



Redes complejas como metodología para el control gubernamental en procesos de contratación pública en Ecuador

Carlos Luis Redroban Ortiz

*Docente Investigador en la Universidad Tecnológica ECOTEC
Ecuador*

ORCID: [0000-0002-0672-5323](https://orcid.org/0000-0002-0672-5323)

Luis Arturo Rivas-Tovar

*Catedrático del Instituto Politécnico Nacional; Investigador Nacional nivel III
CONAHCYT
México*

ORCID: [0000-0002-5186-9895](https://orcid.org/0000-0002-5186-9895)

Xavier Mauricio Torres Maldonado

*Contralor General del Estado y Docente en la Universidad Central
Ecuador*

ORCID: [0009-0003-5338-0449](https://orcid.org/0009-0003-5338-0449)

Carlos Alberto Almeida Alvarado

*Docente en la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL
Ecuador*

ORCID: [0009-0002-6782-5990](https://orcid.org/0009-0002-6782-5990)

Lucía Victoria Jaramillo Sangurima

*Asesora en la Contraloría General del Estado
Ecuador*

ORCID: [0009-0005-3042-030X](https://orcid.org/0009-0005-3042-030X)

RECIBIDO: 5 de marzo de 2024

ACEPTADO: 12 de septiembre de 2024



RESUMEN: En el marco de la lucha contra la corrupción, se llevó a cabo esta investigación con el objetivo de implementar nuevas metodologías de control gubernamental en la contratación pública en Ecuador; a través del método de investigación basada en redes complejas. Se analizaron 19797 procesos contractuales; este contexto motivó la siguiente pregunta de investigación: ¿La metodología de redes complejas puede ayudar al control que realiza la Entidad Fiscalizadora Superior Ecuatoriana para mitigar los riesgos de corrupción derivados del ambiente de contratación pública? Los resultados muestran que, utilizando redes complejas y aplicando métricas de centralidad, es posible identificar actores (nodos) recurrentes en procesos de contratación pública (aristas) con mayor conectividad (grado). La relevancia de este estudio radica en que los resultados son inéditos, pues no existen estudios previos en los que se fiscalice la contratación pública con esta metodología que puede servir como punto de inicio de un hallazgo de auditoría.

PALABRAS CLAVE: Redes complejas, contratación pública, corrupción, control gubernamental, compras públicas.

CONTENIDOS: 1.- Objeto de estudio. 2.- Breve historia y peligro de la corrupción en la contratación pública ecuatoriana. 3.- El control gubernamental. 4.- Redes complejas. 4.1.- *Topología de redes*. 4.2.- *Métricas de centralidad*. 5.- Método de investigación. 6.- Resultados. 7.- Análisis. 8.- Discusión. - Bibliografía.

Complex networks as a methodology for governmental control in public procurement in Ecuador

ABSTRACT: Within the framework of the fight against corruption, this research was carried out with the objective of implementing new methodologies of governmental control in public procurement in Ecuador; through the research method based on complex networks, 19797 contractual processes were analyzed; this context motivated the following research question: Can the methodology of complex networks help the control carried out by the Ecuadorian Supreme Audit Institution to mitigate corruption risks derived from the public procurement environment? The results show that, using complex networks and applying centrality metrics, it is possible to identify recurrent actors (nodes) in public procurement processes (edges) with greater connectivity (degree). The relevance of this study lies in the fact that the results are unprecedented, since there are no previous studies in which public procurement is audited with this methodology and can serve as a starting point for an audit finding.

KEYWORDS: Complex networks, public contracting, corruption, governmental control, public procurement.



1.- Objeto de estudio

Dentro de la administración pública, el sistema de contratación pública permite contar con los bienes y servicios que demandan las instituciones del Estado para el correcto funcionamiento y atención de las necesidades de sus ciudadanos; en Ecuador, este sistema de contratación sufrió una reforma completa a partir del año 2008 con la emisión de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública la cual dio paso a la dinamización de las compras estatales por medio de un portal web bajo los principios de la administración pública aplicados a la contratación pública¹.

La Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, creó como ente rector en materia de contratación pública al Instituto Nacional de Contratación Pública (INCOP), posteriormente denominado SERCOP, quien es el encargado entre otras funciones del control de los procesos y procedimientos de contratación, así como de la difusión de las estadísticas de las compras públicas en el Ecuador.

En febrero del año 2021, producto de los innumerables casos de corrupción que se presentaron en el contexto de la contratación pública durante la pandemia del covid-19, se promulgó la Ley Orgánica Reformatoria al Código Orgánico Integral Penal en Materia Anticorrupción, la cual reformó a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (LOSNCP), a la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado (LOCGE) y al Código Orgánico Integral Penal (COIP) con la finalidad de mitigar los riesgos de corrupción derivados de procesos de contratación pública y sancionar con más fuerza a los actos de corrupción detectados.

En febrero de 2024, se promulgó la Ley Orgánica para el Ahorro y la Monetización de Recursos Económicos para el Financiamiento de la Lucha contra la Corrupción, con el objeto principal de financiar la lucha contra la corrupción, transparentar la contratación pública y, mediante mecanismos expeditos de extinción de dominio sostener las finanzas públicas; esta ley reformó una vez más a la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado y a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, entre otras, en temas de mitigación de riesgos y control en materia de contratación pública.

Según la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), la corrupción es un fenómeno social, político y económico complejo que afecta a todos los países,² su prevención y combate demanda de la participación activa de todos los países miembros de la ONU; desde esta premisa, el SERCOP, bajo los principios de transparencia y publicidad, y mediante una política de datos abiertos da a conocer a la ciudadanía, a la academia, a las entidades de control y a todos quienes estén interesados en aportar con nuevos mecanismos de control y fiscalización de

¹ Art. 4.- Principios. - Para la aplicación de esta Ley y de los contratos que de ella deriven, se observarán los principios de legalidad, trato justo, igualdad, calidad, vigencia tecnológica, oportunidad, concurrencia, transparencia, publicidad; y, participación nacional.

² Informe de la Oficina contra el Delito y la Droga de las Naciones Unidas: Acción Mundial Contra la Corrupción. Los Documentos de Mérida - 2005



la gestión pública, los datos y estadísticas que genera constantemente las compras públicas a nivel nacional en Ecuador (López, 2022).

Sin embargo, la información que presenta el SERCOP en calidad de ente rector ecuatoriano en materia de contratación pública (Fig. 1), se estructura sobre el típico sistema econométrico en el cual no se permite evidenciar la relación que existe entre los principales actores que participan en el ecosistema de contratación pública.

Figura: 1 Reporte de contratación pública durante el año 2023



Fuente: SERVICIO NACIONAL DE CONTRATACIÓN PÚBLICA, 2024.

Por esta razón se llevó a cabo esta investigación con el objetivo de implementar una nueva metodología de investigación dentro de las técnicas analíticas que se aplican en el control gubernamental con el fin de identificar patrones en redes estructuradas en base a las relaciones que se forman con los procedimientos de contratación pública y que al identificarlos oportunamente puede mitigar o eliminar los posibles riesgos de corrupción en la gestión pública (Luna y Nicolás, 2020; Galvis, Marin y Garnica, 2021; Rivas-Tovar, 2024).

La investigación demostró que si es posible hacerlo, diseñando en primera instancia estructuras estáticas de redes (gráficas) que se forman en los procesos de contratación pública para posteriormente identificar los actores principales (nodos o vértices) y sus relaciones entre ellos (bordes o enlaces) (Sayama, 2015);

Una vez estructurada la información en redes, se puede identificar mediante las variables de centralidad ciertos patrones de recurrencia que se presentan en el sistema de contratación pública, que pueden servir como mecanismos de alerta para mitigar el riesgo de corrupción en la contratación (Strogatz, 2001; Newman, 2003; Luna and Nicolás, 2020; Rivas-Tovar, 2024).



La relevancia de esta investigación radica en que la teoría de redes complejas constituye una poderosa herramienta de análisis para ejercer el control gubernamental, en una de las áreas más sensibles a las malas prácticas en la contratación pública pues son rubros fuertes que designan los gobiernos de cada nación a nivel mundial para mantener operativo el andamiaje institucional y cumplir su función primordial de servir a sus conciudadanos.

La contratación pública está relacionada directamente con el movimiento de grandes sumas de dinero lo que conlleva a crear un entorno expuesto a posibles actos de corrupción; en consecuencia, demanda una mayor fiscalización por parte del organismo de control responsable de revelar en sus informes de auditoría hechos que posteriormente se constituyan en pruebas y evidencias sustanciales en los delitos contra la administración pública (Torres, 2022).

Uno de los hallazgos más estimulantes ha sido el descubrir después de una rigurosa revisión del estado del arte que no existen estudios previos en los que se haya analizado los procesos de contratación pública con la metodología de redes complejas usando métricas de centralidad, concretamente la variable de centralidad de grado; y, se identificó a ciertos proveedores (nodos) que tienen más participación en la contratación pública (grado) y la dimensión de su recurrencia a nivel nacional (enlaces).

Este estudio con diseño de redes complejas estáticas se considera un punto de partida para posteriormente poder aplicar análisis dinámicos, incorporando más actores lo cual permitirá identificar patrones de comportamiento en las redes de compras públicas; esto, en términos de control interno podrían ayudar al control que ejerce el SERCOP como ente rector en materia de contratación pública así como en cada entidad pública como ejecutora de estos procedimientos; y, dentro del control externo permitirían a la Contraloría General del Estado como Entidad Fiscalizador Superior gestionar de mejor manera sus recursos para ejecutar una auditoría integral (Torres *et al.*, 2017).

2.- Breve historia y peligro de la corrupción en la contratación pública ecuatoriana

La contratación pública ecuatoriana tiene génesis en el nacimiento del Estado como república en el siglo XIX, en primera instancia fue regida por la Ley Orgánica de Hacienda con la que se perfecciona el procedimiento de contratación pública por medio de licitaciones como única forma de contratar con el Estado y se complementó con la exigencia de un aval financiero contenida en una certificación presupuestaria con fondos necesarios para la celebración de contratos administrativos (Viscarra, 2021; Granda, 2023).

En 1964 con la Ley de Licitación y Concurso de Ofertas promulgada mediante Decreto Supremo No. 128 de 30 de enero de 1964, se regula la adquisición de bienes, prestación de algún tipo de servicio y contratación de obras, posteriormente, en 1989 con una nueva Ley regula la contratación pública para la prestación de servicios profesionales especializados catalogados como consultorías.

En el año 1990 entra en vigor la Ley de Contratación Pública derogando la Ley de Licitaciones, esta normativa establece un marco jurídico para contratar con el



Estado, incorporando nuevos procedimientos precontractuales sobre los cuales se debía regir la contratación pública; en el 2001, la Codificación a la Ley de Contratación Pública brindaba seguridad jurídica a la administración pública, pues - para ciertos montos- previo a la firma de contratos se exigía de informes favorables de la Procuraduría General del Estado y de la Contraloría General del Estado como ente fiscalizador de los recursos públicos ecuatorianos (Viscarra, 2021).

Durante varios años la contratación pública ha sido criticada, debido que a lo largo de la historia la legislación ecuatoriana ha permitido prácticas discrecionales obscuras que perjudicaban al Estado; estas, por una parte, contribuían a la interpretación subjetiva de ciertos funcionarios públicos y contratistas; y, por otra parte, denotaba una falta de cumplimiento de los principios de transparencia, publicidad y libre participación de contrataciones.

Otra grave debilidad del sistema era la regulación normativa. Un informe de transparencia internacional en el que mostraba que en Ecuador existían más de ocho mil normas legales dispersas en leyes, decretos y reglamentos internos aplicables para interpretar los procesos de contratación pública a discreción de cada entidad pública y con poco o nulo control de un ente regulador de la materia.

Con el cambio de Constitución en Ecuador en el año 2008, prácticamente se reformó todo el sistema jurídico del país y en materia de contratación pública la LOSNCP, revolucionó la forma de llevar a cabo los procesos de contratación pública por medio de una plataforma digital a fin de democratizar y transparentar la contratación pública, impulsar el desarrollo y economía del país contando con bienes y servicios de óptima calidad y principalmente, que exista la participación nacional utilizando los procedimientos de catálogo electrónico, subasta inversa, ínfima cuantía, régimen especial, menor cuantía, cotización, licitación, etc.

La LOSNCP, sufrió varias reformas legales desde su promulgación, siendo las más importantes: 1.- la realizada en febrero de 2021, mediante la Ley Orgánica Reformatoria al Código Orgánico Integral Penal en Materia Anticorrupción, la cual no solo reformó a la LOSNCP, sino también a la LOCGE y al COIP con la finalidad de mitigar los riesgos de corrupción derivados de procesos de contratación pública y sancionar con más fuerza a los actos de corrupción detectados; y, 2.- la realizada en febrero de 2024, mediante la Ley Orgánica para el Ahorro y la Monetización de Recursos Económicos para el Financiamiento de la Lucha contra la Corrupción, que reformó varios cuerpos legales con el objeto de financiar la lucha contra la corrupción, transparentar la contratación pública, sostener las finanzas públicas, mitigar de riesgos y control en materia de contratación pública.

La corrupción como un fenómeno social que corroe los cimientos de la sociedad dista de segregar culturas o élites de cualquier clase para cumplir con su objetivo, según (Gimeno, 2016), el mayor nicho de corrupción gira en torno a las contrataciones públicas; y, pese a que organizaciones como las NNUU, OCDE, Transparencia Internacional, Comunidad Europea, etc., han motivado la implementación de normas rigurosas, estas resultan ineficientes para mitigar el riesgo de corrupción que se origina entorno al ambiente de la contratación pública.



Pese a que muchos países a su interior tratan de controlar los embates de la corrupción, esta ha evolucionado a tal punto de convertirse en un fenómeno transnacional; a nivel de Latinoamérica por ejemplo el caso "Lava Jato" originado en Brasil, destapó un verdadero sistema de corrupción a nivel regional que tenía su modus operandi en los sistemas de contratación pública de los países involucrados y que incluía a ciertos actores de diversos estatus sociales y posiciones civiles y gubernamentales.

En México son también conocidos el caso "la Estafa Maestra" en el gobierno del presidente Peña Nieto que supuso un quebranto de 280 millones de dólares que involucró a universidades públicas (Márquez, 2021). Y el caso "Segalmex", en el gobierno del presidente López Obrador que supuso un quebranto de 900 millones de dólares que lucró con una institución pensada para ayudar a los más pobres sin que ningún funcionario relevante haya sido imputado.

Tabla 1. Prácticas anticompetitivas en los procedimientos de consultoría

Estrategemas de la contratación pública	
Alteración de información	Manipulación de información según las necesidades de quienes pactan el acto, con el objetivo de favorecerse de una oferta.
Chantaje	Presión sobre una persona para sacar provecho.
Colusión	Acuerdos previos a la realización de procedimiento de contratación entre personas naturales o jurídicas para manipular o amañar el resultado.
Coima	Entrega de algún tipo de beneficio a ciertos actores con el objetivo de salir favorecido en un procedimiento de contratación pública.
Condiciones Impropias	
Subjetividad	Los parámetros de evaluación no se apegan a la realidad y no se determina variables objetivas para el análisis de la oferta.
Discriminación	Los pliegos se elaboran sobre parámetros que limitan la participación de más oferentes y se direcciona el proceso.
Exclusión	Las entidades excluyen ciertos parámetros e incluyen otro tipo de elementos que generan determinadas ilegalidades en los pliegos.
Prácticas anticompetitivas	
Requisitos redundantes	Requisitos que se fijan los cuales están por demás y no tienen justificación de haber sido exigidos.
Subdivisión	División del proceso de contratación en varios para beneficiar a determinado proveedor o eludir procedimientos de ley.
Prácticas desleales	Prevalecer en el mercado mediante una ventaja significativa adquirida como resultado del incumplimiento de una norma jurídica, tales como actos de confusión, engaño, explotación de la reputación ajena, etc.

Fuente: Adaptado de Zuleta (2017).



En Ecuador, varios casos de corrupción giraron en torno a procesos de consultorías de los cuales Zuleta (2017), realiza un análisis de la problemática de la corrupción e identifica las prácticas detalladas en la Tabla 1.

Si bien estas prácticas fueron identificadas en procedimientos de contratación pública de consultoría, se presentan en todos los tipos de procedimientos que contempla la LOSNCP en el Ecuador; sin embargo, estos no son exclusivos de este país; en el "Congreso Internacional: el desafío de la recuperación y el papel de la contratación pública" llevado a cabo en junio de 2022 en España, representantes de Argentina, Ecuador, Italia, España entre otros, expusieron las problemáticas de cada uno de sus países en donde se pudo evidenciar que coinciden en dicha problemática y sus causas, empero también, se propuso medidas para contrastarlas tales como: la profesionalización de los servidores públicos, el uso de tecnologías emergentes, mejoras en los procesos de control, etc., (PixelWare, 2024).

3.- El control gubernamental

Las entidades fiscalizadoras superiores (EFS) a nivel mundial, tienen como funciones el control y fiscalización de las organizaciones estatales en cada país respecto de la gestión realizada en la administración pública, función de control del proceso administrativo que recae sobre una organización denominada: Contraloría, Tribunal de Cuentas, Auditoría General o similares (Urzúa, 2018).

En Ecuador esta importante función recae sobre la Contraloría General del Estado, quien actúa de forma descentralizada en las 24 provincias del país y está presente en más de cien unidades de auditoría interna para controlar a más de 3400 entidades públicas a nivel nacional.

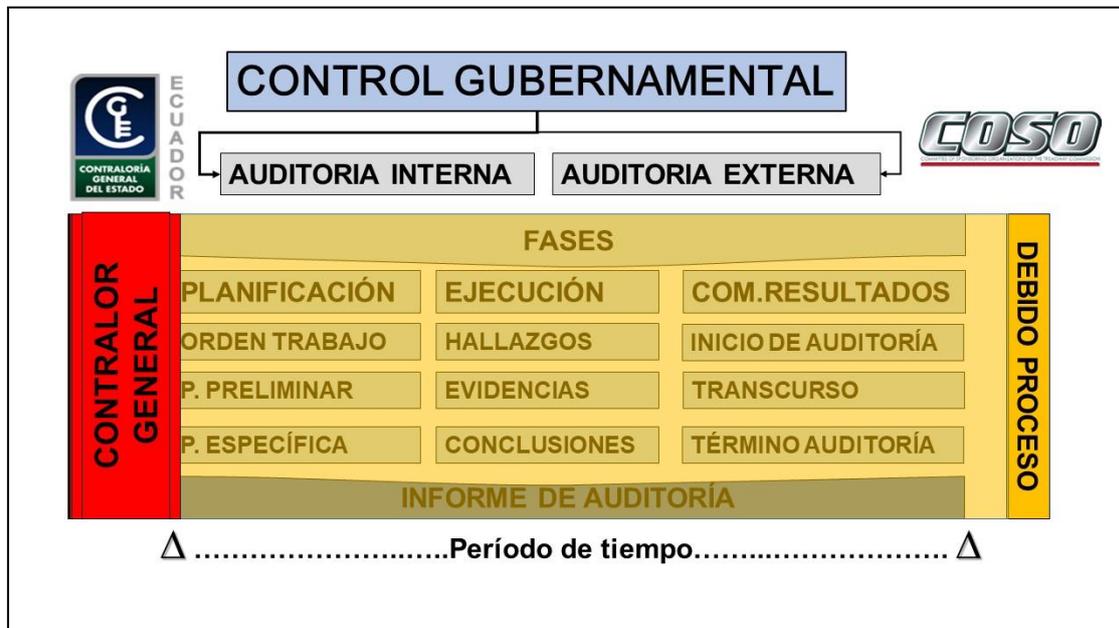
La EFS ecuatoriana forma parte de la INTOSAI al ser, a nivel regional, parte de la Organización Latinoamericana y del Caribe de Entidades Fiscalizadoras Superiores (OLACEFS) que al igual que las demás EFS de la región ha ampliado sus atribuciones más allá del control de legalidad y del control del manejo financiero-contable, para abarcar también la colaboración en el control de la gestión y la rendición de cuentas (Purón, 2016).

En el proceso de control gubernamental, colaboran un sinnúmero de actores e instituciones con la finalidad de elaborar informes de auditoría, en los que, se sintetizan los hallazgos detectados por los equipos de trabajo; empero, pese a que la estructura de dichos informes, se encuentran claramente definidos (Fig. 2), en la práctica cada auditor, debe agotar todas las gestiones para obtener información en organizaciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras para cumplir con el alcance y plazos establecidos para el desarrollo exitoso del mismo.

En este proceso, "el auditor gubernamental debe cumplir con una serie de procedimientos y aplicación de metodologías investigativas con miras a contrastar los hallazgos de tal manera que el contenido de los informes sea veraz y concluyente" (Redroban, 2021, p. 90). Para lograrlo, debe sortear una serie de trámites burocráticos y normativos que dificultan el accionar del auditor gubernamental sobre todo por el acceso a cierta información que goza del principio de reserva y confidencialidad (Torres, 2022).



Figura: 2 Infografía del proceso de auditoría gubernamental



Fuente: (Redroban, 2022)

En materia de contratación pública la Contraloría General del Estado ejecuta el control *ex post*, ya que a diferencia del SERCOP -que realiza un control continuo a todo el proceso de contratación pública-, la EFS ecuatoriana fiscaliza los actos posteriores derivados de los procesos y procedimientos de contratación pública.

Los resultados obtenidos se plasman en los informes de auditoría gubernamental en los que se evidencian el accionar de los servidores públicos, se emiten recomendaciones que son de carácter obligatorio; y, posteriormente dan paso mediante la emisión de actos administrativos a procesos sancionatorios en materia administrativa, civil o inician procesos de carácter penal (Torres *et al.*, 2017).

4.- Redes complejas

En el ecosistema de la contratación pública participan muchos actores que están en constante interacción y relación entre ellos, estas características típicas de los sistemas complejos se pueden evidenciar técnicamente por medio de las redes complejas que son metodologías derivadas de la teoría de la complejidad que ayudan a estudiar y entender estos fenómenos (Rivas-Tovar, 2021).

Una red, consiste en una estructura de interacciones integradas por una parte con un conjunto de nodos, vértices o actores; y por otra parte con un conjunto de enlaces, relaciones, aristas o lazos que permiten conectar a los primeros; su complejidad depende de la cantidad de variables y datos que convergen en la red, pudiendo llegar a formarse redes multimodales (nodos con atributos diferentes) o redes multiplex (redes con diferentes tipos de enlaces) (Sancho, 2016; Rojas y Montealegre, 2018).



Si bien se necesitan básicamente dos componentes para estructurar las redes (nodos y bordes. Fig. 3), la diversidad de terminologías radica en la disciplina que los use, así, por ejemplo, los matemáticos usan “gráfico/vértice/borde”, los físicos usan “red/nodo/borde”, los informáticos usan “red/nodo/enlace”, los científicos sociales usan “red/actor/enlace” (Sayama, 2015).

Newman (2003), sostiene que las redes se analizan de acuerdo con las variables **N**, **M** y **Z**. Donde:

N= Número total de nodos o vértices

M= Número total de vínculos o bordes

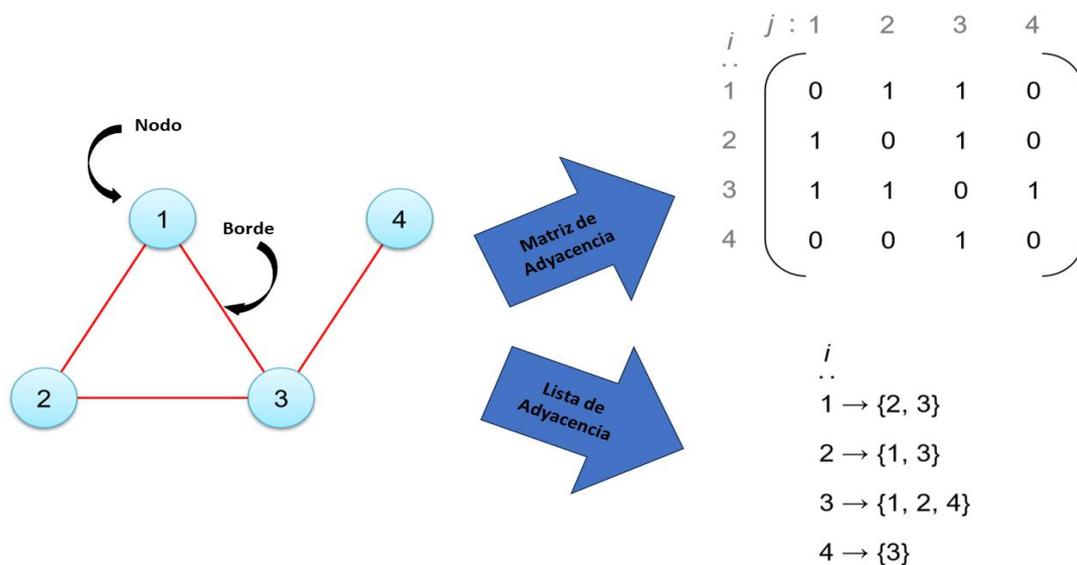
Z= Distancia media entre nodos

Por su parte, Sayama (2015, p. 297), aplica la idea de vecindad para estructurar una red, así representa a una red definiendo sus componentes con la siguiente premisa: “El nodo **j** se llama vecino del nodo **i** si (y sólo si) el nodo **i** está conectado al nodo **j**”; de igual manera, de las muchas formas que existen para representar a las redes, el autor señala como las más comunes a la matriz de adyacencia y a la lista de adyacencia (Fig. 3).

Matriz de adyacencia.- Una matriz con filas y columnas etiquetadas por nodos, cuyo componente **i-ésima** fila, **j-ésima** columna **aij** es 1 si el nodo **i** es vecino del nodo **j**, o 0 en caso contrario.

Lista de adyacencia.- Una lista de listas de nodos cuyo **i-ésimo** componente es la lista de vecinos **i** del nodo.

Figura 3 Elementos básicos en la estructura de una red no dirigida



Fuente: Adaptado de (Sayama, 2015)



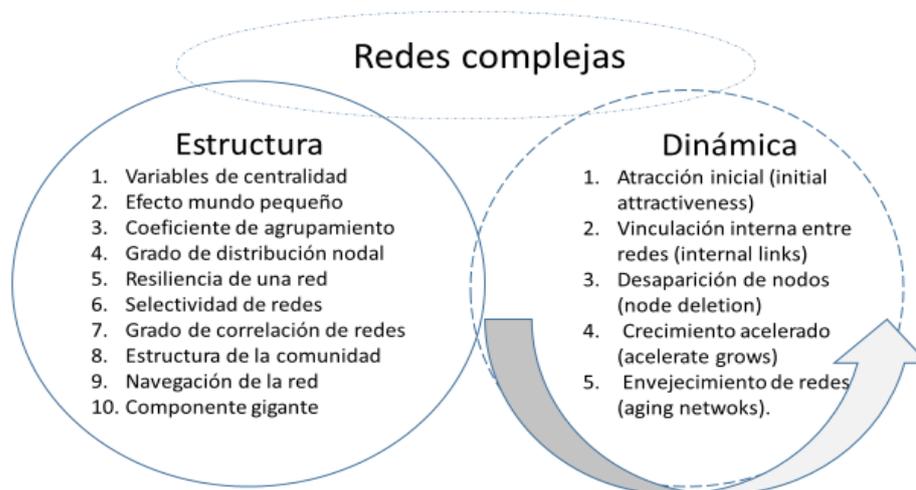
4.1.-Topología de redes

Para comprender la estructura de las redes, es necesario saber identificar a sus componentes y relaciones, desde aquellas que describen sus características en un contexto global, pasando por un contexto local hasta llegar a sus componentes particulares o nodales (Guerrero, 2020; Guilbeault y Centola, 2021; Cárdenas, Rivas-Tovar y García, 2022; Martínez, 2022; Budel et al., 2023).

Las medidas globales describen la red en su totalidad, por medio de las variables de grado promedio, distribución de grado, longitud del trayecto, etc. Las medidas locales describen las características de subredes que se forman dentro de la red, por medio de las variables de *clustering*, transitividad, equivalencia estructural, etc. Las medidas particulares o nodales describen la importancia de cada nodo y la fortaleza de sus relaciones, por medio de las variables de centralidad de grado, cercanía, intermediación y eigenvector (Freeman, 1978; Newman, 2003; Li Wang, Chen y Li, 2022; Bloch, Jackson y Tebaldi, 2023; Rivas-Tovar, 2024).

Los estudios basados en redes complejas se enfocan desde la estructura o desde la dinámica de las redes, al respecto Rivas-Tovar (2023), en su última obra sobre redes complejas, inspirado en los trabajos de Newman y Barabási, plantea el modelo LART sobre el conocimiento y estudio de una red clasificándola en diez variables de estructura y cinco variables de dinámica (Fig. 4).

Figura 4 Modelo LART sobre la estructura y dinámica de una red compleja



Fuente: (Rivas-Tovar, 2024)



4.2.-Métricas de centralidad

Las métricas de centralidad ayudan a identificar los nodos más relevantes o centrales dentro de una red, los atributos más comunes que representan diferentes medidas de centralidad son: el grado, la intermediación, la cercanía y el eigenvector (Guilbeault y Centola, 2021; Budel *et al.*, 2023; Rivas-Tovar, 2024); existen otras mediciones basadas estadísticamente en la centralidad de nodos, el tipo de variable que se debe aplicar en una investigación depende del investigador y del objetivo del estudio (Piedra y Ponjúan, 2021; Cárdenas, Rivas-Tovar y García, 2022; Ayala, Rivas-Tovar y Cardénas, 2023); para el presente estudio se consideraron las métricas de centralidad de grado, centralidad de intermediación y centralidad de cercanía.

La **centralidad de grado** captura la conectividad básica de los nodos, determina que tan conectados están los nodos en la red, es simplemente un grado de nodo normalizado, es decir, el grado real dividido por el grado máximo posible ($n-1$). Para las redes dirigidas, puede definir la centralidad en el grado y la centralidad fuera de grado por separado (Sayama, 2015).

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

La **centralidad de intermediación** determina la importancia que tiene un nodo como intermediario en la red, Sayama, (2015), la demuestra con la siguiente ecuación:

$$C_B(i) = \frac{1}{(n - 1)(n - 2)} \sum_{j \neq i, k \neq i, j \neq k} \frac{N_{sp}(j \overset{i}{\rightarrow} k)}{N_{sp}(j \rightarrow k)}$$

Donde:

$N_{sp}(j \rightarrow k)$ es el número de rutas más cortas de nodo j a nodo k ; y,

$N_{sp}(j \overset{i}{\rightarrow} k)$ es el número de las rutas más cortas de nodo j a nodo k que pasan por nodo i .

La **centralidad de cercanía** mide el camino más corto entre dos nodos i y j , ayuda a identificar nodos que estén más cerca de otros nodos en la red, Sayama, (2015), la demuestra con la siguiente ecuación:

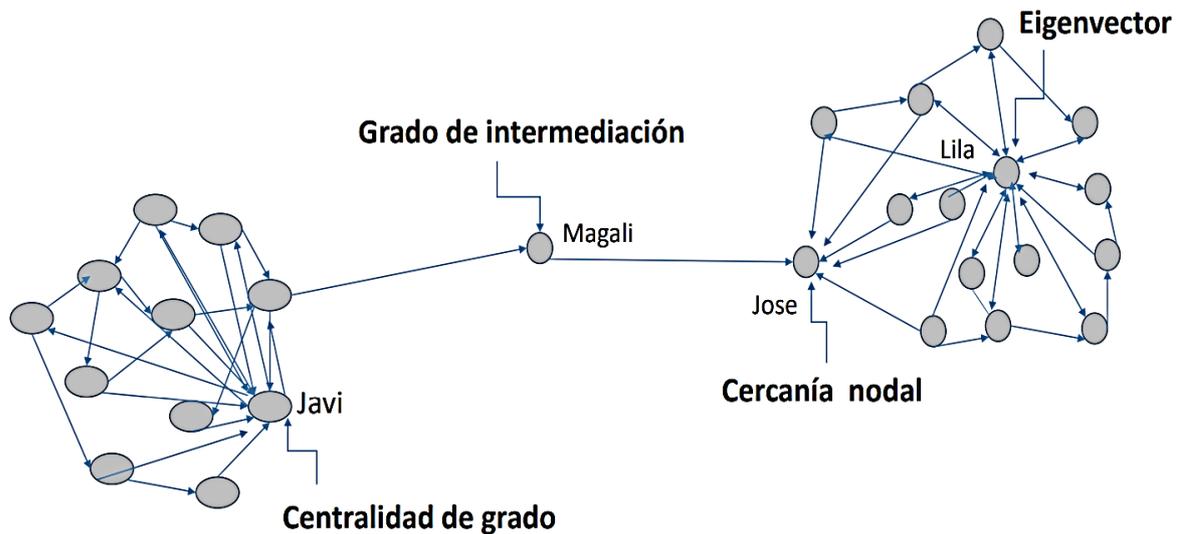
$$C_C(i) = \left(\frac{\sum_j d(i \rightarrow j)}{n - 1} \right)^{-1}$$

Si $C_C(i) = 1$, significa que puede llegar a cualquier otro nodo desde el nodo i en un solo paso.

Rivas-Tovar (2023), demuestra de forma gráfica y sencilla la aplicación de estas métricas en la figura 5.



Figura 5 Medidas de centralidad de una red



Fuente: (Rivas-Tovar, 2024)

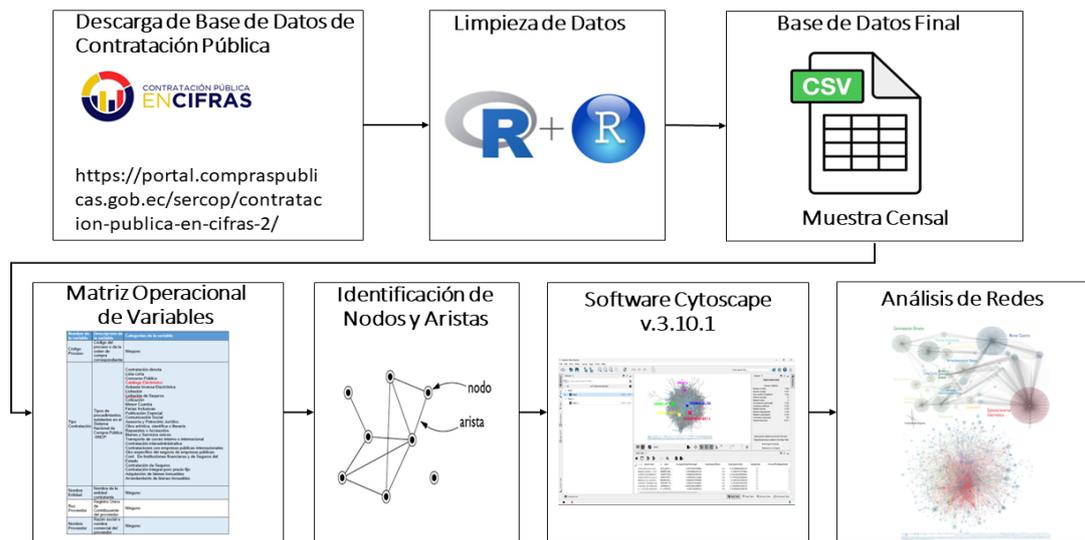
5.- Método de investigación

Para cumplir el objetivo de identificar patrones derivados de las relaciones entre actores claves que participan en la contratación pública en el Ecuador, se aplicó la Teoría de Redes Complejas la cual se propone aplicar como una metodología que permita fortalecer el sistema de control gubernamental que ejerce la Contraloría General del Estado en calidad de Entidad Fiscalizadora Superior ecuatoriana cuando analiza y evalúa procesos de contratación pública.

Para responder la pregunta de investigación planteada: ¿La metodología de redes complejas puede ayudar al control que realiza la EFS ecuatoriana para mitigar los riesgos de corrupción derivados del ambiente de contratación pública?, se realizó un diagrama de recolección de datos, limpieza y procesamiento de estos, conforme se evidencia en la figura 6:



Figura 6 Diagrama para el tratamiento de datos en la investigación



Fuente: Elaboración propia

En primera instancia, desde la página web del Servicio Nacional de Contratación Pública, en el link: <https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/contratacion-publica-en-cifras-2/>; se realizó la descarga de la base de datos de todos los procesos de contratación pública realizados durante el año 2023.

Posteriormente, se procedió a limpiar los datos recabados pues contenía información repetida en varios casos, en otros casos los identificadores de las variables no coincidían con la estructura del Registro Único de Contribuyente (RUC) que identifica a las entidades contratantes y proveedores o contratistas conforme la legislación ecuatoriana vigente en materia de tributación y comercio; y, finalmente se procedió a eliminar aquellos casos en los que los procesos de contratación de Menor Cuantía estaban registrados reiteradamente por cada rubro individual pese a pertenecer a un mismo código identificador.



Tabla 2. Diccionario de variables de régimen común y especial

Nombre de la variable	Descripción de la variable	Categorías de la variable
Código Proceso de Contratación	Código del proceso o de la orden de compra correspondiente	Ninguno
Tipo Contratación	Tipos de procedimientos existentes en el Sistema Nacional de Compra Pública -SNCP	Contratación directa Lista corta Concurso Público Subasta Inversa Electrónica Licitación Licitación de Seguros Cotización Menor Cuantía Ferias Inclusivas Publicación Especial Comunicación Social Asesoría y Patrocinio Jurídico Obra artística, científica o literaria Repuestos o Accesorios Bienes y Servicios únicos Transporte de correo interno o internacional Contratación interadministrativa Contrataciones con empresas públicas internacionales Giro específico del negocio de empresas públicas Cont. De Instituciones financieras y de Seguros del Estado Contratación de Seguros Contratación integral poro precio fijo Adquisición de bienes inmuebles Arrendamiento de bienes inmuebles
Nombre Entidad Contratante	Nombre de la entidad contratante	Ninguno
Ruc Proveedor	Registro Único de Contribuyente del proveedor	Ninguno
Nombre Proveedor	Razón social o nombre comercial del proveedor	Ninguno

Fuente: Contratación pública en cifras 2023. (No incluye ínfima cuantía, catálogo electrónico ni emergencias)



Durante el proceso de descarga y limpieza de datos, no se consideraron aquellos que pertenecen al tipo de contratación de Ínfima Cuantía, Catálogo Electrónico ni procesos de Emergencias, ya que, por finalidad, montos de contrataciones y su recurrencia tergiversaban los resultados afectando al objetivo del estudio, y el mismo ente de control los reporta de forma separada al grupo de procesos denominados de régimen común.

Luego de la depuración de datos se descargó en formato CSV, considerando las variables para la elaboración de la matriz detallada en la Tabla 2. De estas variables se identificaron a los actores de la base de datos que se constituyeron en los nodos en este estudio y de qué forma se relacionaron, de tal manera de estructurar los siguientes tipos de redes derivadas de los procesos de contratación pública ejecutados en el Ecuador durante el año 2023:

Red # 1: Estructura de red por tipo de contratación durante el año 2023

Nodos

Origen: "Tipo Contratación"

Destino: "Nombre Proveedor"

Relación:

R1: "Código Proceso de Contratación"

Red # 2: Estructura de red de contrataciones públicas globales durante el año 2023

Nodos

Origen: "Nombre Proveedor"

Destino: "Nombre Entidad Contratante"

Relación:

R1: "Código Proceso de Contratación"

R2: "Ruc Proveedor"

Para el análisis de datos y visualización de las redes estructuradas, se utilizó el *software open source Cytoscape* versión 3.10.1, desarrollado por la Universidad de California, San Diego (Cárdenas, 2013; Cárdenas, Rivas-Tovar y García, 2022; Ayala, Rivas-Tovar y Cardénas-Tapia, 2023), el cual sirvió para estructurar las dos redes que permita identificar ciertos patrones que ayuden por una parte a mejorar el sistema de control gubernamental y por otra parte permita identificar posibles patrones que pueden llevar a posibles actos de corrupción derivados de los procesos de compras públicas. Este *software* permite identificar propiedades importantes de la estructura de las redes complejas formadas, tales como:



Tabla 3. Parámetros de análisis que realiza el Software CYTOSCAPE V. 3.10.1

Parámetro	Descripción	Comentarios
Coefficiente de agrupamiento	Promedio de los coeficientes de acoplamiento de la red	Se puede interpretar como la probabilidad de que dos nodos que quieran de la red estén conectados
Componentes conectados	Conjunto de nodos que están conectados entre sí por caminos directos o indirectos	Se puede ver como el total de grupos de nodos que hay en la red
Diámetro de la red	La longitud máxima de las trayectorias entre nodos en la red.	El máximo número de saltos necesarios para alcanzar el nodo más lejano. (Utiliza el cálculo de la excentricidad de los nodos)
Radio de red	La mínima excentricidad entre los nodos de la gráfica.	Es el mínimo número de saltos para alcanzar el nodo más lejano en la red.
Caminos más cortos	Distancia L entre dos nodos	Cuando se habla de distribución SP se trata del número de pares que tienen distancia L
Centralización de red	A las redes tipo estrella se les asigna un valor cercano a 1 en este parámetro	Las redes descentralizadas poseen un valor cercano a cero en este parámetro
Densidad de red	Es la normalización del número promedio de vecinos.	Se mide entre 0 y 1 las redes descentralizadas tienen densidad cerca de cero, mientras que las centralizadas tienen valor cerca de uno
Heterogeneidad de la red	Refleja la tendencia de la red a contener hubs	Valores cercanos a 0 muestran baja tendencia a tener nodos Hub

Fuente: Taller en línea. Sistemas complejos aplicados a la economía y fenómenos sociales. UNAM 2020.



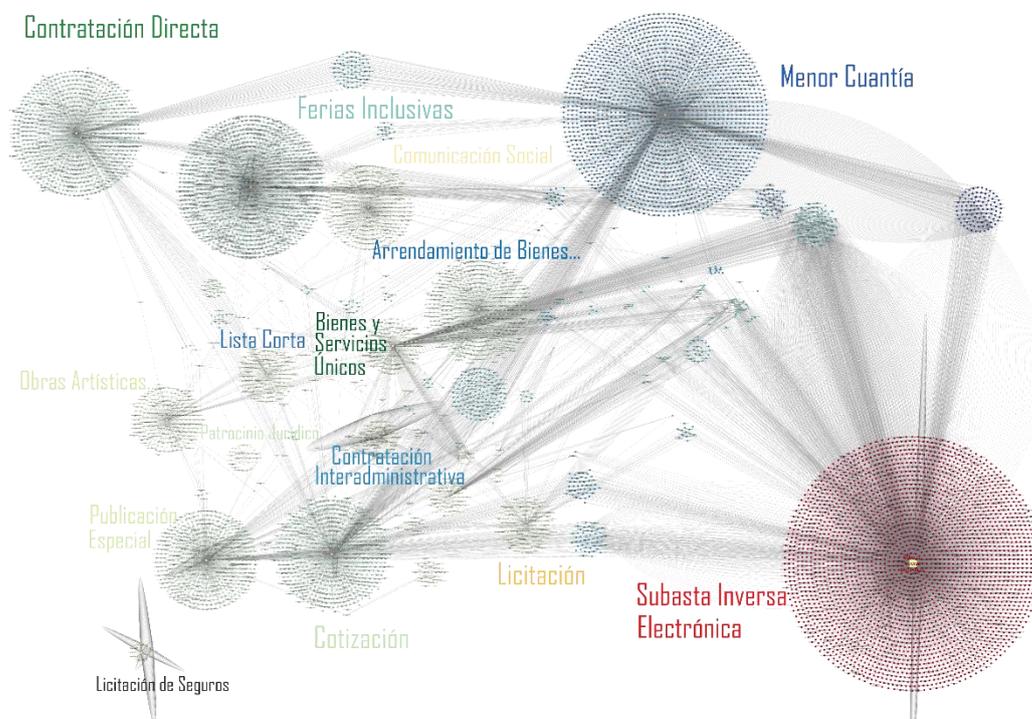
6.- Resultados

Los hallazgos descriptivos de la muestra censal conformada por 19797 procesos de contratación pública catalogados como: régimen común y especial, realizados desde el 1 de enero al 31 de diciembre de 2023 en todo el territorio ecuatoriano, permitió diagramar la estructura de 2 redes para su posterior análisis:

En la primera red en la cual se identifican los patrones relacionados a los tipos de contratación, se observan componentes divididos por los siguientes tipos de contratación: contratación directa, lista corta, concurso público, subasta inversa electrónica, licitación, licitación de seguros, cotización, menor cuantía, ferias inclusivas, publicación especial, comunicación social, asesoría y patrocinio jurídico, obra artística, científica o literaria, repuestos o accesorios, bienes y servicios únicos, transporte de correo interno o internacional, contratación interadministrativa, contrataciones con empresas públicas internacionales, giro específico del negocio de empresas públicas, cont. de instituciones financieras y de seguros del estado, contratación de seguros, contratación integral poro precio fijo, adquisición de bienes inmuebles; y, arrendamiento de bienes inmuebles.

Para efectos de mejorar su identificación se asignó un color identificador a cada tipo de contratación como se evidencia en la figura 7:

Figura 7 Estructura de red por tipo de contratación durante el año 2023



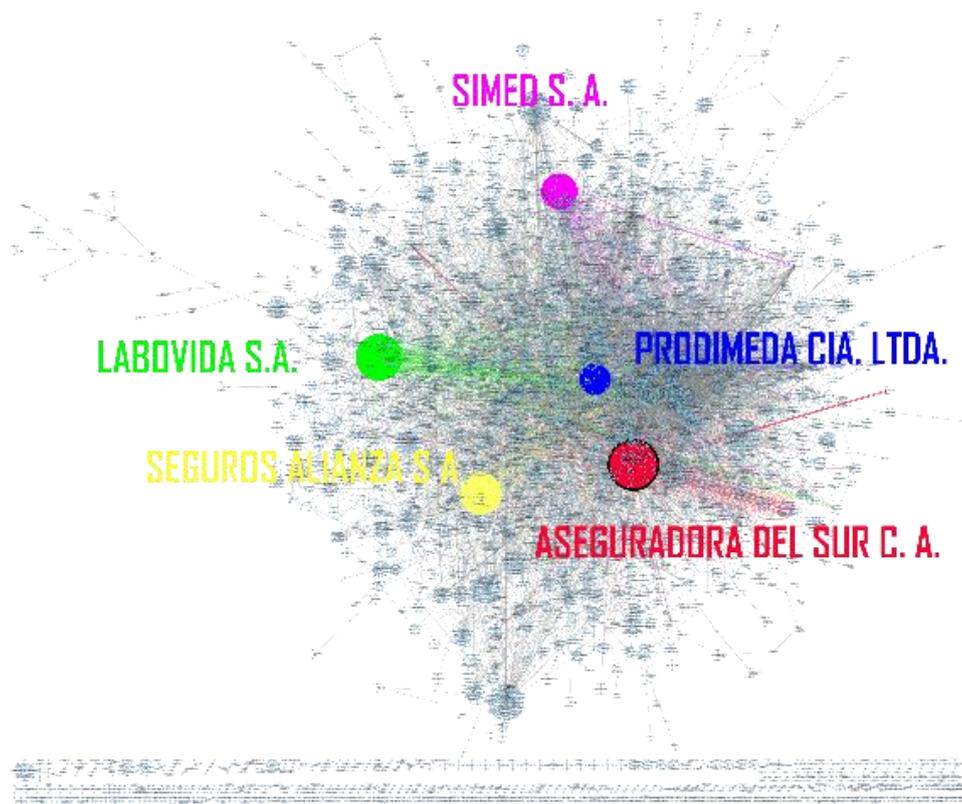
Fuente: Elaboración propia



En la segunda red se presenta la estructura compleja de contrataciones globales que se forman con todos los procesos de contratación pública de régimen común ejecutados durante el año 2023, para estructurar esta red, conforme los postulados de Newman (2003), se definió como nodos de origen a los 9435 proveedores y como nodos de destino a las 2263 entidades contratantes, esto con la finalidad de identificar a los actores principales (nodos) más importantes en función de su participación en todos los procesos de contratación pública según la información que pone a disposición de la ciudadanía el SERCOP en calidad de ente rector de la materia de contratación pública en Ecuador.

En función de la pregunta de investigación planteada, en esta red se identificó a los cinco proveedores con mayor conectividad en base a la métrica de grado, los cuales se muestran en la figura 8.

Figura 8 Estructura de red de contrataciones públicas durante el año 2023



Fuente: Elaboración propia

Esta red es importante para mitigar posibles riesgos de corrupción ya que permite identificar ciertos patrones de reincidencia tanto de proveedores como de entidades contratantes que interactúan en los diferentes procesos de contratación pública. La tabla 4, muestra la información de las variables de centralidad estructural de: grado, intermediación y cercanía, de los 40 nodos más relevantes enlistados en orden de



prelación en base al grado, haciendo énfasis en los cinco proveedores con más conectividad.

Tabla 4. Variables de centralidad estructural: Grado, intermediación y cercanía

No.	Nodos	Medidas de Centralidad		
	Entidades Contratantes y/o Proveedores	Grado	Intermediación	Cercanía
1	Corporación Eléctrica Del Ecuador CELEC EP.	280	0.098	0.269
2	Empresa Pública De Hidrocarburos Del Ecuador EP - Petroecuador	243	0.046	0.238
3	Gobierno Autónomo Descentralizado Del Distrito Metropolitano De Quito	216	0.061	0.241
4	Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional De Electricidad CNEL EP	213	0.032	0.220
5	Aseguradora Del Sur C. A.	211	0.172	0.260
6	Transportes Navieros Ecuatorianos TRANSSAVE	211	0.015	0.211
7	Corporacion Nacional De Telecomunicaciones - CNT EP	210	0.175	0.264
8	Laboratorio Vida (Labovida) S.A.	168	0.022	0.232
9	Hospital Vicente Corral Moscoso	154	0.014	0.233
10	Empresa Pública Flota Petrolera Ecuatoriana -EP FLOPEC-	154	0.015	0.223
11	Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.	144	0.023	0.207
12	Seguros Alianza S A	130	0.131	0.255
13	Hospital De Especialidades José Carrasco Arteaga	130	0.004	0.208
...
29	Simed S. A.	77	0.004	0.222
30	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Lago Agrio	77	0.018	0.232
31	Productos Y Distribuciones Medicas Andino Prodimea Cia. Ltda.	76	0.005	0.225
32	Hospital General Latacunga	75	0.007	0.219
...
40	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Tena	67	0.008	0.209

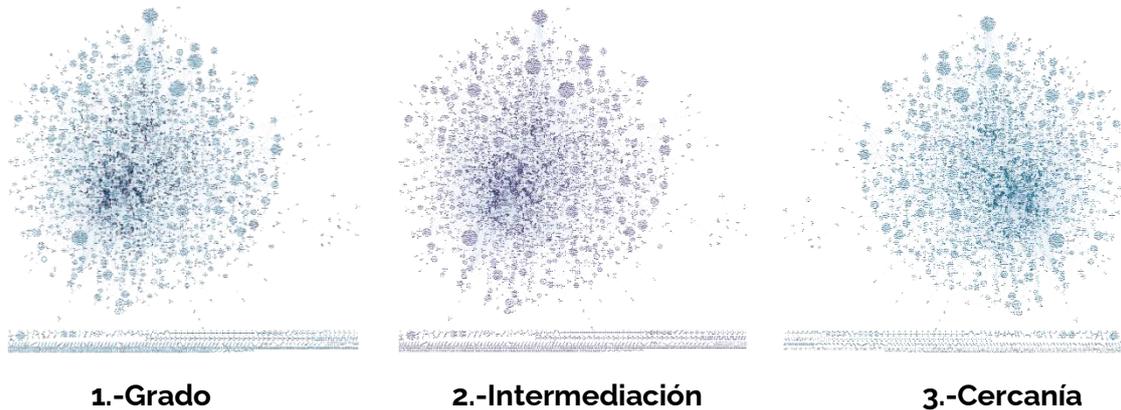
Fuente: Elaboración propia. Métricas calculadas con Cytoscape versión 3.10.1. (Para las métricas de intermediación y cercanía el rango de medición va de 0 a 1).

Si bien en la figura 8 se identifican los proveedores (nodos) más importantes en función de la métrica de grado, el investigador o auditor gubernamental debe definir en función del propósito y alcance de su estudio qué métrica es la más adecuada para el objetivo de su investigación; en este caso, en la figura 9, se presenta la



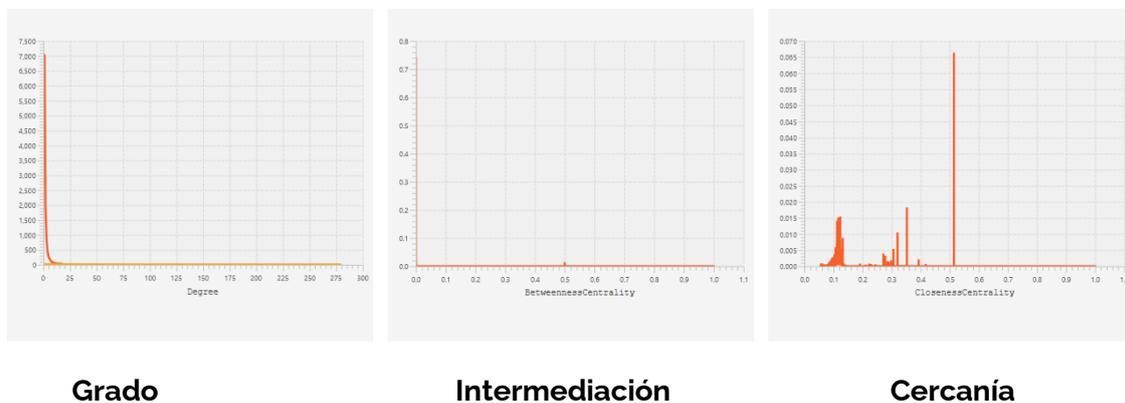
estructura de la red de contratación pública en el Ecuador durante el año 2023 en función de las tres métricas de centralidad: grado, intermediación y cercanía.

Figura 9 Redes de contratación pública en función de métricas de centralidad



Es importante considerar el resumen estadístico que presenta Cytoscape con los nodos específicos de la matriz de datos que dio paso a la formación de la estructura de las redes, la cual ayuda a identificar los nodos más relevantes.

Figura 10 Resumen estadístico de distribución nodal



También resulta imprescindible para el análisis tomar en cuenta las relaciones de la matriz de datos que presenta Cytoscape dentro de su herramienta de análisis una vez que se han estructurados las redes complejas, la cual ayuda a identificar los nodos más conectados.



Figura 11 Resumen estadístico de relación de conectividad



7.- Análisis

En la primera red estructurada por cada tipo de contratación pública, se evidencia, que la subasta inversa electrónica es el tipo de contratación más utilizado durante el año 2023, por medio del cual existe mayor interacción entre entidades contratantes y proveedores; esto tiene su explicación en la misma Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, ya que este procedimiento forma parte de los denominados procedimientos dinámicos (En este análisis se excluyó el catálogo electrónico), cuya aplicación es obligatoria para todas las entidades públicas que necesiten adquirir bienes y servicios normalizados que no consten en el catálogo electrónico.

Los siguientes procedimientos de mayor aplicación en el sistema nacional de contratación pública se pueden evidenciar en la figura 7, representados por los siguientes colores identificadores (color ID):

Tabla 5. Colores identificadores del tipo de contratación de la red de la Fig 7

TIPO DE CONTRATACIÓN	COLOR ID	TIPO DE CONTRATACIÓN	COLOR ID
Contratación Directa	Verde	Ferias Inclusivas	Azul
Lista Corta	Azul	Publicación Especial	Verde claro
Concurso Público	Blanco	Comunicación Social	Amarillo
Subasta Inversa Electrónica	Rojo	Asesoría y Patrocinio Jurídico	Verde claro
Licitación	Naranja	Obra Artística Científica o Literaria	Verde claro
Licitación de Seguros	Negro	Repuestos o Accesorios	Blanco
Cotización	Verde claro	Bienes y Servicios Únicos	Verde oscuro
Menor Cuantía	Azul oscuro	Arrendamiento de Bienes Inmuebles	Azul

Fuente: Elaboración propia



Para el análisis de la segunda red compleja formada por 19797 procesos de contratación pública catalogados por el Servicio de Contratación Pública del Ecuador (SERCOP) como "régimen común y especial", realizados durante todo el año 2023 en el Ecuador, participaron 9435 proveedores y 2263 entidades contratantes y se toman en cuenta las métricas de análisis que Cytoscape versión 3.10.1 ofrece y que están detalladas en la tabla 6 que se presenta a continuación:

Tabla 6. Resumen Estadístico

No.	Variable	Datos
1	Numero de Nodos	11698
2	Numero de Enlaces	19797
3	Numero Promedio de Vecinos	3.033
4	Diámetro de la Red	27
5	Radio de Red	14
6	Longitud de la Trayectoria	5.950
7	Coefficiente de Agrupamiento	0.000
8	Densidad de la Red	0.000
9	Heterogeneidad de la Red	2.529
10	Centralización de la Red	0.020
11	Componentes Conectados	508

Fuente: Cytoscape versión 3.10.1

Estos datos describen la estructura de la red de contrataciones públicas que se han ejecutado en Ecuador durante el año 2023 y que se visualiza en la figura 8, por una parte, el valor de la variable número de nodos (*Number of nodes*) de 11698, valida la parametrización inicial, que se dio al software para estructurar la red en la que se definió como nodos o vértices de origen a los 9435 proveedores y como nodos o vértices de destino a las 2263 entidades contratantes; por otra parte, el valor de la variable número de bordes, aristas o relaciones (*Number of edges*) de 19797, es concordante con los 19797 procesos de contratación pública constante en la matriz de datos final que fue procesada.

El numero promedio de vecinos (*Avg. Number of neighbors*) de 3.033 indica la conectividad promedio de un nodo en esta red (Budel *et al.*, 2023), esto significa que cada nodo en promedio se conecta con 3 nodos más; el diámetro de la red (*Network diameter*) de 27 indica la distancia más grande entre dos nodos (Watts y Strogatz, 1998), es decir que dentro del componente más prominente de la red, para llegar a conectarse dos nodos distantes en extremo opuesto, estos deben recorrer una distancia o pasar por 27 nodos en su trayecto.



La longitud de ruta (*Characteristic path length*) de 5,950, representa la longitud de ruta mínima promedio en toda la red, es decir el número mínimo de bordes o relaciones necesarios para viajar de un nodo a otro en la red (Jahanshad *et al.*, 2012), en esta red, significa que en promedio dos nodos han interactuado mínimo en 6 procesos de contratación. La heterogeneidad de la red (*Network heterogeneity*) de 2,529, muestra que la red está conformada por nodos interconectados y enlaces de diferentes tipos (Han, Kamber y Pei, 2012), esto es congruente con la selección de los tipos de actores identificados como nodos y las relaciones definidas.

La centralización de la red (*Network centralization*) de 0.020, cuyos valores van entre 0 y 1, refleja la forma de la red (Guilbeault y Centola, 2021; Budel *et al.*, 2023), si esta se acerca a 1 toma una forma de estrella y mientras más se acerca a 0 su forma es descentralizada, para este caso la figura 8 muestra que la red de contratación pública es descentralizada pues presenta un índice 0.020. Finalmente, el número de componentes conectados (*Connected components*) de 508 representa el conjunto de nodos conectados que se pueden alcanzar desde él a través de caminos que siguen las aristas de la red (Girvan y Newman, 2002), esto significa que la red tiene 508 componentes y en la parte inferior de la figura 8 se puede evidenciar la gran cantidad de componentes pequeños.

En la figura 9, (9.1, 9.2 y 9.3) que consta en páginas anteriores, se presenta la estructura de la segunda red, conformada por todos los procesos de contratación pública ejecutados durante el año 2023, haciendo énfasis en los cinco proveedores que han participado en la mayor cantidad de procesos de contratación pública, es decir considerando la variable de grado e identificándolos por los siguientes colores:

Tabla 7. Principales nodos (Proveedores) en función del grado

No.	Proveedor	Color	Grado
1	Aseguradora Del Sur C. A.	Rojo	211
2	Laboratorio Vida (Labovida) S.A.	Verde	168
3	Seguros Alianza S A	Amarillo	130
4	Simed S. A.	Lila	77
5	Productos Y Distribuciones Medicas Andino Prodimedica Cia. Ltda	Azul	76

Fuente: Elaboración propia

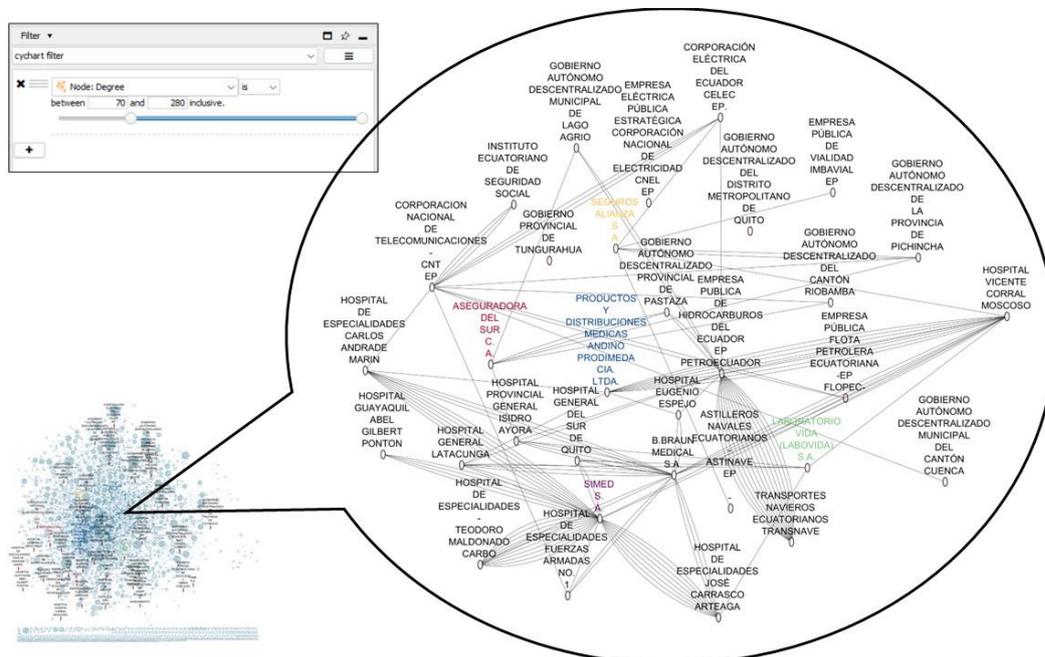
Si bien es cierto que la topología de las redes complejas muestran varias medidas, sobre todo de centralidad como grado que determina la conectividad de los nodos, intermediación que determina la importancia del nodo como intermediario en la red y la centralidad de cercanía que determina el camino más corto entre los nodos; para el presente estudio, cuyo objetivo es que un auditor desarrolle habilidades en el manejo de redes complejas como metodología de control gubernamental, resulta importante hacer hincapié en la medida del grado que ayuda a identificar a ciertos actores importantes por su conectividad con el uso de un software especializado.

De la red compleja de la figura 8, conformada por 11698 nodos (entidades contratantes y proveedores o contratistas), en la tabla 4, se mostró las métricas de



los cuarenta nodos más importantes en orden de prelación por la variable de grado, es decir aquellos que están más conectados; para visualizar de mejor manera en la figura 12 se procedió a aplicar un filtro a la red con un rango entre 70 y 280 grados de tal manera de identificar a los principales nodos de la tabla 7.

Figura 12 Red de contrataciones formada con nodos entre 70 y 280 grados



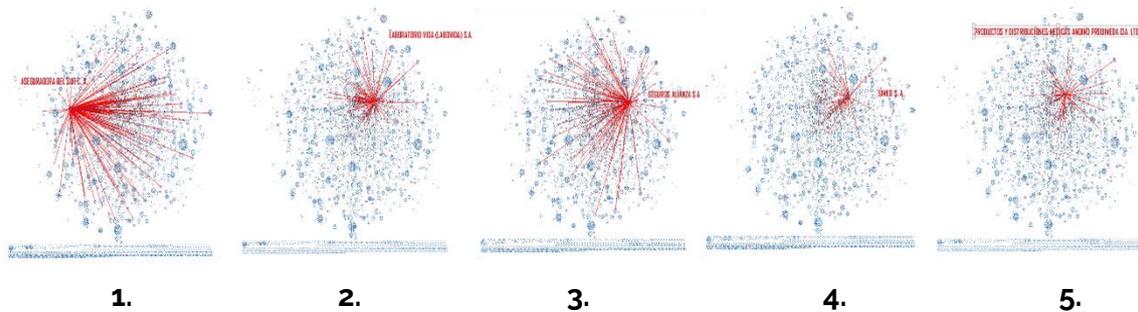
Fuente: Elaboración propia

Esta red de 40 nodos, muestran a los actores que más han interactuado en los procesos de contratación pública, siendo en su mayoría entidades públicas contratantes, lo cual demuestra que para llegar a ser parte de todo el sistema de contratación pública ecuatoriano es imprescindible ser proveedor de estas entidades del Estado.

Como el objetivo del estudio es identificar patrones en la red de contratación pública considerando la participación de los proveedores que más interactúan con entidades contratantes por medio de los procesos de contratación, en las siguientes imágenes se aislaron a los cinco proveedores con mayor centralidad de grado siendo estos, los siguientes: 1.- Aseguradora Del Sur C. A.; 2.- Laboratorio Vida (Labovida) S.A.; 3.- Seguros Alianza S A; 4.- Simed S.A.; Y 5.- Productos Y Distribuciones Medicas Andino Prodimedica Cia. Ltda. **Esta selección no implica que estos proveedores estén involucrados en actos de corrupción.**



Figura 13 Interacción de los principales proveedores durante el año 2023



Para responder la pregunta de investigación planteada: ¿La metodología de redes complejas puede ayudar al control que realiza la EFS ecuatoriana para mitigar los riesgos de corrupción derivados del ambiente de contratación pública?, es importante considerar lo siguiente:

Fazekas y Kocsis (2015), sostienen que entre las formas de identificar riesgos de corrupción en la contratación pública surgen de información de entidades públicas y auditorías; la primera relacionada con el control interno que es de responsabilidad de cada entidad pública y la segunda que corresponde al control post que realiza la Contraloría General del Estado en calidad de EFS ecuatoriana por medio de sus auditores gubernamentales (Torres *et al.*, 2017; Redroban, 2022).

Dentro de las estrategias y metodologías propuestas en la guía para la identificación de riesgos de corrupción en contratación pública, utilizando la ciencia de datos, se resalta la importancia de analizar la gran cantidad de datos que se origina constantemente en el ambiente de la contratación pública por medio de técnicas y herramientas tecnológicas innovadoras que faciliten y agilicen la identificación de patrones de riesgo de corrupción (Galvis, Marín y Garnica, 2021).

La metodología de redes complejas constituye precisamente una herramienta innovadora para analizar datos de gran volumen que permiten identificar ciertos patrones en función del planteamiento de los objetivos de los investigadores (Cárdenas *et al.*, 2022; Guilbeault y Centola, 2021; Hiver y Papi, 2020; Li Wang *et al.*, 2022; Rivas-Tovar, 2024). Esta metodología permite analizar las características de las redes desde su contexto global, local y nodal (Rojas y Montealegre, 2018).

Una de las métricas usadas en redes complejas que ayudan a identificar patrones desde su enfoque nodal y local son precisamente las de centralidad, ya que por ejemplo en este estudio permitió identificar a los principales actores del ecosistema de contratación pública, en los cuales se evidenció una alta interacción de entidades del Estado en calidad de contratantes, así como la participación de proveedores que de forma reiterada participaron en procesos de contratación pública en las entidades públicas regionales y en varias a nivel nacional.

Esta metodología permite identificar de forma técnica, ágil y sobre todo gráfica estructuras de redes con ciertos patrones que pueden ayudar a identificar y mitigar posibles riesgos de corrupción al aplicar procedimientos de auditoría al ambiente de contratación pública con la finalidad de evitar que se centralicen los recursos públicos en manos de pocos grupos de proveedores del Estado.



Es importante señalar que la identificación de estos patrones es el inicio de un proceso de auditoría gubernamental, ya que es un insumo para evidenciar hallazgos de auditoría que deben ser contrastados con evidencias para concluir si da lugar o no a un comentario de auditoría que finalice con la confirmación de desviaciones administrativas, perjuicios pecuniarios al Estado o indicios de responsabilidad penal (Torres et al., 2017; Redroban, 2022; Torres, 2022).

8.- Discusión

El instituto de auditores internos (*The Institute of Internal Auditors, Inc.*) creó en el año 2018 una guía mediante la cual los auditores internos pueden ayudar a gestionar el efecto de las tecnologías disruptivas en las organizaciones dentro de las cuales resalta la importancia de prever los riesgos; trabajar con expertos en temas de control y nuevas tecnologías aplicadas al control; capacitarse sobre las nuevas tecnologías y los nuevos riesgos complejos y emergentes que se incorporan en las organizaciones.

Dicha propuesta tiene la finalidad de desarrollar competencias tecnológicas y habilidades de comprender y aprovechar rápidamente las nuevas herramientas, técnicas y procesos de control; y, finalmente adoptar y aprovechar las nuevas tecnologías a la hora de realizar el trabajo de fiscalización y control, lo que sugiere que los auditores deben estar a la vanguardia de las nuevas metodologías de control, comprender cómo funcionan y determinar su aplicación práctica en el ejercicio del control gubernamental (Redroban, 2021).

Dentro de las competencias con las que debe contar un auditor gubernamental, para el eficiente y eficaz desempeño de sus funciones de control de los recursos públicos está el desarrollar habilidades que le permitan identificar hallazgos en un proceso de auditoría derivados de deficiencias importantes que pueden afectar al correcto desempeño de las entidades públicas.

Estos hallazgos que posteriormente deben ser contrastados con evidencias suficientes, competentes y pertinentes; deben cumplir ciertos atributos que pueden demostrarse de forma física, testimonial, documental o analítica como es el caso de la metodología de redes complejas (Torres, 2022).

Analizar gran cantidad de datos que genera diariamente el ecosistema de contratación pública en Ecuador se torna en una tarea titánica para un auditor gubernamental, que desconozca de nuevas tecnologías y metodologías de tratamiento y análisis de gran cantidad de información, lo cual puede conllevar a que se pierda tiempo valioso en tratar de organizar la información y detectar hallazgos de auditoría que posteriormente serán trasladados a los informes respectivos.

Definir las redes complejas en su mínima expresión, no es más que diseñar estructuras conformadas por ciertos actores (nodos) y sus relaciones (enlaces); el complemento de complejidad se añade por la cantidad inmensurable de datos y por el comportamiento caótico de las relaciones entre los actores en cualquier contexto que se apliquen.

Aplicar la metodología de redes complejas, para el control gubernamental en materia de contratación pública, facilita la tarea titánica de un auditor gubernamental al permitirle identificar ciertos patrones de forma ágil pero técnica y gráfica en



estructuras de redes con mayor interacción de los principales actores que participan en los procesos de contratación pública a nivel nacional.

En el estudio realizado, en la figura 8 y figura 12 fácilmente se pudo identificar a los principales proveedores con mayor interacción en procesos de contratación pública de entre 9435 proveedores o contratistas del Estado aplicando la teoría de redes complejas, un *software* de análisis de redes como *Cytoscape* versión 3.10.1 y una métrica de centralidad de grado, es decir actores con mayor conectividad en la red formada de los procesos de contratación durante el año 2023 (Freeman, 1978; Newman, 2003).

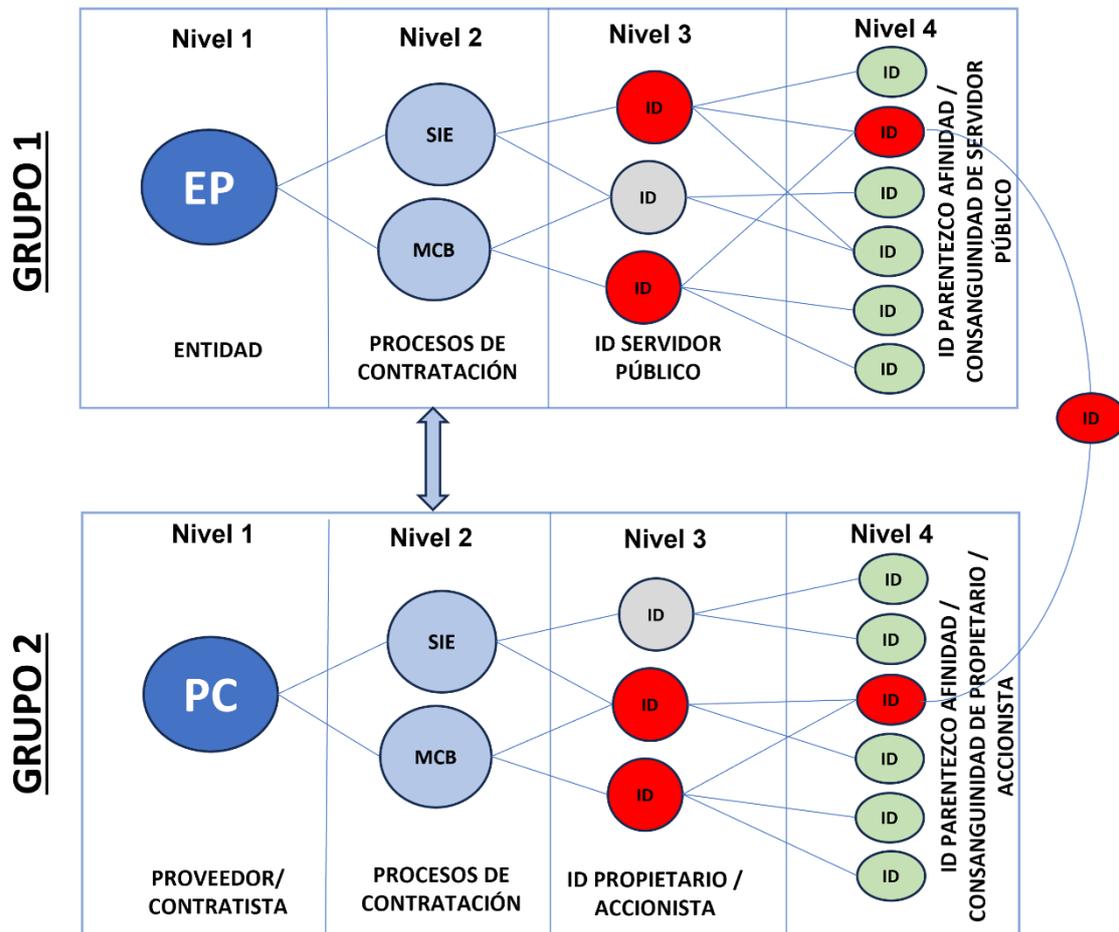
Si bien en el estudio se identifica solo a los nodos con mayor conectividad, de la base de datos descargada del SERCOP en calidad de ente rector en materia de contratación pública, esto se debe a que al iniciar este estudio se planteó como objetivo identificar a los proveedores con más participación en los procesos de contratación pública en consecuencia la configuración de nodos y enlaces inicial permitió estructurar la red de la figura 8, esto significa que, en la práctica de la auditoría gubernamental, le corresponderá al auditor gubernamental, configurar los nodos y enlaces necesarios en función del objeto y alcance de la acción de control.

Si se pretende identificar patrones de corrupción enfocados en identificar a los dueños, o accionistas de las empresas proveedoras del Estado por una parte y por otra parte a los servidores públicos que participan en los procesos de contratación pública así como las relaciones de estos por ejemplo en grados de consanguinidad o afinidad a fin de identificar relaciones que identifican prohibiciones expresas en materia de contratación pública, el auditor gubernamental deberá realizar la siguiente configuración para estructurar su red compleja (Fig. 14 y 15).

La información del nivel 3 del grupo 1 corresponde a la identificación de los servidores públicos que participan en los procesos de contratación pública, (información que si se registra en el aplicativo de contratación pública de uso obligatorio dispuesto por el SERCOP); sin embargo la información del nivel 4 del grupo 1 se debe obtener por medio del Registro Civil ecuatoriano; implementando un formulario de carácter obligatorio por parte del SERCOP en el proceso de registro de datos de los servidores públicos responsables de ejecutar los procesos de contratación pública; o, por medio de consultas de datos ciudadanos en los aplicativos de la Contraloría General del Estado quien está vinculada a la base de datos de la Dirección Nacional de Registros públicos (DINARDAP), aunque esta última opción tardaría demasiado en entregar la información relacionada con todos los servidores públicos del nivel 3, razón por la cual la primera y segunda opción son las más eficaces.



Figura 14 Configuración de red de contratación considerando nivel de parentesco



Red: Estructura de red de contrataciones públicas hasta el nivel de parentesco

Nodos Entidad Contratante:

- Nivel 1: "Nombre Entidad Contratante"
- Nivel 2: "Código Proceso de Contratación"
- Nivel 3: "Identificación Servidor Público"
- Nivel 4: "Identificación de familiares N3"

Nodos Proveedor / Contratista:

- Nivel 1: "Nombre Proveedor"
- Nivel 2: "Código Proceso de Contratación"
- Nivel 3: "Identificación Propietario / Accionista"
- Nivel 4: "Identificación de familiares N3"

Relación:

- R1: "Tipo de Contratación"
- R2: "Ruc Proveedor"

Fuente: Elaboración propia



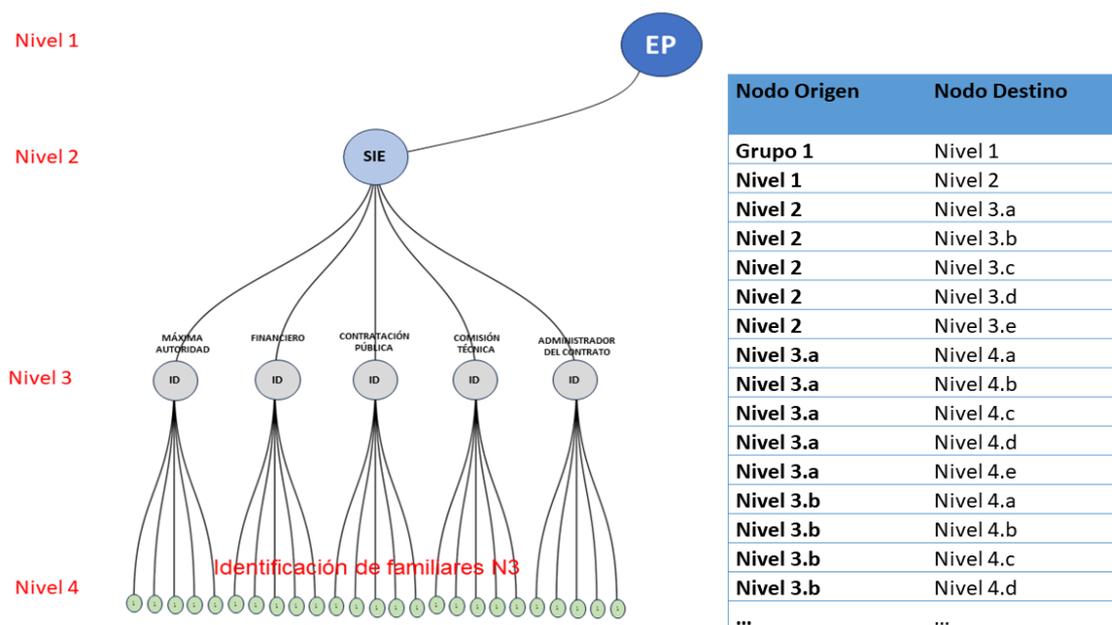
Respecto a la información del nivel 3 del grupo 2 corresponde a la identificación de los propietarios o accionistas de las empresas proveedoras o contratistas del Estado, así como de la información del nivel 4 del grupo 2 correspondiente a los familiares de los sujetos del nivel 3 con parentesco de consanguineidad o afinidad, se la puede obtener por medio del SERCOP pues consta en la información que este ente de control exige compilar al momento de calificarse como proveedor del Estado.

Con la evidencia estudiada cabe afirmar que la metodología de redes complejas **Si** puede ayudar al control que realiza la Entidad Fiscalizadora Superior Ecuatoriana para mitigar los riesgos de corrupción derivados del ambiente de contratación pública.

El análisis de las redes de contratación pública identificará patrones de cooperación en lo positivo y de colusión y contubernio en lo negativo, lo cual detecta conductas indebidas en el ecosistema de contratación pública.

La figura 15 ilustra la red de cooperación que es posible implementar para sumar sinergia de los actores involucrados.

Figura 15 Diseño conceptual para el diagrama de red



Fuente: Elaboración propia

Si bien el software Cytoscape, es muy versátil y permite trabajar con matrices de datos elaboradas en Excel o CSV, también permite trabajar con bases de datos descargadas directamente del SERCOP, sin embargo, para lograr obtener una red agrupada según la configuración de la figura 15, es necesario definir su estructura bajo los parámetros de un dendrograma (o diagrama de árbol) y definir los nodos



raíz que darán origen a los nodos conectados por aristas. Cytoscape, necesita una configuración mínima de este tipo para poder construir las redes (Sayama, 2015; Rivas-Tovar, 2021; Cárdenas, Rivas-Tovar and García, 2022).

Construir una red de este tipo permitirá identificar posibles riesgos de corrupción ya que permite identificar ciertos patrones de reincidencia de contrataciones con los mismos proveedores o con relaciones de parentesco entre servidores públicos de entidades contratantes y dueños o accionistas de las empresas proveedoras del Estado.

Para favorecer esta tarea el artículo 88 de la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado, faculta a los auditores gubernamentales para que, en el proceso de obtención de pruebas sobre los hechos y materias sujetas a una auditoría, tengan acceso irrestricto a registros, archivos y demás documentos que sustenten la información, lo cual ayuda al auditor a obtener la información necesaria para poder estructurar redes para su posterior análisis.



Bibliografía

- AYALA, K., RIVAS-TOVAR, L., y CARDÉNAS, M. 2023. "Redes empresariales y patrones de cooperación en MIPYMES textiles en México", *Revista Universidad y Empresa*, 25(44), p. 28. Disponible en: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12379>.
- BLOCH, F., JACKSON, M.O. AND TEBALDI, P. 2023. "Centrality measures in networks", *Social Choice and Welfare*, 61(2), pp. 413-453. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00355-023-01456-4>.
- BUDEL, G., JIN, Y., VAN, P., AND KITSACK, M. 2023. "Topological properties and organizing principles of semantic networks", *Scientific Reports*, 13(1), p. 11728. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37294-8>.
- CÁRDENAS, M. 2013. *Las tecnologías de la información y comunicaciones en la formación de redes de conocimiento*. Tesis doctoral. Nacional Autónoma de México.
- CÁRDENAS, M., RIVAS-TOVAR, L., y GARCÍA, E. 2022. "Patrones de Tráfico de Drogas en Aduanas Mexicanas, en Sistemas Complejos. Aplicados al análisis de fractales, sistemas sociales y socioespaciales". *Alfa Omega*, pp. 52-69.
- FAZEKAS, M. AND KOCSIS, G. 2015. "Uncovering High-Level Corruption: Cross-National Corruption Proxies Using Government Contracting Data". *Rochester, NY*. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2711932>.
- FREEMAN, L. 1978. "Centrality in social networks conceptual clarification", *Social Networks*, 1(3), pp. 215-239. Available at: [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7).
- GALVIS, J., MARÍN, J., y GARNICA, J. 2021. "Guía para la identificación de riesgos de corrupción en contratación pública, utilizando la ciencia de datos". *Datasketch*.
- GIMENO FELIU, J. 2016. "El necesario Big-Bang contra la corrupción en materia de contratación pública y su modelo de control", *Revista Internacional Transparencia e Integridad*, 2(1), pp. 1-12.
- GIRVAN, M. AND NEWMAN, M. 2002. "Community structure in social and biological networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), pp. 7821-7826. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.122653799>.
- GRANDA, V. 2023. *Derecho de control, contraloría y tribunal de cuentas o de recursos públicos en Ecuador. Tipos, sistemas y ordenamiento jurídico*. Quito: Corporación editora nacional (Estudios jurídicos, 47).
- GUERRERO, M. 2020. *Optimización Multiobjetivo para la Detección de Comunidades en Redes Complejas*. Tesis doctoral. Universidad de Almería.



- GUILBEAULT, D. AND CENTOLA, D. 2021. "Topological measures for identifying and predicting the spread of complex contagions", *Nature Communications*, 12(1), p. 4430. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24704-6>.
- HAN, J., KAMBER, M. AND PEI, J. 2012. "Data Mining Trends and Research Frontiers", in J. Han, M. Kamber, and J. Pei (eds) *Data Mining (Third Edition)*. Boston: *Morgan Kaufmann (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems)*, pp. 585–631. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00013-7>.
- HIVER, P. AND PAPI, M. 2020. "Complexity theory and L2 motivation", in *The Palgrave Handbook of Motivation for Language Learning*, pp. 117–137. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-28380-3_6.
- JAHANSHAD, N., PRASAD, G., TOGA, A., MCMAHON, K., AND ZUBICARAY, G. 2012. "Genetics of Path Lengths in Brain Connectivity Networks: HARDI-Based Maps in 457 Adults", *Multimodal brain image analysis: second International Workshop, MBIA 2012, held in conjunction with MICCAI 2012, Nice, France, October 1-5, 2012: proceedings / Pew-Thian Yap ... [et al.]*, (eds.). MBIA (Workshop) (2nd : 2012 : Nice, Fr., 7509, pp. 29–40. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33530-3_3.
- LI WANG, L., CHEN, C. AND LI, H. 2022. "Link Prediction of Complex Network Based on Eigenvector Centrality", *Journal of Physics: Conference Series*, 2337(1), p. 012018. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2337/1/012018>.
- LÓPEZ, Á. 2022. *Análisis de la implementación de datos abiertos y su incidencia en el fortalecimiento de la transparencia y acceso a la información pública en el Ecuador al año 2021*. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica Israel.
- LUNA, I. AND NICOLÁS, J.R. 2020. "Corruption and complexity: a scientific framework for the analysis of corruption networks", *Applied Network Science*, 5(1), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41109-020-00258-2>.
- Márquez, V. M. H. (2021). La estafa maestra. *Cuadernos Fronterizos*, (52).
- MARTÍNEZ, C. 2022. *Modelos nulos de redes complejas*. Tesis doctoral. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/16537>.
- NEWMAN, M. 2003. "The Structure and Function of Complex Networks", *SIAM Review*, 45(2), pp. 167–256. Available at: <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>.
- PIEDRA, Y., y PONJÚAN, G. 2021. "Análisis de los patrones de colaboración del Programa de Doctorado en Documentación e Información Científica", *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 32(1), p. 1797.
- PIXELWARE, (2024). Congreso Internacional: el desafío de la recuperación y el papel de la contratación pública - España.



- PURÓN, G. 2016. "Comparativo institucional de las entidades de fiscalización en Centroamérica y el Caribe", *El Cotidiano*, (198), pp. 71–81.
- REDROBAN, C. 2021. "El control gubernamental y las amenazas disruptivas en Ecuador", *Gobierno y Administración pública*, (2), pp. 88–100. Disponible en: <https://doi.org/10.29393/GP2-6CGCR10006>.
- REDROBAN, C. 2022. *Administración pública para docentes: guía para el educador en el desempeño de sus funciones como servidor público en instituciones públicas de educación superior*. Ecuador: UTEG. Disponible en: <https://www.uteg.edu.ec/wp-content/uploads/2023/05/Libro-17-c.pdf>.
- RIVAS-TOVAR, L. 2020. *Elaboración de tesis: estructura y metodología*. México: Trillas.
- RIVAS-TOVAR, L. 2021. *Efectos de la Teoría de la Complejidad en la Gestión Ambiental en México*. IPN Dirección de publicaciones. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349989398_Efectos_de_la_Teoria_de_la_Complejidad_en_la_Gestion_Ambiental_en_Mexico.
- RIVAS-TOVAR, L. 2024. *Sistemas Complejos. Sistemas en los límites del Caos*. México. Instituto Politécnico Nacional / Tirant.
- ROJAS, N., y MONTEALEGRE, M. 2018. "Introducción a las redes complejas: El modelo del mundo pequeño", *Entornos*, 31(2), pp. 60–64. Disponible en: <https://doi.org/10.25054/01247905.2268>.
- SANCHO, F. 2016. *Introducción a las redes complejas, Sistemas Complejos, Sistemas Dinámicos y Redes Complejas*. Disponible en: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=80>.
- SAYAMA, H. 2015. *Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems*. Primera. Geneseo: SUNY.
- STROGATZ, S. 2001. "Exploring complex networks", *Nature*, 410(6825), pp. 268–276. Available at: <https://doi.org/10.1038/35065725>.
- TORRES, M., SUBÍA, J., MANTILLA, D., y BECERRA, E. 2017. *Auditoría Integral. Primera*. Quito - Ecuador: Mengraf.
- TORRES, M. 2022. *La Auditoría Forense como modalidad de auditoría gubernamental y su aporte en las evidencias de los delitos contra la Administración pública ecuatoriana*. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Litoral. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/6810>.
- URZÚA, V. 2018. *Las entidades fiscalizadoras superiores y sus atribuciones: en perspectiva comparada*. Tesis doctoral. Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11531>.



VISCARRA, O. 2021. *Evolución histórica de la contratación pública en el Ecuador y su vinculación con la planificación nacional*. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar.

WATTS, D.J. AND STROGATZ, S.H. 1998. "Collective dynamics of 'small-world' networks", *Nature*, 393(6684), pp. 440-442.

ZULETA, J. 2017. *Propuesta de reforma a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, en los procedimientos de contratación de consultoría*. Tesis de Maestría. Uniandes.