SPROF) para elaborar oficio de la solicitud.	P.8.2	{AAD, SPROF}
8.3. La secretaria de profesores (SPROF) elabora el oficio del mantenimiento.	P.8.3	{SPROF, SPROF}
8.4. La secretaria de profesores (SPROF) sube el oficio al software “Dictaminadoras” de la universidad.	P.8.4	{SPROF, SPROF}
8.5. La secretaria de profesores (SPROF) entrega el oficio a la Coordinación de Espacios Físicos y Servicios Generales (CEFySG).	P.8.5	{SPROF, CEFySG}
8.6. La Coordinación de Espacios Físicos y Servicios Generales (CEFySG) hace una programación de la actividad o servicio.	P.8.6	{CEFySG, CEFySG}
8.7. El profesor del departamento (PD) verifica que se realizó el servicio de mantenimiento por parte de la coordinación de Espacios Físicos y Servicios Generales (CEFySG).	P.8.7	{PD, CEFySG}
8.7.1. En caso de ser positivo, el profesor del departamento (PD) avisa a la secretaria de profesores (SPROF). En caso de ser negativo, se debe esperar a que se realice el mantenimiento, el cual no puede pasar del mes.	P.8.7.1	{PD, SPROF}
8.7.2. La secretaria de profesores (SPROF) solicita firma de cumplimiento del requerimiento por parte de la asistente administrativa (AAD), jefatura de departamento (JDPE) o del profesor del departamento (PD), y ellos a su vez lo regresan a la secretaria de profesores (SPROF).	P.8.7.2	{SPROF, AAD_JDPE_PD, SPROF}
8.8. La Coordinación de Espacios Físicos y Servicios Generales (CEFySG) al haber realizado el servicio, marca de atendido en su programación la actividad o servicio.	P.8.8	{CEFySG, CEFySG}

procedimiento, por lo que desempeñan un papel relevante en la circulación de información dentro de esta red procedimental. Por otro lado, los nodos atravesados por un mayor número de caminos más cortos entre pares de nodos (círculos azules) actúan como puntos de paso o articulación funcional para el flujo de información, lo que implica que una parte importante de las trayectorias de comunicación pasa por ellos, aun cuando no necesariamente ocupen una posición formal de autoridad dentro de la estructura organizacional (Scardoni y Lau, 2012). En algunos de estos nodos se observan bucles de información, es decir, aristas que salen y regresan al mismo nodo, lo que evidencia procesos de retroalimentación interna o actividades que se resuelven dentro de una misma unidad funcional. Esquematizar el procedimiento permitió observar y modelar relaciones organizacionales mediante análisis de redes complejas, las cuales normalmente permanecen invisibles en las representaciones formales de la estructura.

Los valores de las métricas obtenidas en Cytoscape para la red del procedimiento “solicitud de mantenimiento” se muestran en la Tabla 2. El coeficiente de agrupamiento o clustering fue de 0.6, dentro de la escala de 0 a 1, lo que representa un nivel moderadamente alto de cohesión local. Este resultado sugiere que los actores del procedimiento mantienen múltiples conexiones entre sí, favoreciendo la formación de relaciones locales. Asi-

■ **Tabla 2. Métricas globales de la red del procedimiento “solicitud de mantenimiento”.**
Table 2. Global metrics of the “maintenance request” procedure network.

Descripción	Valor
Coeficiente de agrupamiento	0.6
Componentes conectados	1
Diámetro de la red	2
Radio de la red	1
Longitud de la ruta promedio	1.4
Número de nodos	5
Número de aristas	11
Densidad de la red	0.6

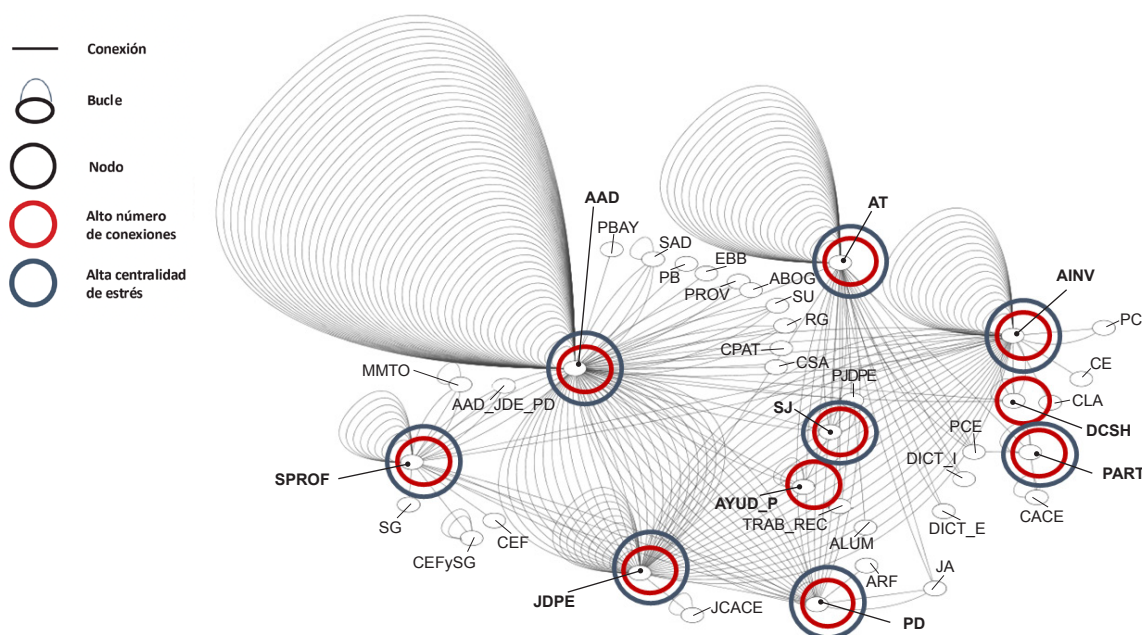
mismo, todos los nodos se integraron en un solo componente conectado, lo que indica que cualquier nodo puede alcanzarse desde cualquier otro mediante alguna trayectoria dentro de la red.

El diámetro de la red fue de 2 pasos, lo que representa el número máximo de pasos necesarios para conectar los nodos más alejados del sistema. Por su parte, el radio de la red fue de 1 paso, lo que indica que existe al menos un nodo desde el cual se puede alcanzar al resto de la red con una distancia máxima de un paso. La longitud de la ruta promedio presentó un valor de 1.4. Mientras que la densidad de la red fue de 0.6, lo que significa que están presentes el 60 % de las conexiones posibles entre los cinco nodos que integran la red. En conjunto, estas métricas muestran que la red del procedimiento “solicitud de mantenimiento” presenta una configuración compacta y conectada. Con base en este procedimiento, y aplicando la misma metodología de modelización, se procesó la información de los procedimientos del DPE.

Modelado integral de todo el departamento

Los procedimientos del DPE analizados mediante Cytoscape permitieron modelar la red organizacional integral del departamento (Figura 2). Los diez nodos con mayor grado de conectividad, marcados con círculos rojos, fueron: AAD, asistente técnica (AT), JDPE, ayudante de investigación (AINV), SPROF, PD, secretaria de jefatura (SJ), División de Ciencias Sociales y Humanidades (DCSH), ayudante de profesor (AYUD_P) y participantes del congreso anual del comité editorial (PART) (Tabla 3).

Los nodos con mayor centralidad de estrés, marcados con círculos azules en la Figura 2, correspondieron a AAD, AT, SPROF, AINV, JDPE, PD, PART y SJ (Tabla 3). Estos nodos son atravesados por un mayor número de caminos más cortos dentro de la red, por lo que constituyen puntos relevantes para la articulación del flujo de información entre diferentes sectores de la estructura organizacional.



■ Figura 2. Red organizacional de DPE.
Figure 2. DPE organizational network.

Las métricas globales obtenidas con *Cytoscape*, con un coeficiente de agrupamiento de 0.19 (Tabla 4), indican que algunos nodos tienden a vincularse entre sí formando triadas cerradas o pequeños clústeres de interacción. Este patrón refleja la existencia de relaciones recíprocas entre actores cercanos, lo que sugiere la existencia de rutas alternativas de interacción entre algunos actores.

El diámetro de la red fue de 5 pasos, lo que representa el número máximo de pasos necesarios para conectar los nodos más alejados de la estructura. El radio fue de 3 pasos, valor que corresponde a la menor de las distancias máximas desde un nodo hacia el resto de la red, por lo que permite identificar la accesibilidad relativa de los nodos más centrales. Longitud de la ruta promedio fue de 2.605 pa-

■ Tabla 3. Nodos con mayor grado de conectividad de la red de DPE ordenados de manera descendente.
Table 3. Nodes with the highest degree of connectivity in the DPE network, ordered in descending order.

Nodo actor	Descripción nodo actor	Grado de conexión	Centralidad estrés	No. de componentes
AAD	Asistente administrativa	170	1 014	11
AT	Asistente técnica	71	770	6
JDPE	Jefe(a) del departamento	69	270	2
AINV	Ayudante de investigación	66	322	4
SPROF	Secretaria de profesores	35	534	6
PD	Profesor de departamento	28	254	2
SJ	Secretaria de jefatura	8	38	1
DCSH	División de Ciencias Sociales y Humanidades	7	0	1
AYUD_P	Ayudante de profesor	7	0	1
PART	Participantes del congreso anual del comité editorial	7	108	2

■ Tabla 4. Métricas globales de la red integral de procesos organizacionales del DPE.
Table 4. Global metrics of the DPE's overall organizational process network.

Descripción	Red integral	Al separar el nodo		
		AAD	AT	JDPE
Coefficiente de agrupamiento	0.190	0.085	0.131	0.175
Componentes conectados	1.0	11	6	2
Diámetro de la red	5	5	4	5
Radio de la red	3	3	1	3
Longitud de la ruta promedio	2.605	2.940	2.374	2.632
Número de nodos	38	37	37	37
Número de aristas	267	145	219	208
Número de nodos aislados	0	10	4	1
Densidad de la red	0.071	0.047	0.059	0.066

sos, lo que indica que existen trayectorias relativamente cortas entre los actores. La red organizacional integral del DPE presentó una densidad de 0.071, lo que significa que solo el 7.1 % de las conexiones posibles entre los 38 nodos está presente. La baja densidad no implica desconexión, ya que la red se mantiene integrada en un solo componente; sin embargo, sí sugiere una configuración más dispersa y menos redundante, en la que nodos como la AAD, la AT y la JDPE, identificados previamente entre los de mayor conectividad y centralidad, desempeñan un papel relevante en la articulación del flujo de información.

Por otro lado, se identificaron nodos con bajo grado de conectividad en la red organizacional integral (Figura 2), como el Profesor de Componente (PC), el Coordinador de Licenciatura en Economía (CE), el Profesor Base y Ayudante de Profesor Base (PBAY) y el Encargado de Bodegas (EBB). Aunque algunos de estos nodos, como el CE, desempeñan funciones relevantes, su bajo grado de conectividad indica que participan de manera más acotada en los flujos representados por esta red.

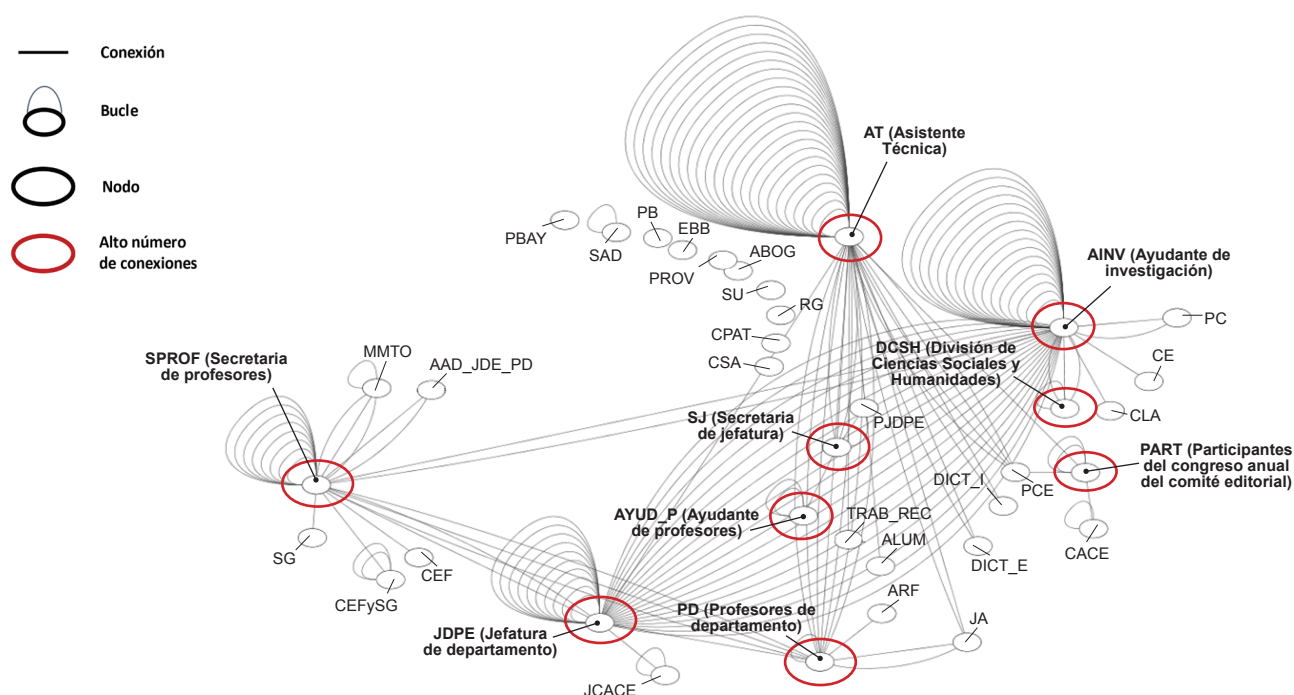
En conjunto, estos indicadores muestran que la red organizacional integral del DPE mantiene conectividad global y una estructura con trayectorias internas relativamente cortas. A pesar de su baja densidad, las distancias entre nodos sugieren que el flujo de información pue-

de circular mediante trayectorias breves dentro de la red. Sin embargo, esta conectividad depende de la posición de ciertos nodos estratégicos que articulan los procesos, lo que proporciona un punto de partida para analizar los efectos estructurales derivados de la remoción de nodos (Tabla 4).

Robustez de la red

En los diferentes escenarios construidos para evaluar la robustez de la red del DPE, se realizaron simulaciones de remoción de nodos seleccionados en función de su grado de conectividad y centralidad de estrés. El propósito fue observar los cambios en la configuración de la red y estimar el posible impacto de dichas remociones sobre su estructura y conectividad. Los escenarios permitieron identificar diferencias en el nivel de fragmentación de la red y en el número de componentes conectados resultantes después de la remoción de cada nodo.

En el primer escenario de remoción se analizó la separación del nodo más conectado de la red, identificado como AAD (Figura 3). Aunque el coeficiente de agrupamiento permaneció por encima de cero después de su remoción (Tabla 4), la estructura resultante se fragmentó en 11 componentes conectados. Este resultado muestra que la separación de AAD produce una pérdida significativa de cohesión global, ya que diversos nodos o gru-



■ Figura 3. Visualización de la red de la DPE al separar al primer nodo más conectado, en este caso AAD (Asistente administrativa).

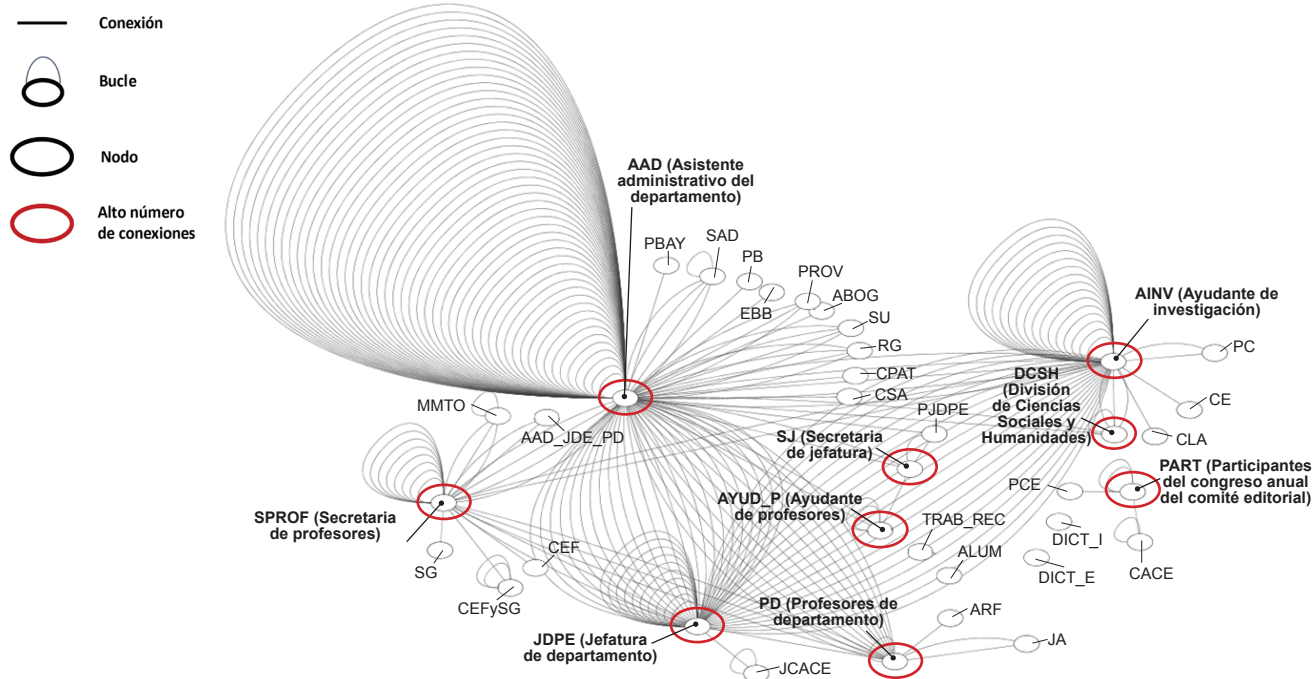
Figure 3. Visualization of the DPE network by separating the first most connected node, in this case AAD (Administrative Assistant).

pos de nodos dejan de mantener conexión con el componente principal, lo que puede afectar la continuidad del flujo de información y la funcionalidad de los procesos organizacionales.

En el segundo escenario de remoción se analizó la separación del nodo AT, correspondiente al segundo nodo con mayor grado de conectividad en la red (Figura 4). Como resultado, la red se fragmentó en 6 componentes, por lo que el flujo de información presentó el riesgo de no propagarse de manera efectiva. No obstante, las triangulaciones aún se mantienen en algunas partes de la red, lo que muestra la persistencia de relaciones locales entre ciertos nodos vecinos (Tabla 4).

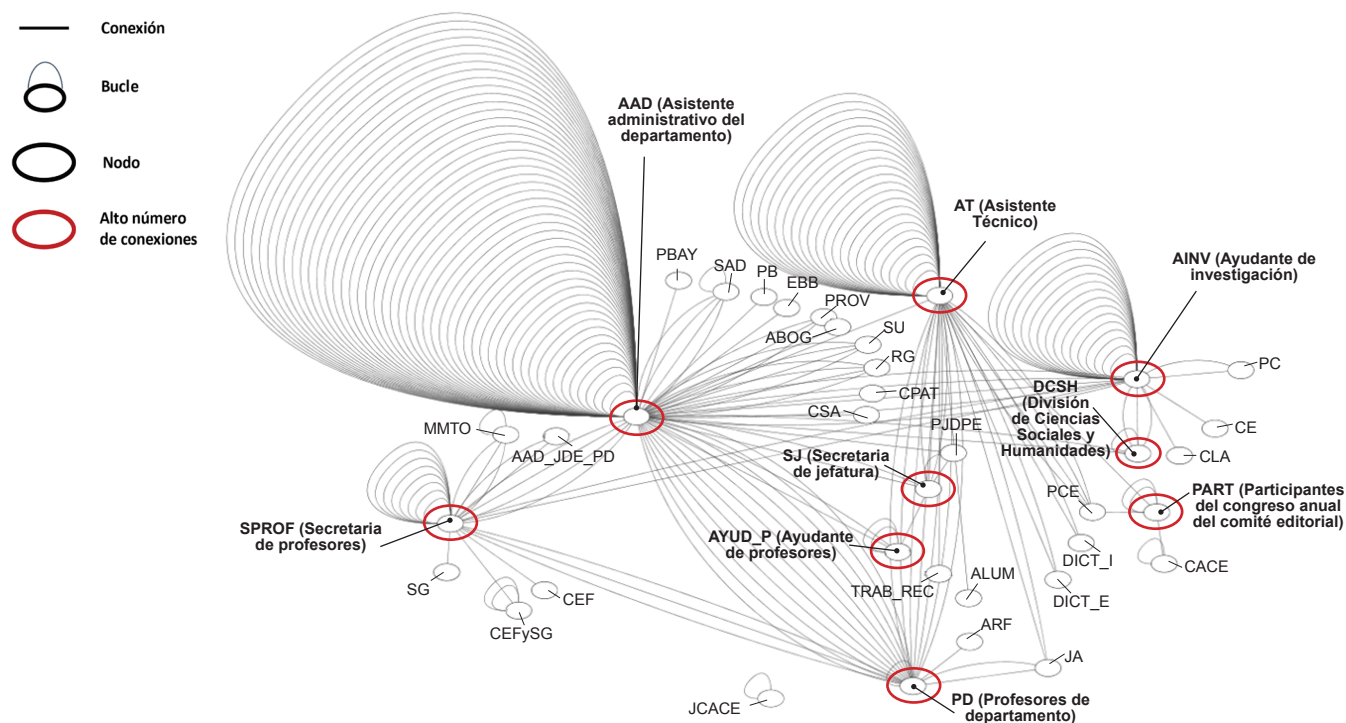
En el tercer escenario de remoción se analizó la separación del nodo JDPE, correspondiente al tercer nodo con mayor grado de conectividad en la red (Figura 5 y Tabla 4). La estructura resultante se dividió en 2 compo-

nentes conectados, con un nodo aislado. Este resultado indica que la remoción de JDPE produce una fragmentación menor en comparación con los escenarios de AAD y AT, por lo que el componente principal conserva una mayor proporción de la conectividad global. Además, la persistencia de triangulaciones en la red sugiere que algunas relaciones locales entre nodos se mantienen después de la remoción. Cabe señalar que AAD y AT son los nodos que combinan mayor grado de conectividad y mayor centralidad de estrés, lo que explica su mayor impacto sobre la operación de los procesos y la cohesión estructural de la red. Para ampliar el análisis de robustez, se continuó con la simulación de escenarios de remoción, separando los nodos de la red en orden descendente según su grado de conectividad, hasta llegar al décimo nodo más conectado. En la Tabla 3 se observan los datos de los nodos removidos, su grado de conectividad y el número de componentes resultantes después de cada remoción.



■ Figura 4. Visualización de la red de la DPE al separar el segundo nodo más conectado: AT (Asistente técnica).

Figure 4. Visualization of the DPE network by separating the second most connected node: AT (Technical Assistant).



■ Figura 5. Visualización de la red de la DPE al separar el tercer nodo más conectado: JDPE (jefe(a) del Departamento).

Figure 5. Visualization of the DPE network by separating the third most connected node: JDPE (Head of Department).

La Figura 6 muestra la comparación entre los escenarios de remoción de nodos y el número de componentes resultantes después de cada separación. Los datos fueron normalizados para observar la relación entre el grado del nodo removido y la fragmentación de la red. Por ejemplo, la separación de los nodos SJ, DCSH y AYUD_P no afectó al componente principal, lo que indica que su remoción no produjo una fragmentación estructural relevante. En contraste, la separación del nodo AAD fragmentó la red en 11 componentes, generando un cambio abrupto en la estructura global de la red (Tabla 4).

El coeficiente de correlación de Pearson mostró una correlación positiva alta entre ambas variables, con un valor de $r = 0.885$ y significancia estadística bilateral de $P = 0.00065$, aunque con un tamaño muestral pequeño de $n = 10$ nodos.

Este resultado sugiere que, en los escenarios analizados, la remoción de nodos con alto grado de conectividad se asocia con una mayor

fragmentación estructural en la red, expresado en el incremento del número de componentes resultantes.

DISCUSIÓN

El análisis de los diferentes escenarios de la red de procesos del DPE, a partir de la identificación de nodos críticos y la simulación de su remoción, permitió identificar el impacto potencial que su remoción puede generar sobre la estructura organizacional y la circulación de información entre los actores. Los resultados muestran que la fragmentación producida por la remoción de nodos con alta conectividad o centralidad de estrés evidencia vulnerabilidades estructurales asociadas con la dependencia funcional de posiciones específicas dentro de la organización. Asimismo, permite reconocer posibles implicaciones sobre la efectividad operativa, la continuidad de los procesos y los costos organizacionales desde una perspectiva sistémica.

Los nodos con mayor grado de conectividad pueden considerarse nodos estructuralmente

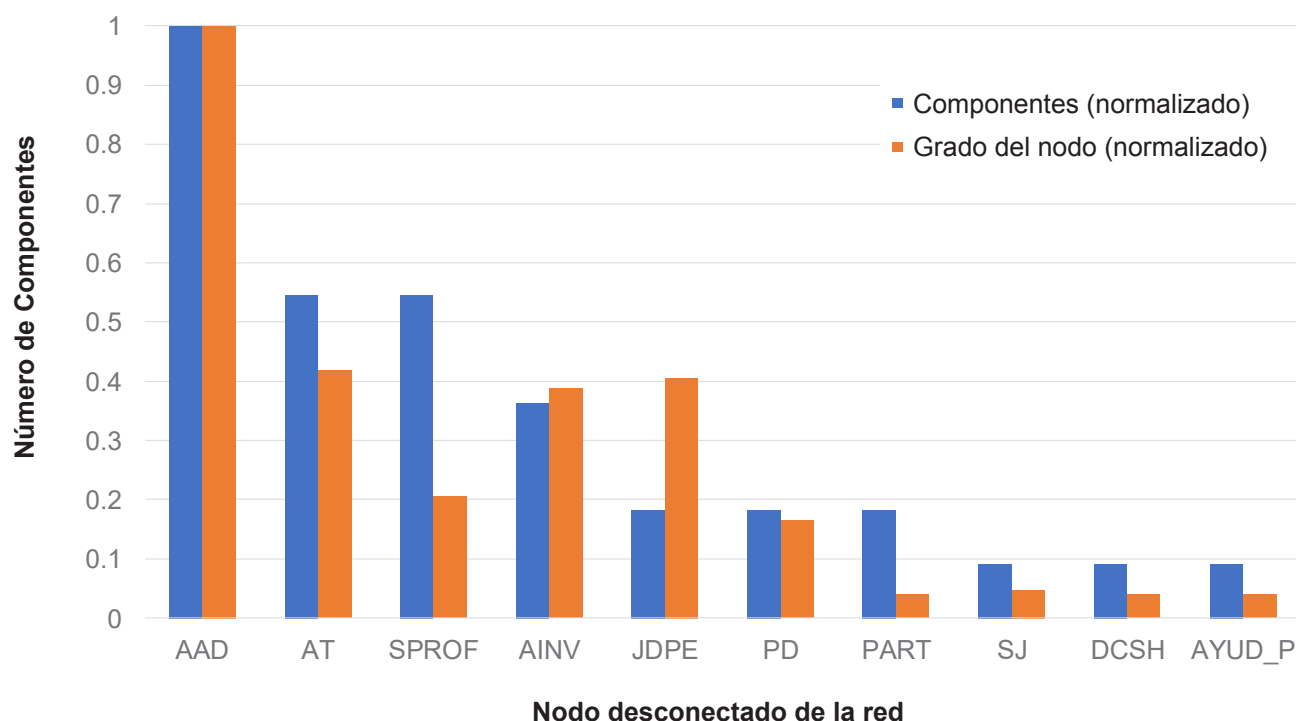


Figura. 6. Comparativo de escenarios.

Figure 6. Scenario comparison.

relevantes dentro de la red, debido a que concentran un mayor número de vínculos con otros nodos. Esta posición puede favorecer en su acceso a la información, su capacidad de difusión y en la articulación de procesos, aunque su influencia también depende de su posición dentro de la estructura de la red (Chen y col., 2023). Los escenarios de remoción mostraron que la separación de esos nodos produjo distintos niveles de fragmentación estructural, poniendo de manifiesto su importancia para mantener la conectividad de la red y la continuidad del flujo de información entre los actores. Estos resultados muestran que el grado de conectividad constituye un indicador útil para identificar nodos críticos; sin embargo, su interpretación se complementa mediante la centralidad de estrés, la cual permite reconocer nodos que desempeñan un papel estratégico en la articulación del flujo de información (Pandey y col., 2022).

La centralidad de estrés identificó los nodos atravesados por un mayor número de caminos más cortos entre pares de nodos de la red. A diferencia del grado, que mide el número directo de conexiones de un nodo, la centralidad de estrés enfatiza su papel como punto de paso o canal de circulación dentro de la estructura. En consecuencia, un nodo puede no presentar el mayor grado de conectividad y, aun así, desempeñar un papel estructuralmente relevante al concentrar trayectorias críticas de comunicación y coordinación entre diferentes sectores de la red. En el caso del DPE, los nodos con alta centralidad de estrés pueden interpretarse como puentes funcionales dentro de la estructura organizacional, ya que concentran trayectorias relevantes para la circulación de información entre distintos actores o áreas del departamento. Su importancia radica en que favorecen la articulación de procesos y la continuidad del flujo de información, aun cuando no necesariamente correspondan a los nodos con mayor grado de conectividad. Esta interpretación es consistente con el papel de las métricas de centralidad para identificar nodos estructuralmente relevantes en redes complejas (Scardoni y Lau, 2012; Wang y col., 2022).

En cualquier estructura de red, la función de un nodo no depende únicamente de sus características individuales, sino también de su posición dentro de la topología general de la red (Khademi y col., 2021). En el caso de la red del DPE, la posición que ocupa cada nodo resulta particularmente relevante, ya que los procedimientos organizacionales generan patrones específicos de conexión, dependencia y circulación de información. Por ello, ciertos nodos pueden convertirse en puntos críticos cuando concentran trayectorias relevantes para la articulación de los procesos o cuando su separación altera la conectividad de la red y, con ello, la continuidad del flujo de información entre los actores. Desde esta perspectiva, la red del DPE debe interpretarse como una representación analítica de una estructura organizacional más amplia que, en palabras de Chanlat (2021), ofrece únicamente una parte de la realidad organizacional.

Los resultados evidencian una concentración de la conectividad y de la centralidad de estrés, en un conjunto de actores del DPE, lo que indica una estructura organizacional con una alta dependencia funcional de determinadas posiciones para mantener la circulación de información y la coordinación de procesos. Este patrón ha sido identificado en otros estudios de redes organizacionales (Li y col., 2023; Ramos y col., 2022), donde la presencia de nodos altamente centrales se asocia con una mayor capacidad de articulación de procesos, pero también con un incremento en la vulnerabilidad estructural frente a su pérdida o inhabilitación. En este sentido, la fragmentación observada tras la remoción de nodos estratégicos evidencia la existencia de puntos críticos cuya ausencia afecta significativamente la cohesión de la red. En conjunto, los resultados muestran que el análisis de redes de procesos organizacionales permite identificar dependencias funcionales que difícilmente son visibles mediante los organigramas o las herramientas tradicionales de análisis organizacional, aportando una perspectiva complementaria para comprender la robustez y la vulnerabilidad de las organizaciones.

Cabe resaltar que, aunque la resiliencia organizacional constituye un referente conceptual del estudio, esta no fue evaluada directamente. Los resultados se centran en identificar condiciones de robustez y vulnerabilidad que, desde una perspectiva estructural, pueden favorecer el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de la organización frente a perturbaciones (Khademi, 2021; Marocco y col., 2024).

Es importante señalar que, los resultados deben interpretarse considerando algunas limitaciones inherentes al diseño de investigación. En primer lugar, al tratarse de un estudio de caso único, no pretenden generalizarse estadísticamente, sino contribuir a la comprensión analítica de la estructura y vulnerabilidad de redes organizacionales en contextos específicos. En segundo lugar, la red fue construida a partir de procedimientos documentados mediante trabajo de campo y entrevistas, por lo que constituye una formalización analítica de los procesos organizacionales identificados. Finalmente, la red obtenida corresponde a una representación transversal de las interacciones derivadas de los procedimientos analizados, por lo que no incorpora la dinámica temporal de los flujos de información, las relaciones entre actores ni la evolución de los procesos organizacionales. En este sentido, futuras investigaciones podrán contrastar la estructura formal con las prácticas organizacionales observadas e incorporar análisis dinámicos de redes.

Los resultados obtenidos sugieren que la redistribución de procesos hacia otros nodos constituye una estrategia potencial para reducir la dependencia funcional de actores específicos y fortalecer la continuidad del flujo de información. Cuando una persona concentra múltiples procesos, se convierte en un *hub* o nodo central (Barabási, 2016); su ausencia o pérdida de funcionalidad puede incrementar la vulnerabilidad estructural de la red. Este hallazgo subraya la importancia de diversificar las dependencias funcionales y de promover una gestión del conocimiento transversal, que involucre tanto a los colaboradores como a los di-

rectivos (Danko y Crhová, 2025). En particular, los líderes deben comprender las interrelaciones entre los procesos y su alineación con los objetivos organizacionales.

Las vulnerabilidades identificadas en la red ponen de manifiesto la necesidad de adoptar estrategias de gestión capaces de fortalecer la continuidad operativa y reducir la dependencia de nodos críticos. La gestión estratégica concebida desde la perspectiva de los SCA implica articular los elementos organizacionales reconociendo su interconexión e imprevisibilidad. Dicho enfoque supone un cambio desde modelos centrados exclusivamente en el control hacia esquemas orientados al aprendizaje, adaptación y emergencia. Bajo esta perspectiva, las interacciones entre los actores adquieren un papel central, ya que modificaciones locales pueden propagarse y afectar el funcionamiento global de la organización (Castaings-Teillery, 2015).

Con base en estos resultados, un enfoque de gestión estratégica con perspectiva sistémica constituye un marco útil para comprender y gestionar las interdependencias identificadas entre los actores organizacionales del DPE. En particular, la concentración de la conectividad y de la centralidad de estrés en actores como AAD y AT evidencia la necesidad de fortalecer mecanismos que reduzcan la dependencia estructural de estas posiciones. Entre las acciones potenciales se encuentran la documentación y transferencia de conocimiento, la redistribución de actividades críticas, el establecimiento de esquemas de respaldo operativo y la automatización de tareas administrativas recurrentes. Estas estrategias contribuirían a fortalecer la robustez organizacional y disminuir la vulnerabilidad asociada a la pérdida o ausencia temporal de actores estratégicos, favoreciendo la continuidad operativa de la organización.

En conjunto, los resultados muestran que el análisis de redes de procesos organizacionales permite identificar dependencias funcionales que no necesariamente son visibles en la es-

estructura jerárquica formal de la organización. En el caso del DPE, la mayor fragmentación producida por la remoción de actores operativos como la AAD, en comparación con la observada tras la remoción de la JDE, un cargo con mayor nivel jerárquico en la organización, evidencia que la criticidad estructural de un puesto depende principalmente de la posición que ocupa dentro de la red de procesos y de la función que desempeña en la articulación de la información, más que de la jerarquía formal que representa. Desde esta perspectiva, el análisis de redes constituye una herramienta complementaria para fortalecer la robustez organizacional y orientar estrategias de gestión basadas en una comprensión sistémica de las interdependencias organizacionales.

CONCLUSIONES

El análisis de flujo de información del departamento administrativo seleccionado para el estudio (DPE), a través de una modelización basada en conectividad, centralidad y eficiencia, establece que, en este caso particular, la robustez operativa dependió de la estructura e interconexión de los procesos, más que de la jerarquía formal. La estrategia de remoción de nodos con alto nivel de conectividad y centralidad de estrés permitió identificar dependencias funcionales que permanecen ocultas en la estructura jerárquica formal de la organización y que condicionan su robustez y continuidad operativa. Es importante para esta organización implementar estrategias que establezcan la redistribución de actividades críticas y responsabilidades, para evitar posibles colapsos de los procesos administrativos. Se

recomienda desarrollar estudios longitudinales que permitan observar cómo se modifica la red organizacional ante cambios en los procedimientos, la distribución de responsabilidades o en la rotación de actores clave. También debe considerarse contrastar la red construida con información observacional sobre la ejecución cotidiana de los procesos, con el fin de detectar posibles diferencias entre la estructura formal declarada y la práctica organizacional. Es conveniente implementar estudios comparativos con otros departamentos u organizaciones educativas públicas de características similares para evaluar la consistencia de los patrones de concentración, vulnerabilidad y fragmentación identificados en este estudio, así como de redes dirigidas y ponderadas que permitan analizar la dirección, frecuencia e intensidad de las interacciones entre los actores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el financiamiento otorgado para la realización de la estancia de posdoctorado de la Dra. Carmen Hernández Cansino. Asimismo, se agradece al Dr. Gustavo Carreón Vázquez y a la Dra. Alejandra Urbiola Solís por su asesoría durante dicha estancia. Por otro lado, se hace extenso el agradecimiento a la Dra. Graciela Carrillo González por el apoyo y colaboración con este artículo.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de intereses de ningún tipo.

REFERENCIAS

- Artime, O., Marco Grassia, M., De-Domenico, M., Gleeson, J. P. Makse, H. A., Mangioni, G., Perc, M., & Radicchi, F. (2024). Robustness and resilience of complex networks. *Spring Nature* 6, 114-131. <https://doi.org/10.1038/s42254-023-00676-y>
- Aya-Velandia, L. A. (2020). Aportes de los sistemas y redes complejas para la transformación social. *Logos Ciencia & Tecnología*, 12(1), 204-216. <https://www.redalyc.org/journal/5177/517762281017/html/>
- Barabási, A. L. (2016). Network Science. [En línea]. Disponible en: <http://networksciencebook.com/>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2023.
- Borgatti, S. P. & Foster, P. C. (2003). The network paradigm in organizational research: A review and typology. *Journal of Management*, 29(6), 991-1013. <https://doi.org/10.1016/S014>

9-2063(03)00087-4

- Castaingts-Teillery, J. (2015). Campos, organizaciones, empresas y cambios estructurales. Un punto de vista a partir de la teoría de los sistemas complejos adaptativos. *Análisis Organizacional*, 1(7), 62-86.
- Castells, M. (2009). Communication power. Oxford, New York: Oxford university press.
- Chanlat, J. F. (2021). Gestión y subjetividad en el trabajo en el mundo euroamericano: tres posturas principales. *Innovar*, 31(79), 27-41. <https://doi.org/10.15446/innovar.v31n79.91958>
- Chen, B., Tong, R., Chen, Y., Jiang, P., Gao, X., & Tao, H. (2023). A network key node identification method based on improved multiattribute fusion. *Wireless Communications and Mobile Computing*, (1), 4386621. <https://doi.org/10.1155/2023/4386621>
- Danko, L. & Crhová, Z. (2025). Rethinking the role of knowledge sharing on organizational performance in knowledge-intensive business services. *Journal of the Knowledge Economy*, 16(4), 13873-13893. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02354-5>
- Demchak, B. (2023). *Cytoscape Product Roadmap*. [En línea]. Disponible en: <https://cytoscape.org/roadmap.html>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2023.
- Espín-Noboa, L., Peixoto, T. P., & Karimi, F. (2023). Social network modeling and applications, a tutorial. *arXiv preprint arXiv: 2306.11004*.
- Frigotto, M. L., Young, M., & Pinheiro, R. (2022). Resilience in organizations and societies: The state of the art and three organizing principles for moving forward. In R. Pinheiro, M. L. O, & M. Young (Ed.). *Towards Resilient Organizations and Societies* (pp. 249-276). https://doi.org/10.1007/978-3-030-82072-5_10
- Hassel, H. & Cedergren, A. (2025). Facing the unexpected: a literature review on methods for assessing organizational adaptive capacity. *Environment Systems and Decisions*, 45(3), 27.
- Hernández-Cansino, C., Carreón-Vázquez, G. y Urbíola-Solís, A. E. (2023). Una metodología a partir de los sistemas complejos adaptativos para la construcción de redes basada en procesos organizacionales. *Acta Universitaria*, 33, 1-18. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3804>
- Holland, J. H. (2004). El orden oculto: de cómo la adaptación crea la complejidad. Fondo de Cultura Económica.
- Khademi, N., Bababeik, M., & Fani, A. (2021). Sparsenail network robustness analysis: Functional vulnerability levels of accidents resulting from human errors. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2(3), 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2021.07.001>
- Li, Z., Tang, J., Zhao, C., & Gao, F. (2023). Improved centrality measure based on the adapted PageRank algorithm for urban transportation multiplex networks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 167, 112998. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.112998>
- Marocco, S., Marini, M., & Talamo, A. (2024). Enhancing organizational processes for service innovation: Strategic organizational counseling and organizational network analysis. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 9, 1270501. <https://doi.org/10.3389/frma.2024.1270501>
- Pandey, S. D., Ranadive, A. S., Samanta, S., & Sarkar, B. (2022). Bipolar-Valued Fuzzy Social Network and Centrality Measures. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, (1), 9713575.
- Ramos, V., Pazmiño, P., Franco-Crespo, A., Ramos-Galarza, C., & Tejera, E. (2022). Comparative organizational network analysis considering formal power-based networks and organizational hierarchies. *Heliyon*, 8(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08661>
- Scardoni, G. & Lau, C. (2012). Centralities based analysis of complex networks. *New Frontiers in Graph Theory*. <https://doi.org/10.5772/35846>
- Schwarze, A. C., Jiang, J., Wray, J., & Porter, M. A. (2024). Structural robustness and vulnerability of networks. *arXiv preprint arXiv: 2409.07498*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.07498>
- Wang, M., Wang, H., & Zheng, H. (2022). A mini review of node centrality metrics in biological Networks. *International Journal of Network Dynamics and Intelligence*, 99-110. <https://doi.org/10.53941/ijndi0101009>
- Watson, M. K., Winchester, C. C., Luciano, M. M.,

- & Humphrey, S. E. (2025). Categorizing the complexity: A scoping review of structures within organizations. *Journal of Management*, 51(1), 309-343. <https://doi.org/10.1177/01492063241271252>
- Watts, D. J. (2003). Six degrees: The Science of a Connected Age. Random House.
- Xie, Y., Desouza, K. C., & Jabbari, M. (2023). On organizational robustness: A conceptual framework. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 31(1), 105-120. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12423>