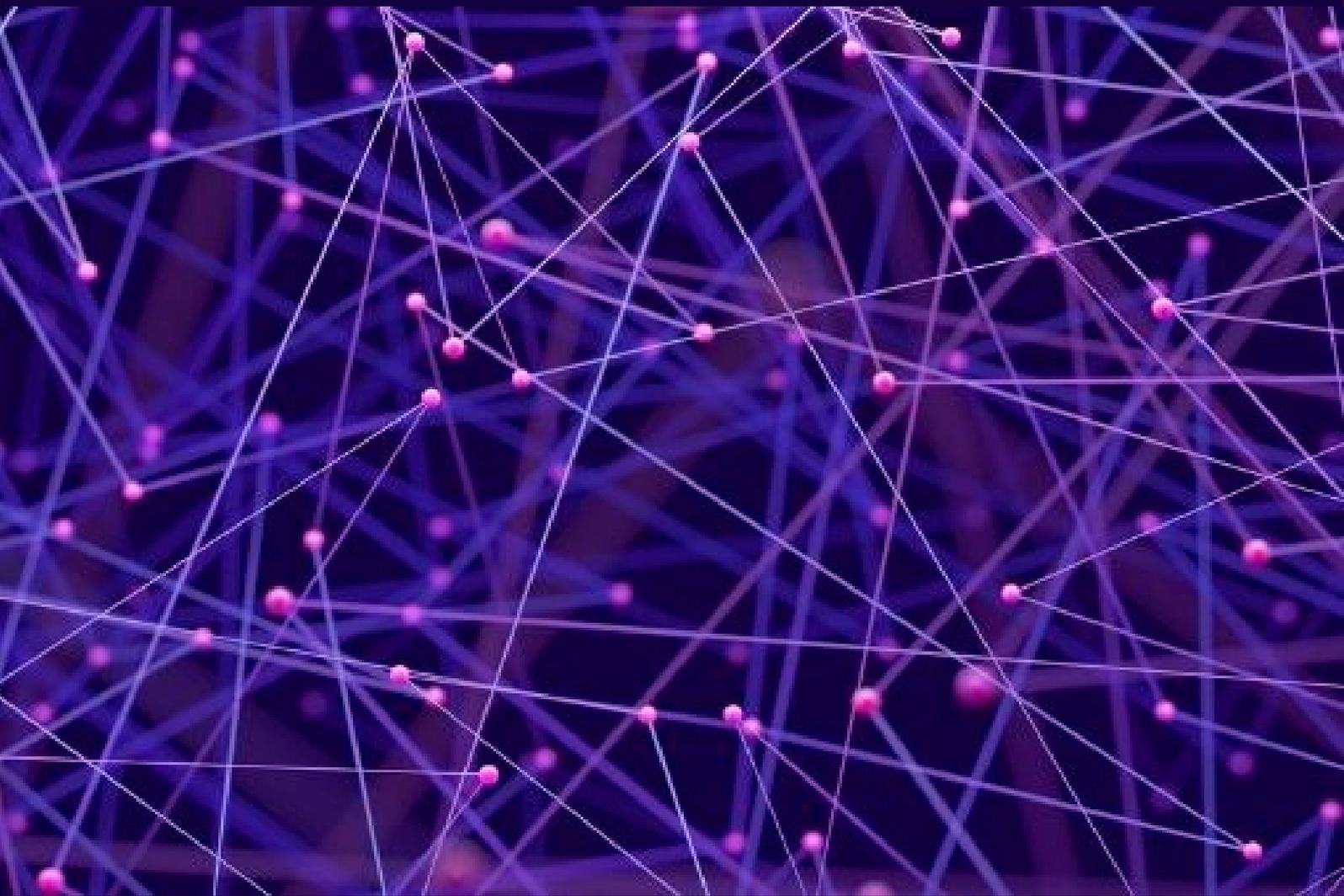


Alejandro Molina
Fernando Andrés Buffone
Ernesto Castagnet
German Fernandez Madarieta

Uso de grafos para el análisis de estructuras organizacionales empresarias.

Una visión desde el Clúster económico de Bahía Blanca



Uso de grafos para el análisis de estructuras
organizacionales empresarias.

Una visión desde el Clúster económico de Bahía
Blanca

Alejandro Molina
Fernando Buffone
Ernesto Castagnet
German Fernandez Madarieta

Uso de grafos para el análisis de estructuras organizacionales empresarias : una visión desde el clúster económico de Bahía Blanca / Fernando Andres Buffone... [et al.]; editado por Fernando Cejas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8992-09-9

1. Organizaciones. I. Buffone, Fernando Andres. II. Cejas, Fernando, ed.

CDD 658.1

Edición y Diseño: Fernando Cejas



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Rubén Soro

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Secretaria Cultura y Extensión Universitaria: Ing. Federico Olivo Aneiros



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Concordia

Decano: Ing. Alejandro Staffa

Vicedecano: Ing. Carlos Vera

Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dra. Marta Vidal



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando Cejas

Dirección General: Mg. Claudio Véliz

Dirección de Cultura y Comunicación: Ing. Pablo Lassave

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© edUTecNe, 2022

Sarmiento 440, Piso 6

(C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-8992-09-9



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Resumen

Introducción

Revisión de conceptos que se han aplicado

Sistemas de análisis y métricas utilizadas por las técnicas basadas en grafos que modelizan estructuras organizacionales

Validación del uso de grafos para evaluar la estructura organizacional de las empresas. El caso del clúster económico de bahía blanca

Una visión alternativa, uso de un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones

Conclusiones

Bibliografía

Uso de grafos para el análisis de estructuras organizacionales empresarias.

Una visión desde el Clúster económico de Bahía Blanca

Resumen:

En este libro se presenta el estudio de la aplicación de teoría de grafos para el desarrollo de métodos y técnicas de modelización y análisis de las estructuras organizacionales del clúster económico de la ciudad de Bahía Blanca, ubicada en la región del Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Para ello se han volcado trabajos realizados en el marco de las tareas del proyecto de investigación PID UTN 5833 “EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES PRODUCTIVAS EN EL CLÚSTER DE BAHÍA BLANCA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS”, investigación desarrollada en la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. La perspectiva que este trabajo aporta es el desarrollo de instrumentos que vinculen características de las empresas del clúster con sus estructuras organizacionales y, mediante estas, analizar las relaciones entre los individuos que las integran, buscando fortalezas y debilidades de dichas relaciones.

Se parte de una revisión de los fundamentos utilizados en los métodos de análisis y métricas para modelos de estructuras organizacionales basados en grafos, se revisan las propiedades de los grafos sobre las que se basan las distintas técnicas que se utilizan, definidas las propiedades, se detallan las bases de los métodos de análisis y medición. A continuación, se busca un método simple de validación para la utilización de grafos como modelo conceptual para el análisis de las estructuras organizacionales (EO), tomando como base los datos de una encuesta realizada sobre empresas del clúster económico de Bahía Blanca realizada en el marco de las tareas del proyecto de investigación. Por último, se presenta una metodología alternativa basada en un modelo de organización formal como base para la automatización de procesos dentro de empresas integradas por el uso de computadoras. Si bien se utilizará un marco de modelado formal que utiliza la realidad organizacional, su aplicación ejemplificada confirma la posibilidad de la futura aplicación de los modelos basados en grafos para la automatización de procesos de las empresas.

Palabras clave: grafos, estructuras organizacionales, análisis y métricas, empresas.

El trabajo que se presenta en este libro es un intento de describir técnicas y métodos basados en la teoría de grafos para estudiar la implementación, la eficiencia y el desempeño de las empresas del clúster de Bahía Blanca. En el trabajo se describirán y compararán diferentes tipos de estructuras organizativas de las empresas enfocándose en las estructuras organizativas funcionales, divisionales y matriciales. Se analiza y evalúa el efecto de la estructura organizacional en el desempeño y éxito de las empresas. Se presentarán las bases teóricas y metodológicas para estudiar a dichas empresas que pertenecen al sector privado y comercial. También presentarán algunos resultados del estudio de campo realizado mediante cuestionarios de encuesta, entrevistas personales a los empleados de las empresas y datos formales de empresas del clúster. Se describirán las técnicas y metodologías de modelización con los resultados obtenidos del trabajo de campo para describir la estructura organizacional y su eficiencia. También se describirán las relaciones entre los modelos y las tendencias a la centralización, la rutina; la burocracia y la difusión de información. El objetivo es describir la metodología para analizar las estructuras organizacionales funcionales y una matriz organizativa funcional basada en la ubicación geográfica y tipo de empresa, para poder establecer recomendaciones para llegar a una estructura organizativa óptima para empresas del clúster de Bahía Blanca

1.1.- Antecedentes sobre la importancia de las estructuras organizacionales.

La intensa competencia global, los rápidos cambios tecnológicos, los avances en fabricación y tecnología de la información y clientes exigentes obligan a los fabricantes a optimizar el proceso de fabricación, las operaciones y todos los posibles nodos de cadenas de suministro que les permiten ofrecer productos de alta calidad en un corto período de tiempo.

La búsqueda de esta optimización ha intensificado la demanda de mayor velocidad de desarrollo de productos, flexibilidad de fabricación, eliminación de desechos, mejor control de procesos, utilización eficiente de mano de obra y alcance global para obtener ventajas competitivas esta descrito en trabajos de Karim (Karim, Smith y Halgamuge, 2008a), Moore (Moore, R., 2007), Allway y Corbett (Allway y Corbett, 2002) y Papadopoulou y Ozbayrak (Papadopoulou y Ozbayrak, 2005). Sin embargo, a medida que los mercados globales evolucionan, lograr este objetivo se ha vuelto cada vez más complejo debido a la dinámica cambiante del mercado, los entornos competitivos globales, las limitaciones de recursos y la variación de la capacidad en los pisos de producción.

Las definiciones de Organización han variado también en el transcurso de los años, en consonancia con los cambios, sociales, económicos y tecnológicos, Chase y Jacobs (Chase y Jacobs, 2014) definen a las organizaciones como sistemas conscientemente coordinados de actividades o fuerzas de dos o más personas. Pastén (Pastén, 2010) ve a las organizaciones como unidades sociales construidas en forma deliberada o reconstruida para alcanzar fines específicos. Vasudevan y JunSon (Vasudevan y JunSon, 2011) afirman que las organizaciones están compuestas de individuos o grupos, en vistas a conseguir ciertos fines y objetivos, por medio de funciones diferenciadas que se procura que estén racionalmente coordinadas y dirigidas y con una cierta continuidad a través del tiempo.

Sin embargo, estas definiciones, aunque incluyen las principales notas características de la organización, no parece que contengan sus relaciones con el exterior, es decir, con el ambiente en el que se desarrolla. Esta concepción de organización la considera como un sistema cerrado y ajeno a la sociedad. Por su parte, Domeyer (Domeyer, 2005), partiendo de una concepción de la organización como sistema abierto, la define como un sistema social complejo e interdependiente cuya dinámica depende no sólo de las aptitudes, valores, actitudes, necesidades y experiencias de sus miembros, sino también de los procesos sociales internos y externos.

Galeano y Serrano (Galeano y Serrano, 2013) definen a la organización como grupos de personas, las cuales tienen responsabilidades específicas y, participan en conjunto para un logro específico establecido por la organización. Todas las organizaciones tienen un objetivo, una estructura y un colectivo de personas, con elementos que se interrelacionan entre sí, como son la estructura organizacional, los procesos internos y la conducta colectiva e individual. Mientras que Garmón y otros (Garmón, López y Martínez, 2012) establecen que la organización es una de las funciones componentes del ámbito administrativo que consiste en asignar las funciones y tareas a los integrantes de equipos en la empresa con la finalidad de que los recursos con los que cuenta la organización sean coordinados y enfocados en la consecución de la misión y metas establecidas con anterioridad. Una buena organización realiza para la empresa lo siguiente: Facilitar en la administración la diversificación y el crecimiento; contribuir al óptimo aprovechamiento de la tecnología; fomentar el desarrollo y efectividad del trabajador y estimula el esfuerzo creador.

Según los autores antes referidos la organización es considerada un sistema socio-económico, interrelacionada con la sociedad, donde los grupos de trabajo que la integran realizan actividades y por consiguiente utilizan recursos encaminados a la obtención de valores comunes, también la organización es considerada como parte del proceso administrativo, con el fin de asignar responsabilidades y tareas a los que conforman la empresa, siempre que lleven a cumplir las metas

organizacionales, donde los trabajadores entienden con claridad su puesto de trabajo y diseño organizacional para desarrollarse con efectividad.

En las propiedades que definen la organización, se puede apreciar una serie de elementos que la componen y caracterizan, los cuales son importantes a considerar a la hora de analizar y estudiar ésta. Las organizaciones se caracterizan por estar definidas y diseñadas en términos de una adecuada racionalidad de medios afines, esto quiere decir, que existe una división del trabajo que es hecha de manera consciente, como resultado de la búsqueda en alcanzar sus fines de la forma más racional posible (Stewart, 2008). Poseer un marco fundamental en el que habrá de operar el grupo social, donde el poder queda dividido en distintos puestos, con el objetivo de facilitar la coordinación y control del cumplimiento de las tareas laborales, que se desprenden de la división del trabajo. Canalizar la comunicación en forma subordinada y de la manera más eficiente, para conseguir una adecuada coordinación de las actividades. Existir en un entorno (que es todo lo externo de la organización) en el que se sitúan otras organizaciones, clientes, sociedad global, la economía, el sistema legal, etc. Por lo cual, la organización se encuentra en permanente adaptación a su entorno, de tal forma que se suponen mutuamente: no hay organización sin entorno, ni entorno sin organización. Poseer un entorno interno, constituido por los miembros de éstas. Dicho entorno se construye, con el aporte en trabajo que hacen los miembros, teniendo una perspectiva parcial, y que está dada por el rol que desempeñan dentro de la empresa.

Como se puede apreciar en los tres puntos iniciales, las características quedan definidas en el organigrama de cualquier organización, delimitando el conducto regular que han de seguir las comunicaciones, los centros de poder, el control y coordinación y la forma que ha adoptado la división del trabajo, pero esta apreciación sólo es válida en términos de diseño y de comparación con modelos abstractos, ya que las organizaciones se encuentran en la incertidumbre del poder, de las influencias y de los intereses particulares de cada uno de los miembros de la organización. Según Pastén (Pastén, 2010) tras el ir y venir del juego del poder, los organigramas terminan no reflejando objetivamente la división del trabajo, si no, el poder relativo de los diversos jefes y autoridades organizacionales.

En el último punto, se puede apreciar que si la evaluación no se relaciona con el puesto, carece de validez (Elmaghraby, 1974). La evaluación es práctica cuando es comprendida por evaluadores y empleados. Podemos citar algunos de los métodos más comunes; Evaluaciones por parte de los miembros de la organización: Un sistema de evaluación muy complicado puede conducir a confusión o generar suspicacia o conflicto, y un sistema estandarizado para toda la organización es muy útil,

porque permite prácticas iguales y comparables. Este sistema corresponde al principio de igual compensación por igual labor. La evaluación hecha por parte de los superiores, es la evaluación realizada por cada jefe a sus subordinados, en la cual el superior es quien mejor conoce el puesto de trabajo del subordinado, así como su rendimiento. Puede ser de autoevaluación, la cual es la evaluación en la que el empleado hace un estudio de su desempeño en la organización. Los empleados que participan en este proceso de evaluación, puede que tengan una mayor dedicación y se comprometan más con los objetivos. Puede ser una evaluación de iguales, este tipo de evaluación (que se realiza entre personas del mismo nivel), suele ser un predictor útil de rendimiento. O también la evaluación por parte de los subordinados, es la que realizan los empleados a sus jefes, ésta puede hacer que los superiores sean más conscientes de su efecto sobre los subordinados. Y por último la evaluación por parte de los clientes, es la evaluación que realizan los clientes al titular del puesto.

1.2.- Antecedentes de uso de la teoría de Grafos para estudiar las estructuras organizacionales

La utilización de grafos es una teoría en la que el desarrollo de métodos y técnicas de investigación no han sido independientes lo teórico de lo conceptual, puesto que han estado mutuamente sostenidos, vinculados y generados. La perspectiva innovadora que aporta este enfoque es la búsqueda de relaciones dentro de la parte estructural de las organizaciones, es decir, aquella en que los vínculos o las relaciones entre los individuos son las fuentes de información y objeto del análisis por parte de estos modelos (Lozares, 1996). Aquí se presenta una revisión de los fundamentos utilizados en los métodos de análisis y métricas para modelos de estructuras organizacionales basados en grafos. Para ello se revisan las propiedades de los grafos sobre las que se basan las distintas técnicas que se utilizan. Definidas las propiedades, se detallan las bases de los métodos de análisis y medición; para por último describir las técnicas y métodos de análisis y medición más frecuentemente utilizados. Se busca así un método simple de validación para la utilización de grafos como modelo conceptual para el análisis de las estructuras organizacionales (EO).

El origen de estos enfoques se remonta a Levy Moreno (Levy Moreno, 1930), quien inicia lo que sería la sociometría, donde buscó indagar la evolución y organización de grupos de personas y la posición de los distintos individuos en dichos grupos, valiéndose de técnicas cuantitativas, como las matrices y los diagramas, para representar dichas relaciones. Posteriormente Aguirre (Aguirre, 2011), planteó que el comportamiento de los individuos se podría explicar mediante las interrelaciones y los métodos que se utilizan en la teoría de grafos, esto implica relacionar grafos

matemáticos con problemas sociales para graficar y medir las relaciones, así se constituyó en el principal antecedente del análisis de grafos. Hay que buscar información para construir modelos que difieren de los modelos estadísticos convencionales, indagando las vinculaciones de los miembros de estos grupos, y si bien las técnicas utilizadas pueden ser convencionales, la información que se busca debería permitir realizar inferencias sobre las relaciones entre los individuos. El grafo obtenido es útil para el análisis de las relaciones entre los individuos que la investigación modeló previamente en la forma de un grafo y lo expresó matemática como una matriz de datos.

1.3.- Otros enfoques. Métodos de análisis formal

Dado la gran diversidad de formas organizativas y tipos de interacción entre ellas, la complejidad estructural y de comportamiento de las organizaciones, y su interdependencia de la complejidad del entorno donde se insertan estas organizaciones; no sería inapropiado plantear un enfoque alternativo que tenga el mismo sentido que el análisis basado en grafos. La metodología del análisis formal nos permite el uso de lenguajes estructurados de computación para modelizar e incluso interactuar con las organizaciones.

Para este entorno complejo y dinámico con recursos insuficientes se crean obstáculos desafiantes para lograr el cumplimiento de los objetivos elementales de cualquier organización: sobrevivir y prosperar. Para tener éxito, una organización debe organizar de manera eficaz y eficiente su estructura interna y sus actividades de modo que se logre el ajuste con el entorno, pero no hay metodologías de aplicación universal para garantizar el éxito de una organización en todo momento y en todos los casos; por lo tanto, sufren de diversas ineficiencias e inconsistencias en su desempeño. Estas fallas pueden identificarse fácilmente en algunos casos, pero para otros, deben utilizarse métodos de análisis más profundos.

Muchas técnicas de análisis del desempeño organizacional, desarrolladas en la teoría de la organización son informales e imprecisas, afectando la viabilidad y el rigor del análisis. Para evaluar en una forma más precisa el desempeño organizacional, identificando cuellos de botella y conflictos de desempeño, debe realizarse un análisis organizacional detallado basado en un modelo de organización formal. Un modelo de organización formal es la base para muchos procesos automatizados dentro de las empresas, por ejemplo, la fabricación integrada por computadora; además de proporcionar una base para la cooperación entre sus áreas internas, e incluso otras empresas. Para aplicar el análisis formal, debemos introducir un marco de modelado formal que permite representar diversos aspectos de la realidad organizacional, dentro de varias perspectivas:

las relacionadas con el proceso, las relacionadas con el desempeño y las relacionadas con la organización, y como los individuos suelen ejercer una influencia significativa en la dinámica organizacional, también debe considerarse aspectos relacionados con el comportamiento humano.

2.- Revisión de conceptos que se han aplicado

Para conocer la teoría de grafos, también llamada por algunos autores como teoría de redes y su relación con las ciencias de la complejidad, es necesario saber primero el origen de esta teoría, sus corrientes principales y cómo ha evolucionado. Por lo cual a partir de un recorrido histórico, descriptivo y analítico de los grafos o redes junto a una sustentación particular de cada acontecimiento y una reflexión acerca de las implicaciones de ellos, se ha desarrollado la siguiente descripción:

2.1.- Teoría de grafos o redes

Es una teoría en la que el desarrollo de sus métodos y técnicas de investigación no ha sido independiente del teórico y conceptual, puesto que han estado mutuamente sostenidos, vinculados y generados. La perspectiva innovadora que aporta es la relacional, dentro de una vocación claramente estructural, es decir, aquella en que los vínculos o las relaciones entre los actores son unidades básicas de recogida de información y del análisis (Lozares, 1996).

2.1.1. Origen de estas teorías

De acuerdo a Cross y Gray (2013), esta teoría debe su origen a la confluencia de diferentes teorías psicológicas, sociológicas y antropológicas, al igual que a modelos matemáticos en los que sustenta la formalización de la teoría de redes como parte de la teoría de los grafos.

La idea de describir la sociedad en términos de grafos de redes no es nueva en el campo de las ciencias sociales. Sin embargo, lo que sí constituye un desarrollo reciente, es el análisis de grafos de redes, como la posibilidad de verificar empíricamente, a través de diversos métodos, los postulados teórico-referentes a la naturaleza de las relaciones y la estructura de grafos de redes.

En este sentido, gracias al desarrollo de la tecnología informática, la teoría de grafos y los avances en campos del álgebra y la topología, el análisis de grafos de redes ha creado un apartado metodológico y técnico que constituye la base de un nuevo paradigma interdisciplinar, consolidado y expandido en las ciencias sociales (Garrido, 2014).

Lo particular es que, a través del uso de modelos teóricos de carácter formal expresados en términos matemáticos y, del análisis sistemático de datos de carácter empírico, ha permitido hacer operativo

el concepto de estructura social que estaba en la base de algunas importantes y tradicionales escuelas en el campo de ciencias como la sociología y la antropología (Garrido, 2014).

El análisis de grafos de redes se basa principalmente en la noción intuitiva de que existen patrones o características importantes de la vida de los individuos, que depende en gran medida de cómo ese está ligado a la red de conexiones, por lo que el éxito o el fracaso de las sociedades y organizaciones a menudo dependen del patrón de su estructura (Reynoso, 2011).

El enfoque sistemático de la teoría de grafos de redes y su investigación comenzó a partir de 1930, cuando Jacob Levi Moreno introdujo la sociometría, cuya disciplina investiga la evolución y organización de grupos y la posición de los individuos dentro de dichos grupos (Bezanilla y Miranda, 2012).

Posteriormente, a fines de la Segunda Guerra Mundial Alex Bavelas psicólogo y sociólogo americano, fundó el Grupo de Redes de Laboratorio en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), y fue hasta 1970 cuando la teoría de grafos, experimentó un rápido desarrollo gracias a la aparición de los ordenadores relativamente potentes, lo que permitió que el análisis de grafos de redes comenzara a desarrollarse como una especialidad interdisciplinaria, pasando a ser una disciplina internacional con organizaciones profesionales, libros de texto, revistas, centros de investigación y formación, y programas de ordenador diseñados específicamente para facilitar el análisis de los datos reticulares (Reynoso, 2008).

2.1.2. Corrientes de investigación y desarrollo de la teoría de grafos de redes.

A este análisis también se le denomina análisis reticular o estructural, ya que tiene forma de red, y designa una perspectiva de investigación de tipo estructural.

La noción de estructura se hace operativa representándola en términos de un sistema de relaciones que vinculan entidades o agentes diferenciadas como actores, grupos, organizaciones públicas y/o privadas, o cualquier otro tipo de entidad social susceptible de ser considerada un elemento, y el conjunto de vínculos entre las entidades constituyen las redes. La estructura del grafo de red vendrá determinada por las pautas o regularidades en las formas de vinculación que emergen de los conjuntos relacionales como consecuencia del análisis (Reynoso, 2008). En general, es posible establecer que el análisis de redes es el resultado de tres corrientes de investigación:

- La *corriente de la antropología británica* desarrollada a partir de las investigaciones del Instituto Rhodes Livingston o Escuela de Manchester, en cuya escuela el primero que empleó

el concepto de red en un sentido específico fue John Barnes en 1954 en su estudio define la red como: “gráficamente se puede describir como un conjunto de puntos, algunos de los cuales están unidos por líneas. Los puntos de esta imagen gráfica unas veces son actores y otros grupos, y las líneas muestran quiénes interactúan entre sí. Bott (Bott, 1957) amplió el concepto y definió la intervenculación, hoy conocida como densidad. Posteriormente, el tratamiento más sistemático del tema lo constituye el libro editado por James Clyde en *Social networks in urban situations* en 1969.

- Por la influencia del pensamiento del sociólogo George Simmel dedicado al estudio de la interacción social, surge la segunda *corriente de investigación norteamericana* que ya incorpora los análisis cuantitativos y estadísticos, y se comienza a expandir en Norteamérica la utilización y perfeccionamiento de la teoría o metodología del análisis de redes, la cual por el ámbito de las investigaciones, y el número de relaciones, fue necesario el uso de matrices (Garrido, 2014). Jacob Levi Moreno propuso una representación de los datos relacionales diferente al sociograma, que fueron las socio matrices o matrices de adyacencia para datos que no son específicamente sociométricos, es decir, que no solo sirven para medir las relaciones sociales, lo que a su vez se vio favorecido por la aparición de los ordenadores personales (Bezanilla y Miranda, 2012). Estos estudios fueron fundamentales para el avance del análisis de redes, lo que hasta entonces eran realizados principalmente con la técnica de encuestas.
- La tercera *corriente canadiense y norteamericana*, incorpora procesos políticos como relaciones de intercambio y/o de dependencia entre grupos y Estados. Dentro de ella, una línea de influencia teórica y de interés en el campo de la acción colectiva y los movimientos sociales lo constituye la teoría de movilización de recursos, que explica los procesos políticos enfatizando el papel de los patrones de relaciones entre grupos de interés y la importancia de las relaciones directas e indirectas para la obtención individual y grupal de los recursos (Tilly, 1978).

2.1.3. Aportes de la teoría de grafos al análisis de redes.

Según Aguirre (Aguirre, 2011) la teoría de grafos ha realizado importantes aportes a las ciencias sociales en general y al análisis de redes en particular, entre los que es posible mencionar:

- Las propiedades del grafo obtenido de una estructura de relaciones, permite inferir aspectos de ésta que de otra forma no pueden ser conocidos.
- Para entender la particular morfología de un grafo de red se debe dar cuenta de los patrones de conectividad que siguen su evolución. Para ello, se debe centrar en las relaciones por sobre las características de los actores involucrados.
- En los grafos de redes que presenten un proceso de cambio en su conformación, se debe analizar las características contextuales y causales.
- Los grados de separación entre los nodos pueden ser cuantificados y su coeficiente permite entender que tan interconectada está el grafo de red.
- En los grafos de redes que presenten una distribución de relaciones del tipo de ley de potencia, se debe abandonar los criterios de muestreo aleatorios y concentrarse en los nodos, sus relaciones, posición y función en la dinámica de la red.

La simulación es adecuada para la generalización de estos análisis, pero el conflicto entre generalidad y profundidad persiste, por lo que si el objetivo es profundizar el conocimiento de un grafo de red, se deben complementar con diseños cualitativos que permitan recoger la perspectiva de los actores involucrados.

2.2. Grafos de Red y las ciencias de la complejidad.

Según la literatura especializada, esta teoría se inscribe en el marco de las teorías, métodos y algoritmos de las ciencias de la complejidad (Mitchell, 2009), ya que comparte características propias de los sistemas adaptativos complejos, configurando lo que se denomina redes complejas (Vega-Redondo, 2007).

Por su parte Reynoso (Reynoso, 2006), plantea que la complejidad de un grafo de red se encuentra en la heterogeneidad de las interacciones entre los actores, donde la cantidad de nodos no resulta ser lo más importante, sino que la diversidad de conductas de los actores, de igual modo que para que el grafo de red posea suficiente heterogeneidad debe a su vez poseer un gran número de integrantes.

El comportamiento de los grafos de redes complejas al reflejar patrones de desempeño comparable al de los sistemas complejos, ha permitido que mediante diversos algoritmos y métodos de análisis

se haya logrado aplicar en el análisis de redes, de lo que Weaver (Weaver, 1948) denomina complejidad organizada. Sin embargo Capra (Capra, 1998) y Solé (Solé, 2009) van más allá, y plantean que la morfología misma de todo sistema complejo está representada por un grafo de red de interconexiones, por lo que entender la estructura de éstos permite abordar la misma estructura de la complejidad.

2.3. Ciencia de redes y la conectividad.

Para Duncan Watts (Watts, 2006) la ciencia de los grafos de redes, dentro del análisis de las ciencias y demás disciplinas que reúnen el pensamiento y comportamiento humanos, así como de sus derivaciones, se encuentra en construcción. Por lo cual no puede ni pretende dar respuestas a todos los fenómenos de los que se ocupa, que en general son los que encierran la cotidianidad y la complejidad de la vida y la realidad humana. No obstante, ofrece explicaciones y análisis simples de fenómenos altamente complejos (Malaver, Rivera y Alvarez 2010).

En el origen de la ciencia de los grafos de redes, es destacable la convergencia de una amplia variedad de disciplinas. Esta perspectiva permite, además, resolver oposiciones hasta ahora difíciles de superar en ciencias sociales como son los pares micro-macro, cualitativo-cuantitativo o acción-estructura. Es por ello que se considera que el análisis de grafos de redes, además de representar una poderosa herramienta de análisis y una perspectiva diferente de la realidad, puede ser un lugar privilegiado para avanzar en la renovación de la teoría social (Molina, 2004).

Para Watts, la ciencia de redes es la ciencia de las estructuras dinámicas, cambiantes, variables, impredecibles y evolutivas, es decir, de todos los sistemas naturales y artificiales. En la era del acceso, plantea interesantes reflexiones acerca de la interconexión y la historia, que relaciona todos los elementos de la vida, en cualquiera de los escenarios, con énfasis en que la importancia no está solo en buscar la identificación de las características o número de elementos que conforman algún sistema, sino en las relaciones, interdependencias e interacciones que se dan entre ellos.

Los grafos de redes empíricas que interconectan el mundo no suelen ser estructuras estáticas sino estructuras evolucionando en el tiempo en al menos dos sentidos, ya sea generando un producto como el envío de información, la toma de decisiones, o la generación de poder, y por otra parte, produciendo modificaciones en su propia morfología. Por lo que están en permanente evolución, sin embargo, si dicha evolución fuese incrementalmente lógica el método del estudio de los grafos

de red podrían ser predecibles. Por lo que, en la era de las conexiones el resultado depende tanto de la estructura como de su historia y evolución (Malaver et al. 2010).

Para Watts las redes conectan todo y todo está conectado por ellas, puesto que en el mundo no hay actividades aisladas o independientes, o que no afecten o tengan efecto sobre otras, por lo que la conectividad es un fenómeno, dado que no necesariamente es un hecho físico que relaciona todos los individuos, elementos o componentes de las sociedades. Esta conectividad es una de las características de las redes, si no su propia esencia, de tal forma que en la medida en que aumente, hasta el punto en que se supera cierto umbral, dicha conectividad se torna incontrolablemente creciente (Malaver et al. 2010).

El ser humano, en su naturaleza física, es una red, puesto que cientos de millones de conexiones se dirigen desde y hacia el cerebro y desde allí se coordinan y determinan las acciones, las decisiones y las emociones, a través de mensajes que van desde los órganos sensitivos hacia el cerebro, o desde este último, codificados como órdenes, hacia todos los componentes del cuerpo, por lo que es inevitable que el ser humano construya o constituya redes, en todos los niveles y de todo orden, dado que en su misma esencia está conformado por ellas (Malaver et al. 2010). Desde otra perspectiva, la ciencia de los grafos de redes, tiene su origen en la observación del mundo, de su evolución, del desenlace de sus situaciones naturales y de las derivadas de las creaciones humanas, donde estas se hacen presentes en todo aquello que relaciona e interconecta la vida humana como: las redes tecnológicas, las electrónicas, las políticas, las económicas, etc.

Estas analogías permiten entender y comparar cómo en todos los ámbitos, comenzando por la misma base biológica de la vida, las redes presentan similares características, condiciones, fortalezas, debilidades, vulnerabilidades, formas de crecimiento, expansión, agentes externos que les afectan, comportamientos individuales, comportamientos colectivos de los subgrupos, comportamientos colectivos, etcétera (Malaver et al. 2010).

2.4.- Caracterización y Análisis de los grafos de Redes

Las propuestas conceptuales que buscan delimitar las propiedades y características de las redes sociales son numerosas, lo cual da cuenta de la importancia de este fenómeno en el estudio de las formas de interacción. En un principio Dabas (Dabas, 1993), consideraba que las redes sociales eran un proceso permanente de construcción que se daban tanto a nivel individual como colectivo gracias a un intercambio dinámico establecido por sus integrantes, lo que permite que los recursos sean

potencializados. Lo que solo se puede lograr mediante la experiencia de compartir los aprendizajes para buscar con ello la solución de problemas comunes. Así mantiene la idea clásica de grafo de red, pero le agrega un carácter abierto, con múltiples centros de soporte y diversos niveles de jerarquías, donde los integrantes generan intercambios permanentes con otros, desarrollando la potencialidad de recursos y la creación de alternativas innovadoras para la solución de problemas y la satisfacción de necesidades. Por lo que el concepto de red es una construcción integradora que exige igualmente un nivel de análisis integrador, ya que implica la interrelación bajo condiciones específicas de intercambio y ofrecimiento de soporte como forma de afrontar las adversidades.

Según Madariaga (Madariaga, Abello y Sierra, 2003), el concepto de red social se interpreta como una forma de proporcionar apoyo afectivo, moral, económico o social, y considera la red como una estructura que configura mecanismos de supervivencia para otorgar bienestar social y económico, y permitir la solución de problemáticas asociadas al desarrollo del grupo o para cubrir las necesidades en general.

Mitchell (Mitchell, 1969), define una red social como un conjunto particular de interrelaciones entre un conjunto limitado de actores, con la propiedad adicional de que las características de estas interrelaciones pueden ser analizadas para interpretar el comportamiento de los actores implicados.

Del mismo modo Sanz (Sanz, 2003), señala que el análisis de redes sociales se ha perfeccionado como una herramienta que hace posible estudiar tanto la estructura de las relaciones que afectan la conducta y actitudes de un actor o grupo de ellos, como la influencia que las interacciones entre los actores involucrados tienen sobre dicha estructura.

Aguirre (Aguirre, 2011), aclara que cuando se habla de redes sociales este concepto se asocia frecuentemente con el uso masivo de algunas herramientas interactivas de internet. Sin embargo, cuando en ciencias sociales se habla de redes sociales, estas herramientas interactivas son un subtipo de redes, debido que el concepto de red social en las ciencias sociales antecede al desarrollo de estas tecnologías, de hecho, corresponde a varias décadas antes de internet. Asimismo, se tiene evidencia de la existencia de redes sociales hace miles de años atrás en la historia, junto a la formación de las primeras comunidades humanas (McNeill y McNeill, 2010).

2.4.1. Características de los grafos de red

Los grafos de red poseen un carácter dinámico determinado por el flujo continuo de intercambios, ese flujo combina elementos emocionales, de soporte social e inmaterial, así como elementos

instrumentales o materiales de forma que el intercambio implica diversas unidades de circulación que incluyen información, productos, apoyo u otros factores. Esa multiplicidad de elementos que fluyen en los intercambios, son los que enriquecen la naturaleza dinámica de la red y complejizan la circulación de estos flujos (Ávila-Toscano y Madariaga, 2012b). Por su parte Samper (Samper, 2004), también plantea que a través de estas, además de los aspectos emocionales, materiales e inmateriales, se realiza un proceso de intercambio de conocimientos, lo que produce que las estructuras de las redes sean de variada índole incluyendo redes de tipo formal e informal.

Desde otro ángulo Abello y Madariaga (Abello y Madariaga, 1999), sostienen que las redes cuentan con características cuantitativas tales como la cantidad de miembros que la integran, es decir su tamaño, la frecuencia con que establecen contactos y el grado de simetría existente en el contacto de los miembros. Asimismo los grafos de red cumplen con importantes funciones de acuerdo a las transferencias o relaciones de intercambio existentes en ellas, mediante el uso de las redes los actores se brindan apoyo y cooperación, así como protección frente a las adversidades. Donde las prácticas de intercambio fortalecen y mantiene la red permitiendo el reforzamiento de su estructura lo que conlleva una influencia positiva sobre la posibilidad de ofrecer apoyo a los actores, quienes pueden encontrar en la red un mecanismo de asistencia para el afrontamiento de las dificultades. También los grafos de red permiten a sus miembros el desarrollo de prácticas de cooperación y apoyo como mecanismo para generar cohesión en los grupos, así como para el afrontamiento de la incertidumbre, las carencias afectivas, materiales y la segregación. Desde este concepto se han enfocado numerosas investigaciones, destacando la importancia de los intercambios para lograr el fortalecimiento de sus diversas dimensiones de desarrollo, en especial en comunidades vulnerables producto de las condiciones económicas, sociopolíticas, culturales, etcétera (Durand, 2000).

Aunque en los grafos de red se analiza frecuentemente las relaciones horizontales o entre pares, el análisis no se limita solo a este tipo de interacciones, ya que puede ampliarse a las relaciones de poder y a intercambios desiguales independientemente del tipo de relación que en ella se sostenga o de la naturaleza de las interacciones (Samper, 2004). Así como existen relaciones de cooperación y apoyo, en las redes también se construyen sistemas de jerarquización o incluso de control del flujo de recursos, por ello también resulta relevante lograr la estructuración de redes en las cuales la participación propicie la obtención de soporte (Ávila-Toscano y Madariaga, 2010).

De acuerdo con Lozares (Lozares, 1996), los grafos de red poseen una serie de características que definen su estructuración y dinámicas de desarrollo y funcionamiento, por lo cual propone iniciar el análisis con la identificación de las características de las redes, lo cual consiste en establecer la

diferenciación entre la forma y el fondo o contenido, dado que el análisis de grafos de red conlleva un proceso formal de examen de relaciones construidas a partir de una problemática de las que se recogen datos y se realiza el respectivo análisis. La forma de los grafos de red se refiere a la configuración general que presenta y que posee un potencial explicativo del funcionamiento, que se entiende como un elemento sustancial de la relación entre los individuos. Así, la naturaleza de estas relaciones puede variar en función del tipo de grafo de red, relaciones formales o informales, y dentro de éstas categorías estas pueden variar entre superficiales o profundas, dirigidas no dirigidas, permanentes o pasajeras.

2.4.1.1. Tipo de redes.

Cada relación equivale a una red diferente, así, los movimientos de un actor entre nodos constituirían una red, mientras que los movimientos de otros elementos entre los nodos, constituirían redes diferentes a pesar de ser todas ellas mediciones de un mismo fenómeno. A continuación se revisarán algunos tipos de redes:

2.4.1.1.1. Tipo de redes de acuerdo a la orientación de sus relaciones.

De acuerdo a Molina (Molina, 2004), en función de si la relación entre nodos es orientada o recíproca y en función de si los nodos son los mismos o diferentes en la Tabla 1 se muestra a lo menos cuatro tipos de Grafos de red:

Tabla 1. Tipos de grafos de red posibles

Tipo	Orientada / Dirigida	No orientada / Reciproca
Nodos Iguales	1	2
Nodos Diferentes	3	4

Cada relación da lugar a un grafo de red diferente, la existencia de relaciones recíprocas u orientadas, lo que dependerá del origen y destino de sus relaciones, como se ve en la Figura 1, y la posibilidad de incorporar datos atributivos en el análisis. Además, cada uno de estos tipos pueden ser a su vez binarios o valorados.

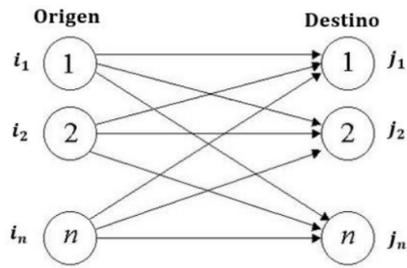


Figura 1. Nodos y enlaces de inicio y destino

La gran mayoría de algoritmos de análisis se enfocan en los grafos de red de tipo 1 y 2, sin embargo, también existen procedimientos para analizar las redes tipo 3 y 4, aunque son más sofisticados, debido a que las interacciones recogen información de los atributos de los nodos los combina con los datos relacionales obtenidos. Sin embargo, los actuales paquetes informáticos de análisis permiten alternar entre matrices y representaciones gráficas de forma más simple.

La Figura 2 presenta tres tipos de grafos de red acuerdo al tipo de enlace.

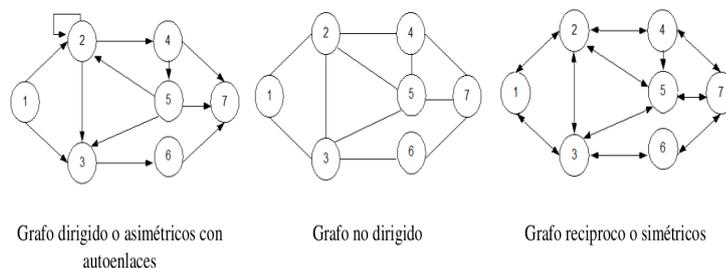


Figura 2. Distintos tipos de grafos de red

El primero de la izquierda, es un grafo dirigido o asimétrico con autoenlaces, donde los arcos tienen asociada una dirección; el ubicado en el centro es un grafo no dirigido cuyas aristas no tienen asociada una dirección; y el de la derecha es un grafo recíproco, bidireccional o simétrico donde los arcos tienen asociadas ambas direcciones.

2.4.1.1.2. Tipo de redes de acuerdo a la naturaleza de los actores y eventos involucrados.

Aguirre (Aguirre, 2011) plantea que en base a la naturaleza de los actores y eventos, las redes se pueden caracterizar en:

- Redes modo 1: Estudia un único conjunto de actores y las relaciones que los vinculan, donde todos los actores son de la misma naturaleza.
- Redes modo 2: Estudia dos conjuntos de actores o eventos y las relaciones que los vinculan, en el caso de los actores estos pueden ser de naturaleza distinta; y en el caso de los eventos estos también pueden configurar contextos espacio-temporales y comunicacionales diferentes que podrían modificar la conducta de los actores.
- Redes modo N: Estudia tres o más conjuntos de actores o eventos, lo que complejiza en gran medida el sistema de relaciones y los métodos analíticos para su estudio.

Las redes también se pueden diferenciar en relación con la cantidad de conjuntos diferenciados de actores, y/o la cantidad de relaciones. Siendo por una parte las denominadas redes uniplex cuando se trabaja sobre una red conformada por una única relación entre un conjunto de actores y redes multiplex cuando se trabaja sobre redes conformadas por dos o más relaciones vinculando al mismo conjunto de actores.

Evidentemente, la complejidad del análisis se incrementa a la vez que se van sumando relaciones o modos al análisis de redes como lo muestra la Tabla 2. Esto permite ponderar el efecto de distintas relaciones a la vez que habilita a desarrollar inferencias más complejas sobre el comportamiento de los individuos y la dinámica de los grafos de red.

Tabla 2. Clasificación analítica de los grafos de red

Tipo de Relación	Tipo de individuos	
	Unimodal	Multimodal
Uniplex	Unimodal - Uniplex	Multimodal - Uniplex
Multiplex	Unimodal - Multiplex	Multimodal - Multiplex

Un grafo de red multidimensional puede abordar conjuntos de individuos de naturaleza distinta y las múltiples relaciones que los atraviesan. Cuando un análisis multimodal y multiplex analiza las

relaciones entre entidades de distintos conjuntos y, a la vez, las relaciones de esas mismas entidades dentro de cada conjunto, se está en presencia de un análisis multidimensional completo.

2.4.1.1.3. Tipo de redes de acuerdo a la forma.

En términos generales existen diferentes tipos de grafos de red: bus, estrella, mixta, anillo, doble anillo, árbol, malla, conexas, etcétera, e incluso es posible que surjan nuevas formas de clasificación con los avances en el estudio de redes, ya que la existencia de cambios pequeños en la topología de una red puede generar una amplia posibilidad de relaciones, lo cual demuestra precisamente la importancia de contar con modelos de definición y comprensión de sus propiedades (Madariaga y Ávila-Troncoso, 2012).

2.4.1.1.4. Tipo de grafo de red de acuerdo a la centralidad.

Existen tres tipos básicos (Ugarte, 2007):

- Grafo de red centralizado: Todos los nodos, menos uno, son periféricos y solo pueden comunicarse a través del nodo central. El riesgo de este tipo de red se presenta con la caída del nodo central, puesto que priva del flujo a todos los demás nodos.
- Grafo de red descentralizado: No existe un único nodo central sino un centro colectivo de conectores. Por lo que la caída de uno de estos nodos conlleva la desconexión de uno o más nodos del conjunto de la red.
- Grafo de red distribuido: Todos los nodos se conectan entre sí, sin que tengan que pasar necesariamente por uno o varios centros. La red es robusta ante la caída de nodos, puesto que ningún nodo, al ser extraído, genera la desconexión de otro.

2.4.1.1.5. Tipo de grafos de red de acuerdo a la composición.

Flores (Flores, 2014) distingue cinco tipos de grafos de red:

- Interpersonales o unipersonales
- Comunitarias
- Institucionales carácter público-público
- Institucionales carácter público-privado
- Entre privados

2.4.1.1.6. Tipos grafos de red de acuerdo a su constitución.

Esta caracterización según Sanicola (Sanicola, 1996) diferencia cuatro tipos:

- **Primarios:** Constituyen el ámbito de desarrollo en el cual la donación es el elemento que sobresale, cuyo mecanismo le da forma al mundo afectivo y simbólico de los actores. Por su parte Chadi (Chadi, 2000) considera que estas redes son el mapa mínimo que incluye todos los actores con que interactúa un actor.
- **Secundarios informales:** Están formadas de las redes primarias cuando un grupo de actores se unen ante un propósito común, para lo cual se organiza una ayuda o servicio. Ejemplo de ello son los grupos de apoyo o de ayuda, de padres, etcétera. Chadi, en este mismo ámbito, plantea que estas redes tienen lugar en un contexto más apartado del grupo primario del actor, son externas y las rige una menor proximidad.
- **Secundarios formales:** Se constituyen por el interés del derecho fundado en la sociedad, brindan contención o apoyo acorde a las exigencias de sus usuarios, un ejemplo son las instituciones educativas o sanitarias. Para Chadi, estas también son llamadas redes institucionales, por su carácter exógeno y formal.
- **Del tercer sector:** Se organizan sin finalidades lucrativas y cuyo objetivo es aportar ayuda y solidaridad, estas son aquellas que suelen otorgar soporte formal a los actores de redes primarias, como por ejemplo las organizaciones no gubernamentales, asociaciones de voluntarios, fundaciones sociales, entre otras.
- **Mixtas:** Son una combinación de medios de intercambio en las que puede haber productividad económica y a la vez organización de derecho e interés ciudadano como sucede con las escuelas privadas, o las redes de mercadeo, que forma parte del ecosistema y comprenden fines lucrativos y de provecho, dentro de estas redes también se encuentran todas las instituciones que ocupan el círculo de productividad y rendimiento económico.

2.4.1.1.7. Tipo de redes de acuerdo a sus relaciones de intercambio.

De Lomnitz (Lomnitz, 1981) reconoce el establecimiento de al menos dos categorías:

- **Exocéntrica o extendida:** Se caracteriza, no por el intercambio diádico sino por el intercambio con todos en una red extensa, donde se pueden sostener simultáneamente relaciones de intercambio con otros actores que se encuentren fuera de la red extensa.

- Egocéntrica o personal: Se refiere a los actores con los que se intercambia bienes y servicios de forma inmediata excluyendo relaciones de tipo comercial. Los intercambios son esencialmente de tipo diádico, y dependerá de la distancia.

De Lomnitz también plantea que la intensidad del intercambio está definida por la distancia de los elementos considerando los siguientes tres factores:

- Distancia social: Prescripciones socialmente establecidas para el desarrollo del intercambio entre los actores (hermanos, padres e hijos, amigos, etcétera).
- Distancia física: Se refiere a la intensidad del intercambio en función de la cercanía o lejanía que tienen los miembros de la red. Entre más lejana es la ubicación de un elemento, menor será la intensidad del intercambio y lo contrario cuando la ubicación es cercana.
- Distancia psicológica: Es una variable subjetiva, y se relaciona con la voluntad o el deseo de establecer intercambios con alguien basado en la confianza.

2.4.2. Tipo de propiedades del grafo de red.

Según Streeter y Gillespie (Streeter y Gillespie, 1992), existen dos propiedades en los grafos de red que permite organizar su estudio, estas son las relacionales y las estructurales. Sin embargo, con el objeto de abarcar de forma aún más completa la variedad de preguntas, objetivos e hipótesis de investigación el análisis agrega un tercer tipo de propiedades, las llamadas componenciales. Su descripción es la siguiente:

2.4.2.1. Propiedades estructurales.

Describen la forma en la que los actores se vinculan para formar el grafo de red, son las que se toman en consideración cuando el nivel de análisis es la estructura, por lo que implica analizar su particular morfología. El análisis de grafos de red cuenta con un conjunto de métodos de análisis matemático para abordar estas propiedades, no solamente para el análisis morfológico del grafo sino también para el análisis de las matrices de datos que le dan origen, elementos centrales para diferenciar las características estructurales generales de la red, como las características posicionales de cada actor, la existencia de patrones en las relaciones y la centralidad de los distintos actores en el funcionamiento de la red.

Para Kuz (Kuz et al. 2016) la intensidad relacional, se refiere al número de vínculos que tiene un nodo, en relación al tamaño de la red, la cual permite analizar la influencia que una relación determinada tiene sobre la conducta y decisiones de un individuo. Desde este enfoque, las relaciones condicionan las opciones y preferencias de sus individuos y, a la vez, despliegan potenciales escenarios dentro de los cuales toman curso sus estrategias, configurándose así un espectro de potenciales opciones desde las que los individuos adaptan su comportamiento, de acuerdo a la dinámica de esas relaciones. Para tener en cuenta los efectos del tamaño sobre la intensidad relacional se han definido dos medidas:

- La densidad: es el porcentaje de las conexiones existentes respecto al máximo de conexiones posibles
- El grado de la red: es el número medio de conexiones por punto.

El grado se emplea para estimar la centralidad de las posiciones de cada nodo. El concepto de centralidad y su medición adquieren un papel fundamental en el estudio de redes, pues aquellos nodos que ocupan posiciones centrales tienen mayor capacidad de incidir en la opinión y conducta de los otros nodos, especialmente en los casos de flujos de información e intercambio. La centralidad admite dos medidas básicas diferentes:

- Grado de un nodo: corresponde a la cantidad de conexiones directas que tiene con otros nodos
- Intermediación: se refiere al nivel de mediación de un nodo en la totalidad de las conexiones indirectas.

Se establece que dos nodos sin conexión directa están conectados cuando existe un camino que los vincula, el cual recibe el nombre de geodésica y corresponde al camino más corto que conecta un par de puntos (Garrido, 2014). Ahora si entre dos nodos solo existe una relación que los conecte, esta relación se denomina puente.

La centralidad como intermediación también puede ser vista como una posición de poder, por lo que un individuo intermediario es un agente que controla la comunicación, de forma que su posición le confiere una ventaja de poder. Además, la mediación tiene un coste, es decir el intermediario recibe por sus servicios alguna fracción de los recursos que fluyen entre los individuos, quienes, por consiguiente, preferirán la distancia de vía más corta, pues de ese modo reducen los costes (Marsden, 1982).

Es importante distinguir entre centralidad y jerarquía puesto que se parecen, pero no son idénticos, donde un individuo es central en la medida en que se encuentra implicado en todas las relaciones, y tiene jerarquía en la medida en que es objeto directo o indirecto de todas las relaciones. La jerarquía se refiere al prestigio de una posición, de modo que una estructura centralizada de relaciones simétricas no es una jerarquía (Kuz et al. 2016).

2.4.2.2. Propiedades relacionales.

Según Streeter y Gillespie (Streeter y Gillespie, 1992), definir estas propiedades implica focalizarse en las relaciones que constituyen y dan existencia al grafo de red. Es posible focalizarse sobre dos elementos, por una parte las transacciones, que refieren a lo que fluye o se intercambia en las relaciones como su direccionalidad y densidad, la información, los recursos, la influencia, el apoyo, etc., y por otra parte, la naturaleza de las relaciones, como cualidades inherentes a la relación entre los individuos.

Para estudiar estas propiedades se debe acceder a información precisa sobre las características de cada una de las relaciones diádicas entre las entidades bajo estudio y, así, aplicar métodos para agruparlas y estudiar su dinámica y su efecto sobre los actores. Evidentemente, abordar la naturaleza de las relaciones permite combinar los modelos cuantitativos con diseños y estrategias cualitativas, con el objeto de explorar las cualidades inherentes a estas relaciones, y la perspectiva de sus individuos, para lograr una mejor comprensión de las estas y su efecto sobre ellos.

2.4.2.3. Propiedades componenciales.

Continuando con Streeter y Gillespie, estas propiedades buscan identificar las características particulares de los distintos individuos del grafo de red y ver si se presentan regularidades entre ellas. Su estudio implica identificar las características de los individuos de la red, o de cada conjunto de individuos, si esta es de modo 2 o mayor, para detectar la posible relación causal con la dinámica de vinculación dentro del grafo de red. Por ejemplo, con este análisis es posible diferenciar la situación socioeconómica, actividad, ingresos, tamaño, tipo de liderazgo, ideología política, etcétera., con el objeto de detectar diferencias y similitudes entre ellos y ver si éstas se relacionan con su desempeño dentro de la red.

2.4.3. Principios orientadores de una red.

La Organización de los Estados Americanos (OEA, 2013) a través de su Departamento para la Gestión Pública de la Secretaría de Asuntos Hemisféricos, planteó tres que los principios orientadores de una red:

- **Inteligencia colectiva:** Consiste en aprovechar el mejoramiento de un producto o servicio basado en el uso y en los aportes que hacen los actores cuando participan en la red.
- **Aprendizaje colaborativo:** Es el consenso y la socialización de las capacidades de los múltiples individuos presentes en la red. Con las capacidades identificadas, los individuos aprenden uno del otro y el aprendizaje es continuo.
- **Nueva arquitectura de la participación:** Representa un cambio de foco, lo que implica pasar de la arquitectura de la información a la participación. El objetivo no es solo informar, sino que se puedan participar, es decir la estructura se potencia en la medida que más individuos las utilizan, puesto que la tecnología se diseña para propiciar la participación a partir de la premisa que la propia tecnología se mejora con su uso, lo que se refleja en un pragmatismo que promueve la simplicidad y la fiabilidad no centralizada y escalable.

2.5. Análisis de redes.

El método de evaluación de redes se denomina análisis de redes y en general es considerado como el estudio de la estructura de una red a partir de las regularidades en el patrón de relaciones establecidas entre entidades definidas como personas, grupos u organizaciones (Hawe, Webster y Shiell, 2004), o un método cuantitativo para obtener la estructura de una red (Molina, 2004). Sanz (Sanz, 2003) considera que el análisis de redes es un método o conjunto de instrumentos mediante el cual se conecta el mundo de los actores con aquellas estructuras que resultan de las relaciones establecidas por ellos, y debe ser comprendido como un nuevo paradigma de las ciencias que aborda las relaciones y las estructuras que emergen del ámbito relacional superando la identificación de atributos individuales.

Lozares (Lozares, 2005) por su parte, plantea que el análisis de redes es un método más que una teoría, puesto que supera las conceptualizaciones de las teorías sociológicas clásicas, integra los elementos y relaciones que estructuran la red, así como los sistemas y contextos en que se inscribe la relación de tales actores, por lo que sería un método relacionista. En su guía conceptual y

metodológica desde el enfoque del capital social Arriagada (Arriagada et al., 2004), elaboraron la siguiente guía (ver Tabla 9) para orientar el análisis de redes:

Tabla 3. Características principales del análisis de red

Ámbito	Descripción
Perspectiva general	Método para la descripción y análisis de los patrones de relación presentes en una red.
Desarrollo	<p>Se ha desarrollado en dos grandes momentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hasta los años setenta, los estudios se centraron en los vínculos entre entidades y la distribución de ellas en redes. El foco de esos análisis fueron las redes egocéntricas y simples, representadas generalmente en sociogramas. - A partir de los años setenta, el desarrollo de innovaciones técnicas y metodológicas, basados en conocimientos matemáticos y estadísticos, permitió visualizar y operar redes mayores.
Áreas de estudio	Actualmente se destacan los análisis de políticas públicas, movimientos sociales, coaliciones políticas, elites sociales y de poder. La interpretación de la economía y la política, estudios organizacionales, y migración internacional, entre otros.
Datos	<p>Utiliza datos relacionados configurados a partir de los vínculos existentes entre los agentes.</p> <p>Los que se refieren a las conexiones que relacionan a un actor con otro u otros. Por lo general, dicha información no se encuentra organizada como tal, y debe recolectarse mediante cuestionarios, entrevistas, o en fuentes de datos especializados, registros de una organización, y otros datos.</p>
Visualización	<p>Para graficar redes simples se utilizan los sociogramas.</p> <p>Para la visualización de redes más complejas se han desarrollado programas computacionales que permiten, además, aplicar a las redes diferentes técnicas y medidas matemáticas y estadísticas para su análisis.</p>

Por otra parte, para poder estudiar las redes, el análisis de redes cuantifica las relaciones entre los actores con el objeto de crear matrices y redes gráficas que representen esas relaciones como un todo, y de esa forma analizar las distintas características del sistema de relaciones bajo estudio, indistintamente de la naturaleza de estas relaciones: políticas, económicas, de parentesco, amistad, cooperación, conflicto, etcétera. El análisis de redes se concentra en la red de relaciones, las posiciones funcionalmente diferenciables dentro de éstas, sus procesos dinámicos de adaptación, sus flujos y transacciones, entre otras.

La importancia del análisis de redes dentro de las ciencias sociales ha ido creciendo en los últimos años, como lo evidencia la aparición de nuevas instituciones académicas dedicadas a su estudio, donde destaca la Asociación Internacional para el Análisis de Redes Sociales (INSNA - International Network for Social Network Analysis), también existen revistas especializadas, por ejemplo la *Journal of Social Structure* o la *Social Networks*. Asimismo, el desarrollo de los programas de computación específicamente diseñados para el análisis de redes, y también la creación de importantes plataformas de datos para el estudio de redes (Aguirre, 2011).

El análisis de redes ha generado interesantes aportes en diversas disciplinas y temáticas de las ciencias sociales, también ha aportado re-conceptualizaciones sobre conceptos como: poder (Castels, 2011); cohesión social (Lozares y Verd, 2011); y cooperación (Berardo y Scholz, 2010), entre otros. De igual modo, existe un intenso debate sobre si el análisis de redes es un conjunto de métodos y algoritmos para analizar sistemas de relaciones o bien, si se trata de un nuevo paradigma teórico (Mische, 2011). Autores como Emirbayer y Goodwin (Emirbayer y Goodwin, 1994) y Reynoso (Reynoso, 2011), sostienen que el análisis de redes no solo cuenta con un conjunto importante de métodos y algoritmos analíticos, sino que además cuenta con un sistema teórico conceptual propio, de naturaleza relacional, que genera explicaciones acerca de los fenómenos sociales centrándose en los patrones y sistemas de relaciones que los constituyen y no en individuos, grupos, atributos, o categorías.

Emirbayer (Emirbayer, 1997), indica que el elemento fundamental del análisis de redes, y que lo vincula al movimiento teórico en las ciencias sociales se podría llamar relacionismo o transaccionismo, por su orientación sistemática a analizar los fenómenos sociales desde los patrones subyacentes de interacción entre las entidades sociales. Sin embargo, Aguirre (Aguirre, 2011) afirma que la novedad del análisis de redes es el enfoque relacional, que aborda los fenómenos desde una perspectiva en la que la morfología reticular de las relaciones, o la forma y estructura que esas relaciones son consideradas clave para lograr comprender los mecanismos causales, por detrás de

las acciones y decisiones que los actores. Además, permite descubrir pautas de interacción ocultas, y es dentro de este giro relacional lo que permite, generar nuevas inferencias y probar nuevas hipótesis que propongan aportes para las ciencias sociales.

Para Freeman (Freeman, 2004), el análisis de redes posee cuatro características que lo distinguen de otros tipos de análisis: está motivado por una intuición estructural basada en la búsqueda de lazos que vinculan actores; se basa sistemáticamente en evidencia empírica, recurre a grafos y al análisis morfológico de los mismos como herramienta heurística central, como un método para aumentar el conocimiento; y finalmente, confía en el uso de modelos matemáticos o computacionales para la formalización y generalización de sus proposiciones.

Desde otro punto de vista, el análisis de redes detecta posiciones dentro de las redes, las relaciones y las características funcionales de éstas en relación a toda la red, de esta manera, se pueden diferenciar posiciones, estrategias, flujos de transacciones y distribución de poder entre un conjunto de actores en un espacio y tiempo determinado. Asimismo, dar cuenta de cómo las redes configuran identidades, normas y valores compartidos, lo que presenta un atractivo particular cuando se busca indagar cómo emergen determinadas estructuras, bajo qué dinámicas de vinculación y como dan forma a las sociedades. Entender las relaciones estructurales como procesos dinámicos permite que los análisis empíricos sobre determinado tipo de red social sean longitudinales, y tomen en consideración series temporales de datos que permitan representar grafos para cada secuencia de tiempo escogida y, así, compararlos para dar cuenta de la evolución morfológica de la red, esto es, para evidenciar los cambios en la estructura de relaciones (Aguirre, 2011).

2.5.1. Niveles de análisis de redes.

Combinando la tipología que desarrollan Knoke y Yang (2008), Streeter y Gillespie (1992) y Wasserman y Faust (2013), existen tres niveles de análisis:

2.5.1.1. Análisis de redes egocéntricas.

Consiste en focalizarse sobre un actor sus relaciones y comportamiento. El objetivo aquí es analizar cómo evoluciona, las opciones y las preferencias del actor en relación con los vínculos que establece, a la vez que indaga sobre cómo el actor modifica sus relaciones con los demás en una dinámica de adaptación.

2.5.1.2. Análisis focalizado en subgrupos de actores.

Se distingue tres conjuntos de relaciones significativos:

- Red diádica: Se focaliza sobre pares de actores y la intensidad, robustez y duración de sus vínculos.
- Relaciones tríadicas: Involucra tres actores.
- Clúster: Se focaliza en los subgrupos dentro de la red, donde la dinámica permite inferir pautas o patrones de agrupamiento. Las series temporales de datos permitiría obtener grafos distintos para cada secuencia y así ver cómo evolucionan los grupos, por ejemplo: como aumentan o disminuyen la cantidad de nodos y/o relaciones, cómo se traspasan nodos de un grupo a otro, etcétera.

Distintos modelos matemáticos permiten realizar estos análisis, desde las matrices de datos, la representación gráfica, la cual si bien no es necesaria para el análisis, permite inferencias, a la vez que es una herramienta heurística de gran utilidad.

2.5.1.3. Análisis focalizado en la estructura.

El énfasis está puesto en la estructura general de la red a nivel macro, considerando las particularidades morfológicas que adopta, la existencia, rol e interacción de subgrupos o clústeres, la distribución de las relaciones entre los actores involucrados, la distancia geodésica entre los actores, entre otros. Knoke y Yang (Knoke y Yang, 2008) señala que cada nivel posee sus potencialidades, y su enfoque debe estar vinculado al tipo de pregunta que se requiere responder. Aquí el análisis de redes encuentra una de sus mayores ventajas, y es su capacidad de abordar problemas en múltiples niveles de análisis. Puesto que existe un vínculo robusto entre el comportamiento global de la red y el comportamiento particular de sus individuos, debido la dinámica no-lineal que generan procesos iterados de relaciones entre los individuos se reproduce por toda la red generando bucles y efectos de realimentación que determinan los cambios en la red en su conjunto.

2.5.2. Dimensiones.

Por su parte Porras (Porras, 2002) para el análisis de redes trabaja sobre dos dimensiones de análisis:

2.5.2.1. Dimensión global.

Donde se tiene: el tamaño o número de actores que participan en la red; el número de intereses involucrados en la red; la cohesión o número de interacciones existentes entre los participantes de la red con relación a su número potencial; la intensidad, en tanto que frecuencia y volumen de los atributos intercambiados; la estabilidad o persistencia en el tiempo de las relaciones; y la autonomía o grado de permeabilidad de la red a actores que son percibidos como ajenos a la misma.

2.5.2.2. Dimensión posicional.

Entre los que se pueden mencionar el principio de centralidad, que hace referencia al punto de la red en el cual se concentra el mayor número de recursos, funciones y competencias. El individuo con mayor centralidad es el referente a partir del cual se ordenan los siguientes tipos de individuos en la red, como los individuos intermedios, los que a pesar de no situarse en el centro de la red, consiguen influir; también están los individuos periféricos, situados en las zonas más distantes de la red, quienes raramente consiguen influenciar en el centro. Otro tipo de centralidad es la que ejercen los individuos denominados brokers, puesto que su posición destacada en la red, y le otorga el poder de controlar interacciones y, por ende, ciertos caminos de interacción.

2.6. Postulados y principios del análisis de redes.

En lo fundamental, a pesar de las diferencias que se pueden encontrar entre investigadores y corrientes de investigación, el análisis de redes se trata de un paradigma estructural de investigación que incluye un conjunto de técnicas y una metodología. Las que se apoyan en los postulados de Garrido (Garrido, 2014), como ser: la estructura de la red de relaciones es mejor fuente de explicación de las conductas que los atributos individuales compartidos de los individuos; las posiciones, identificadas y diferenciadas por los patrones de relaciones, solo existen en el contexto de un sistema de posiciones y son independientes de los individuos que las ocupan; el comportamiento de los individuos y grupos, sus normas y valores, están asociados a la posición ocupada en el sistema estructurado de relaciones; la interdependencia mutua entre la estructura y la interacción diádica de los individuos; el principio de análisis no son los individuos ni los grupos, sino las relaciones y las redes de relaciones; la metodología estructural sustituye a la individualista, donde la población o la muestra se definen en términos relacionales y ciertas técnicas matemáticas se usan más que las técnicas de estadística individual. Los anteriores postulados se fundan en los principios metodológicos del análisis de redes como lo es: la estructura de redes no es directamente observable en los datos, sino del resultado del análisis; por lo general, las relaciones son recíprocamente asimétricas, diferenciándose en contenido e intensidad; los miembros de la red se vinculan de forma directa e indirecta y es el conjunto del contexto estructural el que define una relación específica; las redes creadas por la estructura de las relaciones no son arbitrarias; y las relaciones pueden vincular a individuos, así como a grupos y organizaciones.

Finalmente, de acuerdo con Boissevain (1979), existen diez elementos o principios significativos en el análisis de redes:

1. Favorece el estudio de relaciones entre individuos y grupos, así como la posibilidad de estudiar las relaciones hacia el interior de las redes, para comprender los procesos de la estructura interna de relaciones.
2. Al basar el análisis en las interrelaciones reconoce la interdependencia entre los individuos y sus implicaciones para la integración. El abordaje de las interdependencias permite analizar todos los flujos de relaciones sin que se den sesgos por algún tipo de interacción.
3. Permite la construcción de los sistemas de interacción es de diferentes niveles que incluyen los sistemas micro y los macro sistemas, entendiendo la sociedad como una red de redes, desde la cual analiza los distintos niveles de integración en una misma sociedad superando los límites de la relación dicotómica entre las partes y el todo.
4. Además de los aspectos relacionados con la interrelación entre individuos, el análisis de redes se encarga del estudio del contenido de tales relaciones.
5. La comprensión del contenido relacional le permite al análisis de redes reconocer las diferencias relacionadas con el acceso a recursos, así como las variaciones en el nivel de poder entre actores de una unidad.
6. El reconocimiento de dichas asimetrías sensibiliza a los investigadores al respecto de las dinámicas existentes en las redes.
7. El análisis de redes supera barreras conceptuales e institucionales en materia del abordaje de fenómenos complejos, yendo más allá de la formulación de análisis discretos fragmentarios.
8. Producto de su interés y capacidad de explicación de la relación, la interdependencia y la interacción, el análisis de redes puede estudiar otras formas de organización que emergen de la interacción como las relaciones de coaliciones entre líderes y seguidores, es decir, permite y reconoce que existen formas emergentes de relación que permean diversos acontecimientos vitales importantes.
9. El análisis de redes introduce a los agentes como protagonista de los procesos de interacción superando la noción de roles o papeles como categorías de análisis sociológico.
10. Así mismo, reconoce la importancia de las acciones y decisiones de los individuos en la forma de funcionamiento y futuro del desempeño de la red.

2.7. Terminología del Análisis de Redes

El estudio de redes sociales comprende de métodos que permiten la medición y evaluación de los fenómenos de la red facilitando el análisis y la comprensión de la misma, como la construcción de un acervo conceptual completo que da cuenta de la diversidad de fenómenos presentes en la relación de los actores en una red (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012). El análisis de redes ha desarrollado su propio sistema de expresión, a partir de la cual se relacionan una serie de conceptos básicos, por lo cual, se considera necesario tener claro cuáles son dichos conceptos básicos y el uso preciso de los mismos, de tal forma que, con ello, se aporte a la consolidación del método (Herrero, 2000). Para lo cual se definen los principales conceptos:

2.7.1. La red.

Existen varias definiciones de red pero, más allá de las particularidades de cada una, todas comparten una serie de componentes que ayudan a definirla. Una red es una estructura compuesta por un conjunto finito de nodos o individuos configurada entorno a una serie de relaciones entre ellos, que se puede representar con símbolos conocidos como gráficos, grafos o sociogramas, también empleando matrices o cuadros de doble entrada, siendo esta última la forma que permite realizar fácilmente un análisis de las características formales de la red (Wasserman y Galaskiewicz, 1994).

Las redes configuran contextos de comunicación e intercambio entre sus miembros, configuran pautas operativas, normas y valores que condicionan la conducta de sus integrantes, y posiciones funcionalmente diferenciables que son clave para entender el comportamiento de los nodos dentro de cada red y el desempeño de la red en su conjunto. Los patrones de comportamiento e interacción dentro de las redes guardan una estrecha relación con el sistema de relaciones que las configuran y con las posiciones en su interior. Para que una red sea analíticamente relevante, esta debe configurarse en torno a relaciones regulares que efectivamente logren influir en el comportamiento de los individuos, generando patrones específicos de conducta acorde con pautas propias. Estas relaciones deben tener algún efecto evidenciable sobre los actores o ser teóricamente fundamentada, puesto que si bien cualquier tipo de vinculación entre individuos puede ser definido en términos de redes, ello no significa que estos tengan valor significativo para las ciencias sociales (Aguirre, 2011). El propósito de estudiar las redes desde el análisis de redes consiste en dar cuenta de cómo las relaciones configuran una particular estructura que constriñe el comportamiento de los individuos, quienes referencian sus estrategias de acción al funcionamiento de la red y al lugar que

ocupan en ella. Asimismo, esta perspectiva permite identificar los distintos tipos de individuos, sus roles y posiciones en la red, de acuerdo a sus elementos.

2.7.1.1. Elementos de la red.

La siguiente figura muestra los principales elementos: los nodos, la relación entre nodos y el límite de la red.

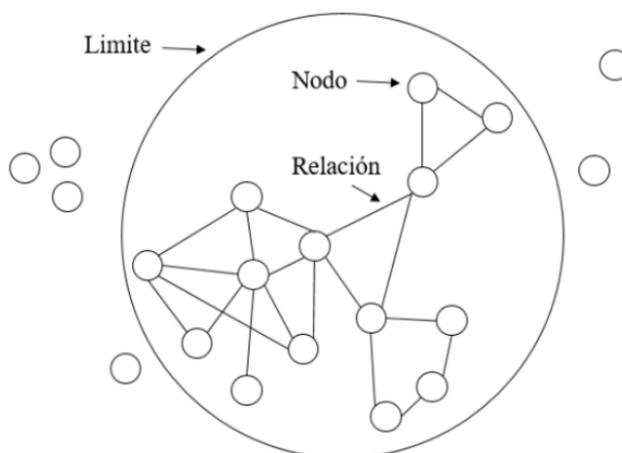


Figura 3. Elementos de una red

2.7.1.1.1. Límites de la red.

Son el criterio que determina la pertenencia o membresía de los actores a la red y denota el cierre de esa red. Debe guardar una estrecha relación lógica con la relación que constituye esa red, ya que es el tipo de relación el que determina qué actores participan de ella (Requena, 1989). Existen dos estrategias analíticas básicas para demarcar límites de una red, una de ellas es la realista, que asume el punto de vista o criterio de los individuos involucrados, y la nominalista, que parte de los conceptos y propósitos del analista y donde la especificación del límite se fija de acuerdo con el marco de referencia del observador y no de los participantes (Emirbayer, 1997).

2.7.1.1.2. Los nodos de una red.

Son los puntos, individuos o agentes de la red, corresponde a los integrantes o miembros que la constituyen, son representados a través de nodos en el grafo y puede ser un individuo, un grupo, una organización, una nación o cualquier otro tipo de entidad susceptible de ser considerada un elemento (Ramos-Vidal, 2015). En una red pueden participar en forma de individuos interdependientes, individuos sociales, individuos mercantiles (empresas) y el Estado (Flores, 2014). También bajo un mismo grafo puede vincularse distintos tipos de individuos, logrando dar cuenta, por ejemplo, de las relaciones entre individuos e instituciones.

- Atributo de los nodos. Son las características de los actores, donde un actor puede tener uno o múltiples atributos, los cuales también pueden estar dados por los tipos de relaciones, vínculos, que presenta y que son representados a través de sus lazos, relación identificada por Hawe et al. (2004).
- Tipo de nodos. De acuerdo a Polanco (2006), otro elemento puede ser utilizado para el análisis del grafo orientado que representa una determinada red:
 - Aislado: si no se vincula con otros nodos
 - Transmisor: si el vínculo solo se dirige hacia otros nodos
 - Receptor: si los vínculos solo se dirigen hacia el nodo
 - Portador: si el vínculo solo se dirige hacia otros nodos y otros nodos se dirigen a el

Un rol relevante en la red, es el que realiza el nodo mediador encargado de vincular a los individuos de la red o intercambiar beneficios, son expertos manipuladores de información y de personas, gozan del poder posicional que acompaña a su función mediadora y canalizan recursos desde un nodo a otro, suelen controlar los recursos materiales y simbólicos de la red (Auyero, 2003). Es relevante en un contexto determinado, analizar cómo el mediador construye y modifica sus relaciones hacia abajo y hacia arriba dentro de la red, y cómo desarrolla sus estrategias en relación al lugar que ocupa en esas relaciones, cómo se adapta a los cambios y en qué medida estas relaciones influyen sobre sus opciones y preferencias. A su vez, es posible ver cómo la evolución de estas relaciones aumenta o disminuye su poder dentro de ese mismo sistema, en qué medida sus acciones son exitosas en el tiempo, qué tipo y cantidad de recursos canaliza, etcétera.

2.7.1.1.3. Relaciones dentro de una red.

Se hace referencia a la existencia de algún tipo de vínculo o enlace representado por aristas entre los nodos. Las que han recibido diversos nombres como ties, links o bonds, que a su vez se pueden establecer entre diversos tipos de nodos, representan una multiplicidad de vínculos que existen entre dos o más nodos y, se representan por líneas. Cuando existe una mayor cantidad de vínculos se denomina que la red es más densa (Palacio y Madariaga, 2006). Existen distintos tipos de relaciones entre las que se pueden citar están (Palacio y Madariaga, 2006):

- Ponderada o valorada: Relación calificada con un valor ordinal o de rango, se opone a la relación binaria y permite gradaciones. Pude verse en la figura estos casos

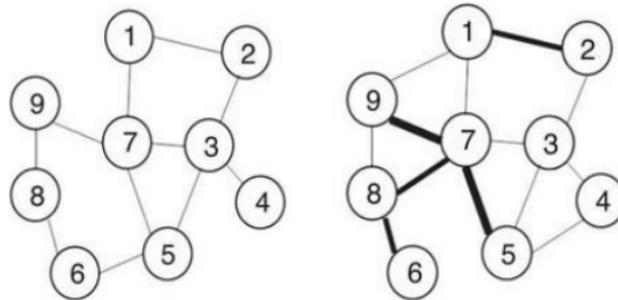


Figura 4. Grafo de red No ponderada y Ponderada

- Dirigida u orientada: Relación que parte de un nodo hacia otro y se presenta con una flecha apuntado al nodo receptor.

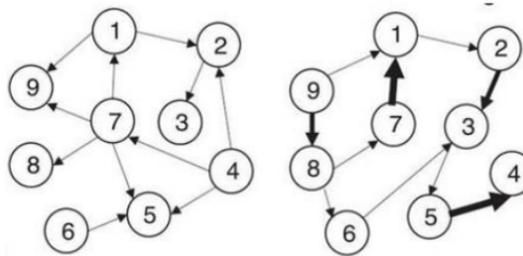


Figura 5. Grafo de red Orientada o ponderada y Orientada Ponderada

- Recíproca: Relación que representan concurrencia, presencia o reciprocidad entre el par de actores, idéntica para cada uno de los dos nodos. Suele representarse con segmentos de recta o una línea sin flechas.
- Múltiple o multiplexada: Relación resultante de la combinación de otras relaciones. Puede ser orientada o recíproca, y suele ser ponderada.

Las relaciones son capaces de expresar aspectos positivos y negativos de la relación y que puedan medirse, Arriagada (Arriagada et al., 2004) indican que estas, además, pueden tener un carácter positivo, como las relaciones de cooperación o solidaridad, o negativo, como las relaciones de corrupción o clientelares. Wasserman y Faust (Wasserman y Faust, 2013), señalan que estas relaciones también pueden ser representadas en un grafo con signos con el fin de ser analizado

usando las ideas del equilibrio, ya que tanto los lazos positivos como los negativos deben ser posibles en una relación. Se pueden tratar por separado y suponer que miden dos relaciones distintas pero asociadas, donde el aspecto negativo en una relación es el antónimo u opuesto del positivo, y no sencillamente su ausencia, en la figura 6 se ilustra esto:

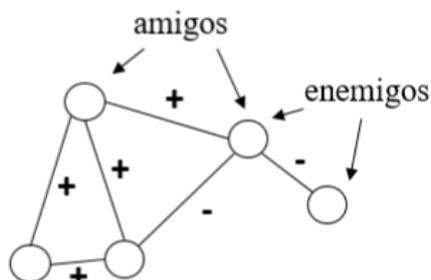


Figura 6. Lazos positivos y negativos

Cada relación ofrece un contexto relacional distinto con independencia de que la red esté formada por los mismos actores. Por lo que resulta interesante evaluar distintos tipos de vínculos, para adquirir una visión global del conjunto de conexiones que modelan la red (Ramos-Vidal, 2015). Además las relaciones con otros actores en diferentes contextos, también son utilizadas para encontrar información o servicios, dependiendo del contexto y la especificación necesaria.

Asimismo, estas relaciones también difieren respecto a su fuerza, y una de sus medidas puede ser determinada por la frecuencia de las interacciones entre los actores involucrados (Kuz et al. 2016). Estas relaciones son expresadas por:

- Las funciones de las relaciones propuestas por Sluzki (Sluzki, 1996) definen diversas características ligadas a la expresión e intercambio que se presenta en una red, distinguiéndose propiedades como la compañía, el apoyo, la guía cognitiva, la regulación o el control, la ayuda material y de servicios, así como la posibilidad de acceder a contactos nuevos, donde las interacciones y el sistema de agrupaciones construidas entre los actores (Chadi, 2000). La importancia de estas características o funcionalidad radica, en que permiten el apoyo y cooperación basados en el intercambio como un mecanismo para la adaptación y el afrontamiento de las dificultades, las características o situaciones desfavorables que enfrentan los actores con productos e instrumental otorgados para el mantenimiento del equilibrio de los actores, grupos y de la estructura de la red en general, a la vez que genera un aumento de la confianza y el desarrollo de reciprocidad entre los

elementos que la conforman. De esta manera las redes pueden convertirse de en un sistema de apoyo en el que los actores encuentran una gama de cualidades y especificidades dictadas por la regulación del intercambio y apoyo directamente vinculados con las relaciones (Abello y Madariaga, 1999).

- El Contenido y las cualidades de las relaciones, implican procesos de interacción que tienen que ver con los contenidos y fuerza de las relaciones, dimensiones que acompañan a la estructura reticular y cuyo conocimiento resulta fundamental para comprender la conducta de los actores. En cuanto al contenido de la relación, se refiere al tipo de flujo que vincula a los actores, y que entre otros depende de las teorías del investigador y los objetivos del análisis (Garrido, 2014). Al igual que la forma de la red, no depende de la opinión de los actores investigados, sino de las dimensiones que fija el propio investigador como indicadores del contenido de la vinculación. Tal determinación da lugar, en ocasiones, a la superposición de redes definidas por diferentes contenidos, donde sus vínculos suelen ser flujos de información, de influencia, de bienes, o recursos (Knoke y Kuklinski, 1982). Junto al contenido se encuentran las cualidades de la relación, que adquieren un valor explicativo básico en el estudio de redes. Entre estas cualidades cabe destacar la direccionalidad, la fuerza y los medios de la relación. Respecto a la direccionalidad existe un número importante de redes donde las relaciones no son de tipo recíproco o, al menos, no son simétricas, donde la direccionalidad de estas relaciones instrumentales, de autoridad o poder y algunas de comunicación, cumplen un papel clave en el análisis de la influencia de unos actores sobre otros (Garrido, 2014).

Adicionalmente a lo anterior, una relación puede ser: fuerte o débil; directa o intensa; o frecuente e inexistente (Arriagada et al. 2004). La fuerza de una relación viene dada por la multiplicidad de contenidos, o bien por la combinación de la cantidad de tiempo dedicado, la intensidad, la intimidad y los servicios recíprocos que caracterizan a la relación (Granovetter, 1973). Las relaciones débiles, en cambio, son aquellas cuya vinculación entre los actores es poco más que la de simple conocimiento. Por lo general, las relaciones fuertes están asociadas con simetría y homogeneidad y las relaciones débiles con asimetría y heterogeneidad (Garrido, 2014).

Aguirre (Aguirre, 2011), plantea que las relaciones pueden categorizarse en dos formas centrales:

- La direccionalidad de la relación, donde se encuentra dos tipos de relaciones: la transitiva, cuando la relación es recíproca (la relación de A con B es la misma que entre B y A) y; la

directa, cuando existe un individuo activo y uno pasivo (que A tenga relación con B no implica que B tenga esa misma relación con A).

- La densidad de la relación, es decir cuando la relación puede ser cuantificada y es posible estudiar las cantidades que fluyen en la red entre nodos.

2.7.1.1.4. Tipo de lazos en la red.

Corresponde a los flujos, líneas o pasos entre dos nodos, los que pueden ser débiles o fuertes como muestra la figura 7, según lo describió Granovetter (2003). Otro concepto asociado es el camino (path), el cual consiste en una secuencia de nodos y relaciones en la cual cada nodo solo puede ser usado una vez (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012).

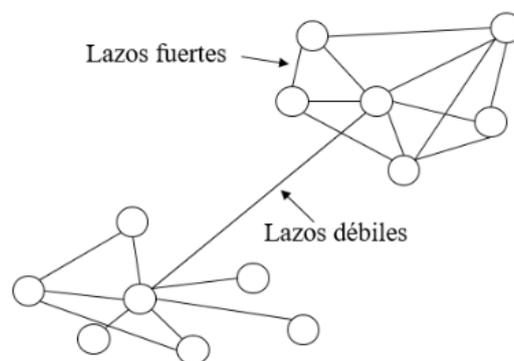


Figura 7. Lazos fuertes y débiles

La determinación de la fortaleza o debilidad de los lazos o vínculos está sujeta a una gran relatividad, dependiendo del contexto. Sin embargo, es posible establecer algunas generalidades, por ejemplo, se puede señalar que los vínculos familiares son fuertes, ya que permanecen en el tiempo, y aun cuando las personas puedan tener malas relaciones, la referencia es a la intensidad (Arriagada et al. 2004). Los vínculos fuertes indican relaciones sociales y solidarias con actores cercanos, son importantes para: transmitir información; coordinar y realizar acciones conjuntas; y conectar a diferentes nodos. Los que además están más asociados al control y la jerarquía (Granovetter, 1973). Los lazos débiles son vínculos superficiales, con actores fuera del círculo íntimo, con los que logra romper la lógica de grupo ya que puede vincularse, potencialmente, con actores lejanos, abriendo así nuevas posibilidades de vinculación. Son importante en términos de la estructura general de la red porque forman los puentes cruciales que unen a grupos de actores.

Si bien no todos los lazos débiles son puentes, todos los puentes son vínculos fuertes, y aunque los lazos débiles les brindan a los actores acceso a información y recursos más allá de los disponibles en

sus grupos o círculos, tienen mayor motivación para ser fuertes. La fuerza de los vínculos puede ser medidos en función de la cantidad de tiempo, la intensidad, y los servicios recíprocos que caracterizan el vínculo. Al poner esa perspectiva en el campo de las organizaciones, la fuerza entre dos nodos también podría evaluarse de manera similar, considerando: la cantidad de tiempo que dos nodos pasan interactuando; la intensidad de la relación en función de la cantidad de recursos que ambos intercambian; el grado de apertura y accesibilidad a los conocimientos de cada nodo; y los servicios o productos que se proporcionan y la relevancia de dichos servicios o productos en sus modelos de relación o cadena de valor. Cuyas dimensiones pueden ser independientes entre sí y, al mismo tiempo, estar altamente relacionadas, lo que podría determinar el tipo de relación entre dos nodos y poder clasificarse como fuerte, débil o ausente.

La mayoría de los actores o grupos, tienden a tener un número limitado de lazos o al menos un número limitado de lazos débiles. Esto probablemente se deba a que los actores tienen recursos limitados, energía, tiempo y capacidad cognitiva y no pueden mantener un gran número de estos lazos. También es cierto que las estructuras pueden desarrollar un grado considerable de orden y solidaridad con relativamente pocas conexiones (Hanneman, 2000).

2.8. Matrices, Grafos y la Sociometría en el Análisis de Redes

Estos conceptos juegan un papel importante en la fundamentación matemática del análisis de redes del estudio, puesto que las matrices y los grafos, constituyen una herramienta básica para modelar fenómenos y son fundamentales para la comprensión de las estructuras y el funcionamiento de las redes.

2.8.1. Las matrices.

Son un conjunto de elementos o números ordenados en filas y columnas. Las filas y en las columnas se consignan los actores, donde las filas representa el origen y las columnas el destino, y en el cuerpo del cuadro los datos relacionales que conectan a estos actores, donde cada uno de estos tipos puede ser a su vez binarios, es decir, los ceros representan la ausencia de relación y unos la presencia, o bien pueden ser valorados, es decir a través de un número se le asigna intensidad a la relación (Martínez y Sanabria, 2008).

Para designar una matriz se emplean letras mayúsculas. Cada uno de los elementos de la matriz (a_{ij}) tiene dos subíndices. El primero i indica la fila a la que pertenece y el segundo j la columna. Donde

una matriz de m filas y n columnas, es decir, de dimensión m x n, también se puede representar de la forma siguiente:

$$A = (a_{ij})_{m \times n}$$

Se la representa:

$$A = (a_{11} \ a_{12} \ \dots \ \dots \ \dots \ a_{1n} \ a_{21} \ a_{22} \ \dots \ a_{2n} \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ a_{m1} \ a_{m2} \ \dots \ \dots \ \dots \ a_{mn})_{m \times n}$$

Si el número de filas y de columnas es igual ($m = n$), entonces la matriz es de orden n. Ahora dos matrices son iguales cuando tienen la misma dimensión y los elementos que ocupan la misma posición en ambas son iguales.

2.8.1.2. Tipo de matrices.

Operativamente, el análisis de redes hace uso de matrices que permiten tabular los datos recogidos en la fase previa y, relacionar los diferentes actores a partir de los mismos. De acuerdo a Fernández (Fernández, 2008), se puede distinguir diferentes tipos de matrices:

- En función del origen de sus datos, la matriz puede ser de:
 - Afiliación: Con una serie de actores en las filas y una serie de eventos en las columnas.
 - Incidencia: Matriz binaria resultante de transformar una matriz de individuos, con los individuos en las filas y las relaciones en las columnas, señalando la presencia o ausencia de una relación para cada individuo.
- En función de su forma, la matriz puede ser de:
 - Adyacente, cuadrada o simétrica: Cuando existe el mismo número de individuos en las filas y en las columnas, y se utiliza para representar un grafo, de forma que sus filas y columnas representan ordenadamente los vértices del grafo.
 - Rectangular o asimétrica: Cuando no existe el mismo número de individuos en las filas y en las columnas.
- En función de su ponderación, la matriz puede ser de:
 - Binaria: Si únicamente se indica la existencia o no de una relación, entre los individuos de las filas y las columnas, de manera que el número uno indica presencia de relación y el cero señala la ausencia de la misma.
 - Ponderada: No solo refleja la existencia o no de una relación, sino que además se cuantifica o pondera según una escala de valores.

Basándose en los datos de los individuos es posible elaborar una matriz de atributos donde representar sus características. El tamaño, la antigüedad, el tipo de servicio que presta, la localización, el presupuesto son atributos relevantes para representarlos en una red (Feinberg et al., 2005). Puesto que identificar los atributos es necesario para comprender la dinámica interna de la red, para posteriormente representar los datos en grafos finitos a partir de estas matrices (Ramos-Vidal, 2015).

2.8.2. Los grafos.

El origen de la palabra es griego y su significado etimológico es trazar. Aparece con frecuencia como respuesta a diversos problemas, donde se requiera representar gráficamente el problema dibujando un grafo como un conjunto de puntos, vértices o nodo, con líneas conectándolos, aristas o arcos. Un grafo es básicamente un objeto geométrico, o un objeto combinatorio, es decir, un conjunto de puntos y líneas, donde dichas líneas une cada par de vértices. Por otro lado, y debido a su generalidad y a la gran diversidad de formas que pueden usarse, resulta complejo tratar con todas las ideas relacionadas con un grafo.

Para facilitar el estudio de grafos, se realiza una síntesis desde el punto de vista del análisis de redes, considerando que dicha teoría es compleja y amplia, por lo que se realiza una introducción a la misma, describiéndose el grafo como un tipo de dato y mostrándose los problemas típicos y los algoritmos que permiten solucionarlos usando un ordenador. Un grafo $G = (V, A)$ se define por:

- Un conjunto de n vértices o nodos, V , a los cuales se hace referencia por sus índices desde $1...n$.
- Un conjunto de m aristas o arcos, A , que conectan vértices entre sí.
- Una arista es un par de vértices, indicados de la forma (i, j) . Si $(i, j) \in A$ significa que el vértice i está conectado con el vértice j .
- No existen aristas de la forma (i, i) , que conecten un vértice consigo mismo.

Un subgrafo de G es cualquier grafo $G' = (V, A')$ donde A' sea un subconjunto de A . Los grafos o subgrafos son estructuras de datos no lineales que tienen una naturaleza generalmente dinámica.

2.8.2.1. Origen de la teoría de grafos.

De acuerdo a Reynoso (Reynoso, 2008), la teoría de grafos en matemáticas fue creada en el año 1736 por Leonhard Euler famoso matemático y físico de origen suizo, cuando explica matemáticamente la imposibilidad de resolver el acertijo de los puentes de Königsberg en la ciudad

de Kalingrado (hoy Kaliningrado de Rusia), que consistía en trazar un camino a través del cual cruzar los siete puentes sin pasar dos veces por el mismo. Para ello, dibujó un grafo donde cada área de tierra separada por el río representaba un nodo y los puentes que las conectaban representaban las aristas, vínculos o lazos que unían esos nodos. Lo que logró probar es que nodos con un número impar de vínculos deben ser o el comienzo o el final del camino, ya que la existencia de los caminos son una propiedad del grafo y no de sus unidades. De allí se desprende que los grafos o redes tienen propiedades ocultas en su construcción, que limitan o aumentan la habilidad de realizar cosas con ellos.

Las propiedades de determinadas estructuras de relaciones pueden resultar congénitas a la naturaleza estructural del problema, es por ello que el mapeo de la estructura misma de un sistema de relaciones, permitirá obtener algunas conclusiones generales sobre la base de la morfología del grafo y así verificar propiedades del sistema, indistintamente de las particularidades de sus componentes (Aguirre, 2011).

2.8.2.2. Teoría de los grafos esencial en el análisis de redes.

En primer lugar proporciona un lenguaje formal que facilita estudiar la red y su estructura (Herrero, 2000). Cuando un grafo representa una red, los puntos representan a los diferentes nodos, los cuales son los miembros de la red diferenciados entre sí, como personas, organizaciones, usuarios de un servicio de salud, miembros de una comunidad, etcétera. Los nodos o actores (alter) son los vértices relacionados con un ego que es el actor central en la red, el cual, por su parte, es el nodo focal a partir del cual se construye una red (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012).

La representación de la información correspondiente a los patrones de relaciones entre actores, se realiza generalmente mediante el uso de grafos, el cual representan un conjunto de objetos en el que los pares de objetos están conectados mediante relaciones establecidas entre ellos las cuales pueden ser expresadas matemáticamente (Wasserman y Faust, 1997). La teoría de grafos ha brindado las bases para el desarrollo de una gran cantidad de herramientas y software de análisis de redes (Kuz et al. 2016), además, dio paso al estudio de los grafos en matemáticas y la ciencia del procesamiento de datos, que después del primer escrito de Leonhard Euler en 1736, surgieron los estudios de Kenneth Appel y Wolfgang Haken considerados los verdaderos padres de la teoría de grafos o teoría de las gráficas (Diestel, 2000).

La relevancia de la teoría de grafos, procede principalmente de su funcionalidad como instrumento matemático, que resulta adecuado para el análisis de las estructuras reticulares, lo cual requiere

convertir las líneas de un grafo en relaciones de cualquier tipo y los puntos en entidades (Garrido, 2014). La eficacia de los grafos se basa en su gran poderío de abstracción y la clara representación de cualquier relación, lo que facilita en gran medida, tanto la fase de modelado como de resolución del problema. Y gracias a la teoría de grafos, se han desarrollado una gran variedad de algoritmos y métodos en el ámbito de las redes de resolución eficaces, que permiten tomar una mejor decisión. No se debe confundir el grafo con el sistema real al que está asociado o representa. Puesto que el grafo es una estructura que se admite adecuada en lo concerniente a las propiedades que interesa analizar, donde luego se aplicaran las deducciones y reglas matemáticas para obtener datos y poder decidir. Los grafos como forma de representación, tomada de los matemáticos, fue rebautizada por los sociólogos como sociogramas.

3.- Sistemas de análisis y métricas utilizadas por las técnicas basadas en grafos que modelizan estructuras organizacionales

Una revisión de los fundamentos utilizados en los métodos de análisis y métricas para modelos de estructuras organizacionales basados en grafos, requiere revisar las propiedades de los grafos sobre las que se basan las distintas técnicas que se utilizan. Definidas las propiedades, detallar las bases de los métodos de análisis y medición; para por último describir las técnicas y métodos de análisis y medición más frecuentemente utilizados.

3.1.- Introducción

En 1930 Jacob Levy Moreno (Levy Moreno, 1930) inicia lo que sería la sociometría, que buscó indagar la evolución y organización de grupos de personas y la posición de los distintos individuos en dichos grupos, valiéndose de técnicas cuantitativas, como las matrices y los diagramas, para representar dichas relaciones. Aguirre (Aguirre, 2011) planteó como supuesto teórico que el comportamiento de los individuos se podría explicar mediante las interrelaciones y los métodos que se utilizan, esto implica relacionar grafos matemáticos con problemas sociales para graficar y medir las relaciones, así se constituyó en el principal antecedente del análisis de grafos. Este sistema de interrelaciones personales conforma patrones de organización no evidentes y solo surgen por inferencias a partir del análisis topológico de los grafos. Hay que buscar información para construir modelos que difieren de los modelos estadísticos convencionales, indagando las vinculaciones de los miembros de estos grupos.

Si bien las técnicas de recolección de datos pueden ser convencionales, la información que se busca para este estudio debe permitir realizar inferencias sobre las relaciones entre los individuos orientándose a indagar sobre las relaciones de carácter múltiple y diverso para determinar el principio o causa del comportamiento del grupo indistintamente del tipo de relación (parentesco, amistad, laboral, etcétera). El grafo obtenido representa el segundo nivel para el análisis en forma de grafos o redes organizacionales. En él se representan las relaciones entre los individuos que la investigación determinó previamente en forma matemática en una matriz de datos.

Según Fernández (Fernández, 2008), esta teoría es la que proporciona el soporte para la elaboración y aplicación de estos grafos, donde se consideran estos elementos fundamentales:

- Arcos: Su existencia o no entre dos nodos, supone la presencia o ausencia de relación entre ellos y pueden considerarse:
 - adyacentes: poseen una relación entre ellos sin mediaciones
 - desconectados: carecen de esta relación.
- Direccionalidad: la línea tiene un sentido desde un individuo a otro, pudiendo ser de diversos tipos:
 - Direccional: la línea indica con una flecha el sentido de la relación (grafo direccional o dirigido), pudiendo ser:
 - * unidireccional
 - * bidireccionalidad
 - No-direccional: solo conecta dos individuos entre sí.
- Valor: Se puede adicionar más información cuando las relaciones son ponderadas mediante un número, pudiendo ser según este criterio:
 - Valorada: el número refleja alguna propiedad de la relación
 - No-valorada: solamente establece una relación.

Dentro de los grafos más usados, los grafos son construcciones integradoras que describen grupos de individuos y al estudiarlas se puede comprender su comportamiento a través de métricas o indicadores, para caracterizar a los individuos que la componen y medir las relaciones que se dan entre ellos. Usando instrumentos computacionales ha cambiado la forma de lograr un mejor conocimiento y análisis de estos grafos, ya que permiten utilizar muchos datos de diferentes fuentes, para calcular métricas en forma simple, ordenada y generar grafos para lograr una mejor comprensión de las conclusiones del análisis realizado (Newman, 2010). Así mejora y se agiliza la interpretación y discusión de resultados (Kuz et al. 2016). La tabla 4 muestra las propiedades de un modelo basado en grafos que son susceptibles de ser utilizadas como base de los métodos de análisis y de obtención de métricas.

Tabla 4. Propiedades que caracterizan a un modelo basado en grafos

Existencia de Arcos	adyacentes		Establecen relaciones entre nodos
	desconectados		Nodos no vinculados
Direccionalidad de los arcos	Direccional	unidireccional	La relación es en un solo sentido
		bidireccional	La relación es en ambos sentidos
	No-direccional		La relación solo vincula nodos
Valor	Valorada		Expresa una valoración de la relación
	No-valorada		La relación no tiene valoración

Para la evaluación de estos grafos existen distintos criterios, pero siguiendo la propuesta de Madariaga y Ávila-Toscano (Ávila-Toscano, 2012) se puede distinguir cuatro mecanismos de valoración para grafos: la definición de las propiedades generales; el método de visualización (es un recurso analítico para visualizar las dinámicas); el análisis de las características posicionales de los nodos y; la identificación de agrupaciones del grafo. Sobre la base de estas categorías podemos hacer una revisión más profunda.

3.2.- Clasificación de los métodos de análisis de estructuras organizacionales mediante grafos

Tomando como punto de partida las conclusiones de Ávila-Toscano sobre la existencia de cuatro categorías metodológicas para el análisis de grafos

3.2.1.- Evaluación de Grafos centrada en las propiedades generales

Para evaluar las propiedades de un grafo se requiere tipificarla, y siguiendo los lineamientos propuestos por Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012), hay cuatro modelos de grafos distinguibles en una primera aproximación: las regulares; la de mundo pequeño; las aleatorias; y las libres de escala.

3.2.1.1.- Grafos regulares

Se definen así a los grafos donde cada nodo tiene exactamente el mismo número de enlaces, estos grafos generalmente están muy ordenados. En este cada nodo se conecta a todos sus nodos más cercanos, por lo tanto todos los nodos tienen igual número de arcos en todos sus vértices. Como todos los vértices tienen el mismo grado que es constante, el grafo regular puede caracterizarse por su grado como muestra la figura 1.

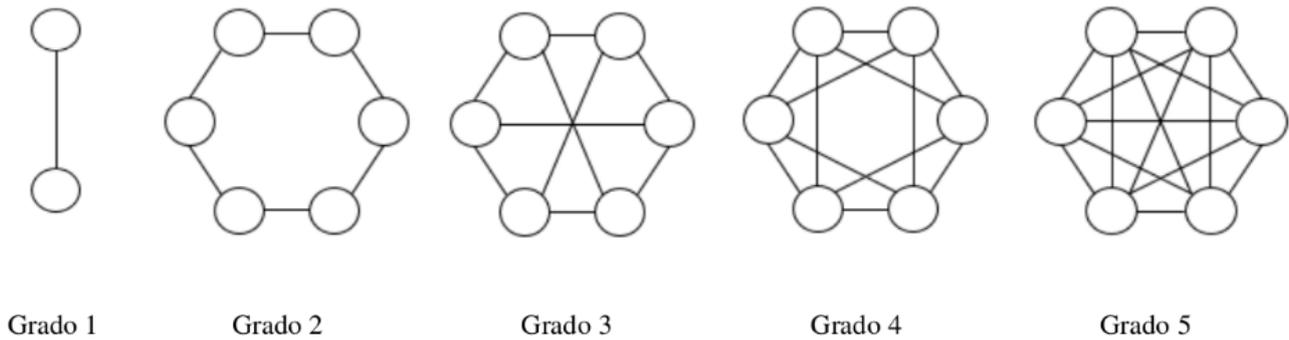


Figura 8. Grafos de distintos grados

Mediante la utilización de estos grafos se caracterizan enjambres, escuelas, rebaños y bandadas donde el comportamiento de cada individuo depende del comportamiento de los nodos más cercanos. No todos los grafos regulares, tienen una alta conectividad debido a que grafos de estructuras complejas requieren un trayecto muy largo para recorrer todos sus nodos.

3.2.1.2. Grafos de mundo pequeño

Estos grafos tienen trayectorias cortas entre nodos exteriores (algunos autores la denominan de diámetro pequeño) y un gran nivel de agrupamiento (Mejías, 2010), también puede decirse que la trayectoria entre dos nodos cualquiera es pequeña respecto del tamaño del grafo (Monsalve, 2008). Stanley Milgram (Stanley Milgram, 1963), evaluó la distancia promedio entre nodos que constituirían grafos de contacto y formuló la teoría del mundo pequeño (OEA, 2013). Milgram psicólogo social de la Universidad de Harvard, señaló que en este tipo de grafos aplicados en grupo de amigos se podía llegar a establecer contacto con cualquier persona mediante unas pocas conexiones (Aguirre, 2011). Para ello realizó un experimento repartiendo una carta a personas seleccionadas al azar en las ciudades de Omaha y Wichita, tratando que fuera recibida por un corredor de Bolsa residente en Sharon (Massachusetts) y que trabajaba en Boston, pero las personas a las que enviaron las cartas no conocían al destinatario final. Los participantes solo podían enviar la carta a una persona conocida que creyeran que estaría más cerca del destinatario final, y estas a su vez deberían cumplir con el mismo requisito. Se enviaron 296 cartas, llegando solo 64 a destino con un promedio aproximado de 6 reenvíos, de modo que tomando estos datos la longitud promedio de la trayectoria entre nodos del grafo que formaban todos los habitantes de estas ciudades. Estos seis grados de separación como principio, fue popularizado por John Guare, un escritor que usó esa frase en una obra teatral de Broadway, dando origen a la idea de que las personas del mundo están más conectadas de lo que creen estarlo.

Como resultado, el estudio permitió establecer que la cantidad de conocidos de una persona crece exponencialmente a partir del número de enlaces de su red personal, y que solo se necesitaban como mínimo seis grados de separación para conectar a dos personas seleccionadas al azar (Aguirre, 2011). También se estableció por el experimento de Milgram que alrededor del 60% de las trayectorias pasaban a través de unas mismas 4 personas, lo que supondría que no todos están conectados con el resto, sino que unas pocas personas que están demasiado conectadas, siendo importantes conectores para las otras personas se conecten entre sí. Estos conectores, crean atajos que permiten que recursos e ideas pasen a través del grupo sin necesidad de seguir trayectorias largas, lo que hace al grafo potencialmente frágil, ya que desaparición de algunos desbarataría el grafo (Tercero, 2013). La importancia de este experimento es que permitió considerar que en una estructura de relaciones agrupada por rasgos de parentesco, laborales, profesionales, geográficos o de afinidad, se presentan relaciones que conforman grafos que se forman a partir de la concurrencia de relaciones estables identificadas como mundos pequeños. A partir de él se comenzó una gran cantidad de experimentos similares en busca de nuevas teorías.

En 1998 Duncan Watts y Steven Strogatz (1998) demostraron que estos grafos no se encuentran solamente en grupos de personas, sino también en redes de tendido eléctrico y en neuronas humanas. Solo hay que agregar pocas conexiones a los nodos unidos en forma regular a sus vecinos cercanos en un grafo, produciendo interconexiones entre los grupos, lo que aumenta la velocidad de la comunicación en él.

A pesar de las críticas a este modelo Perianes-Rodríguez, Olmeda-Gómez y Moya-Anegón (2008) señalan que los grafos de mundo pequeño se han verificado y aplicado en distintas disciplinas y a grafos reales, pudiendo convertirse estas en grafos de mundo pequeño. Watts (Watts, 1999) indicó que aún existen respuestas a todas las preguntas sobre su aplicación, ya que esta teoría ofrece representaciones simples de fenómenos complejos, pero es un adelanto significativo para explicar una sociedad emergente, ya que las redes de organizaciones, redes personales, redes de conocimiento o la misma red de Internet, son poderosas imágenes que se acercan a la realidad social contemporánea, la cual interesa explicar.

3.2.1.3. Grafos aleatorios.

Los matemáticos Erdős y Rényi formularon esta teoría para explicar cómo se generan redes de gran escala buscando ver grafos complejos a partir de un análisis simple. Diseñaron modelos estocásticos para generar relaciones entre nodos, asignándoles un carácter al azar a cada relación (Barabási, 2003).

Para exista un grafo de este tipo, al menos una conexión por nodo debería responder a una distribución normal o gaussiana de relaciones, la curva que la representa tiene forma de campana, donde el máximo corresponde a la media, la mediana y las otras relaciones se asignan aleatoriamente en secuencias de asignación. A partir de esta teoría se han hecho avances significativos para patrones, estructuras y evolución de los grafos aleatorios, pero no se lograron los mismos resultados al aplicarlos grafos en el mundo real donde las relaciones no son aleatorias, sino que se deben a patrones de conectividad no evidentes, con inferencias complejas y distribuciones de las relaciones entre los nodos que no son gaussianas. Su éxito radica en la utilidad para explicar la formación de todo el grafo y el contexto en que las condiciones existentes permiten que grupos aislado de nodos y pequeños grafos se conectan uno solo (Aguirre, 2011).

3.2.1.4. Grafos libres de escala

Según Mejía (Mejía, 2010), en estos grafos se identifica algún nodo con grado elevado, se conecta a otro nodo que también tiene un grado de valor elevado, así los enlaces del grafo se concentran en un pequeño número de nodos. Según Perianes-Rodríguez (Perianes-Rodríguez et al. 2008), en los grafos reales no se puede definir un patrón para determinar el grado de conexión de sus nodos, solo que este tipo de grafos implica una relevancia particular de una cantidad pequeña de nodos. Así, estos enlaces son más factible de existir en la realidad que con los grafos aleatorios, pues existen más nodos con pocos enlaces que muchos enlaces con nodos como sería el caso de un grafo aleatorio.

Para Micelis (Micelis, 2006), el grafo libre de escala se rige por leyes “power-law” en las cuales el máximo de su distribución no es el valor promedio e inician con un valor máximo que se continúa hacia infinito, algo que en casos reales se presenta en casos como la distribución del ingreso, fenómeno estrictamente económico, donde en un grupo de individuos aquellos que tienen riqueza se vuelven más ricos con mucha facilidad y los que tienen pobreza no pueden adquirir riqueza que probablemente se vuelvan más pobres. La figura 2 muestra un grafo de escala, su distribución y el número de enlaces nodales.

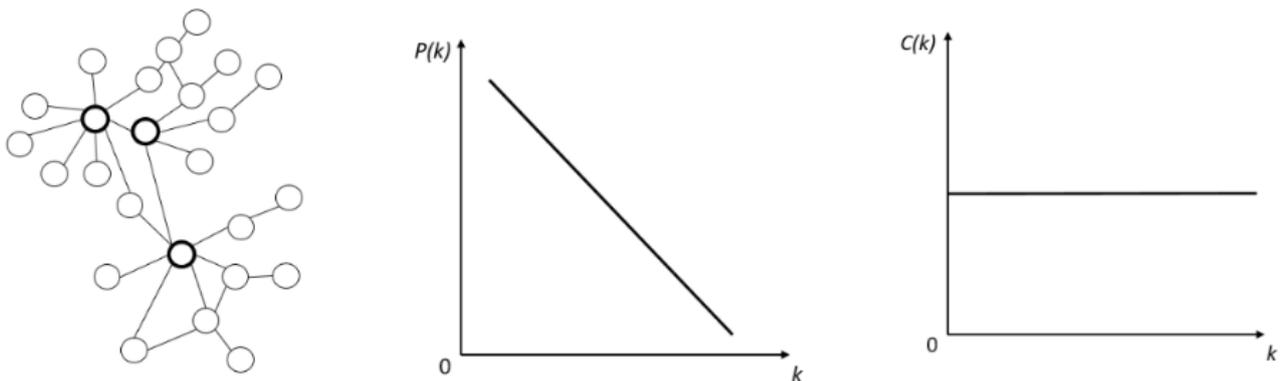


Figura 9. Grafo de escala

Torres (Torres, 2018) observa que en los grafos libre de escala, frecuentemente un nodo crece en enlaces de forma proporcional a su tamaño, sin que haya un parámetro de escala que indique, que al llegar a un cierto número de enlaces ya no se pueden ganar más enlaces o se deben agregar más lentamente. Si bien es posible obtener un promedio de los valores a obtener, este no sirve pues estos grafos tienen elementos con diferentes relaciones, sin que haya una escala característica.

Simon (Simon, 1957) señala que las curvas correspondientes a las distribuciones por ley de potencia presentan colas largas y hay una probabilidad pequeña de hallar nodos que sean muy grandes en comparación con la media de ellos. Por lo tanto, la distribución no es normal como habitualmente sucede y una distribución por ley de potencia no es simétrica en torno a su máximo, presentando una pendiente pronunciada y concluyendo en una larga cola.

Perianes-Rodríguez (Perianes-Rodríguez et al. 2008) plantea que este modelo demuestra avances frente a los grafos aleatorios y de mundos pequeños debido a que estas últimas presentan condiciones que no se cumplen en grafos reales. Inicialmente está el hecho que en los grafos aleatorios se parte de la idea que un gran número de los nodos se unen por azar, sin embargo, en el mundo real los grafos tienden a ser más abiertos y a crecer con el tiempo por la adición de nuevos miembros, y en segundo lugar, la idea del patrón aleatorio de relaciones implica uniformidad en las conexiones pero realmente los nodos de los grafos muestran preferencias al momento de seleccionar a los nodos con quienes interactuar. Reynoso (Reynoso, 2008) plantea para estos grafos, que dada su distribución, las técnicas estadísticas tradicionales son inadecuadas al presuponer distribuciones gaussianas, algo que las ciencias sociales han ignorado.

Los centros de actividad (también llamados “hubs”) en grafos libres de escala permiten su estabilidad estructural y su comportamiento dinámico permite ver su evolución al aplicarse a

principios organizacionales. Por ello, la autoorganización y el comportamiento emergente de los grafos deben entenderse por la distribución en leyes de potencia que permite orientar su desempeño.

Al dedicarse a los “hubs” se puede indagar más eficientemente la estructura del grafo, pues al abordar muchos y diversos nodos, se puede diseñar estrategias de muestreos basadas en la construcción de sociogramas que mapeen las relaciones de los hubs identificados, como por ejemplo a través de muestreo “snowball sampling” propuesto por Goodman (Goodman, 1960) que presenta los mejores resultados cuando no es posible censar a toda el grafo.

Aguirre (Aguirre, 2011), postula que la heterogeneidad está en las particularidades de cada actor sino en la posición que estos tienen dentro del grafo y cómo sus características se articulan con la lógica de conectividad existente. Así, los muestreos estadísticos convencionales no son apropiados si se busca abordar las particularidades posicionales de los nodos dentro de un grafo. También es posible que algunas investigaciones orientadas por el análisis de grafos, en las que las posiciones particulares de los nodos no sean importantes como el estudio de las transacciones o flujos en sí, los muestreos aleatorios puedan funcionar de forma eficiente, pero si el objetivo es indagar sobre la dinámica de los grafos y su efecto en la acción, opciones y preferencias de sus nodos, es preciso una mirada crítica sobre estos métodos y, en su lugar, examinar diseños de investigación novedosos que den cuenta de la distribución en leyes de potencia de las relaciones y el rol estratégico de los hubs.

En esta categoría se encuentran los grafos jerárquicos donde la que divide al grafo en niveles o capas con funciones específicas que permiten dividir el grafo en secciones de fácil crecimiento y mantenimiento. Se desarrolla de forma similar a la topología vertical o de árbol pero esta no conecta nodos, sino hubs y es llamada también topología en estrella extendida. La siguiente figura muestra un grafo jerárquico y su distribución de potencias.

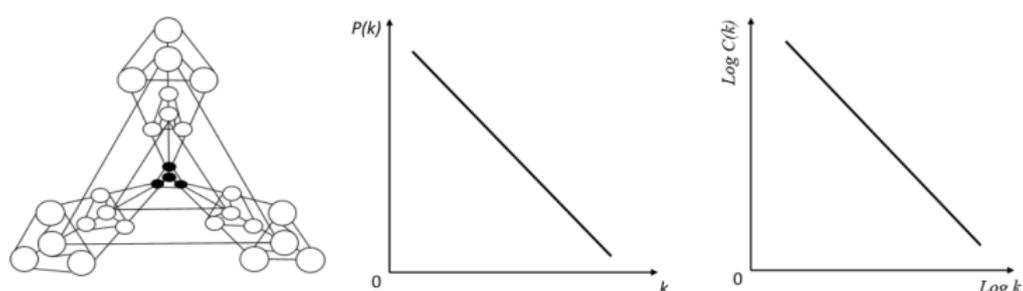


Figura 10. Grafo jerárquico y su distribución de potencias.

Molloy y Reed (Molloy y Reed, 1995) concluyeron que la estructura jerárquica puede explicar y reproducir en forma cuantitativa propiedades topológicas observadas en los grafos, también el conocimiento de la estructura jerárquica se puede usar para predecir conexiones faltantes con alta precisión y para estructuras de grafos generales que las técnicas de la competencia. Finalmente, la jerarquía es un principio organizador central de los grafos complejos, capaz de ofrecer información sobre diversos fenómenos estructurales de ellos (Clauset, Moore y Newman, 2008)

3.2.2.- Evaluación de grafos centrada en la visualización.

Según Rheingans y Landreth (Rheingans y Landreth, 1995) es la capacidad de generar comunicaciones visuales de cierto tipo de información con el propósito de presentar datos más fácilmente. Para ello se aplican de métodos basados en el cálculo matemático de información significativa de conjuntos complejos de datos, generando grafos o imágenes interactivas (Luján, Martig y Castro, 2008). En los últimos años hubo un avance significativo en el desarrollo de tecnologías para la visualización de información, permitiendo interactuar directamente con la información visualizada mediante interfaces dedicadas a este propósito (Medrano, Alonso y Figueroa, 2010). Esta es una técnica para explorar gráficamente las propiedades de la estructura de permitiendo también la formulación de explicaciones a las interacciones que se desarrollan en ellas (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012).

Siguiendo a Tufte (Tufte, 1997), la calidad de las visualizaciones de los grafos favorece la identificación de conocimientos de gran valor sobre dichas, generando incluso, propiedades explicativas. Brandes, Raab y Wagner (Brandes, Raab y Wagner, 2001), señalan que las visualizaciones son una herramienta que facilita la detección de propiedades esenciales de los grafos como: características de los nodos, los lazos vinculares, estructuras generales y resultados. De igual forma, se ha identificado que las visualizaciones de grafos cuentan con características explicativas especialmente de las posiciones estructurales de los nodos (Brandes, Kenis, Raab, 2005). Finalmente, esta herramienta ofrece aportes al estudio de grafos ya que posibilita al investigador la realización de filtrado de datos, identificación de patrones y poder explicar las observaciones realizadas en dichos grafos (Brandes et al. 2005).

3.2.3. Evaluación de grafos centrada en la posición de los nodos.

Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005) postularon que hay un gran valor en el cálculo de las medidas de centralidad y poder, dentro del análisis de grafos, las cuales se basan en identificar la

posición de los nodos que ofrecen ciertas características especiales dentro del grafo. Los nodos con mejores posiciones tienen mayor probabilidad de ejercer poder y ser centrales, dado que tienen un mayor nivel de importancia en el grafo. En las relaciones, el poder es una propiedad fundamental y se considera como una característica inherentemente relacional en la medida que el mismo es una consecuencia de los patrones de relaciones (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012).

En los grafos que se generan con un bajo nivel de interacción se observa una baja densidad relacional lo cual conduce a niveles de poder también reducidos, lo contrario que sucede en grafos más densos. Los nodos con mayor centralidad y poder gozan de mejores posiciones y cuentan con un número menor de restricciones para la integración con otros nodos (Hanneman y Riddle, 2005). Existe una serie de métricas para entender los grafos y la posición de sus nodos que ayudan a determinar la importancia y el rol de un nodo en el grafo. Las más usadas se dividen en métricas de centralidad y poder, y métricas de grupos (Kuz et al. 2016).

3.2.4.- Evaluación de grafos centrada en la identificación de subagrupaciones.

La centralización es una medida para identificar hasta donde un grafo es o no una figura centralizada, también existen medidas para identificar si un grafo está o no organizado en relación a sus puntos más centrales. Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005) y Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012) señalan que el análisis de grafos permite conocer la forma como los nodos que integran un grafo facilitando reconocer las interacciones locales entre nodos, pero un problema que todavía persiste en el análisis de grafos es descubrir las diversas clases y subgrupos con cierta entidad para poder dividir un grafo. Lo implica que dentro de un grafo es posible identificar subestructuras formadas por la unión de nodos cuya interacción se basa en la similitud de los lazos. Herrero (Herrero, 2000), observa que para formar y analizar subgrupos, hay que agrupar a los nodos en torno a alguna categoría significativa para los objetivos del análisis cuando se identifican las pautas de la formación de un grafo. En grafos simples, no se puede comprender la centralidad de los nodos, incluso hay diferentes interpretaciones del contexto de la centralidad (Borgatti y Everett 2006).

Algunos enfoques con los conceptos básicos de centralidad serían:

- Un primer enfoque es que la cantidad de contactos directos de un nodo es un indicador útil de centralidad. La ventaja de este enfoque es la interpretación de comunicabilidad de estos resultados es relativamente fácil.

- En un segundo enfoque, sigue la idea de que nodos con una corta distancia a otros nodos pueden compartir información de manera más efectiva y ocupan una posición central. Un ejemplo de este enfoque es la centralidad de cercanía, en la cual se considera que un actor está involucrado centralmente, si necesita de pocos intermediarios para contactar a otros y por lo tanto es estructuralmente independiente. Como consecuencia, en este cálculo se incluye la longitud de las rutas más cortas a todos los demás nodos en el grafo.
- El tercer enfoque vincula a la centralidad con el control del flujo de información que un nodo puede ejercer en función de su posición. Se supone que la comunicación e interacción entre dos nodos no directamente relacionados depende de los nodos que intervienen. Como ejemplo surge la centralidad de intermediación, basada en el cociente del número de caminos más cortos entre los nodos del grafo que incluyen el nodo y el número de caminos más cortos en el grafo.

Estos conceptos prestan poca atención a los contactos indirectos y es donde entran las llamadas medidas de influencia, que consideran que los nodos están centralmente involucrados en el grafo, si los nodos conectados directamente están en relación con un alto número de otros nodos bien conectados. Una de estas medidas corresponde a la centralidad del vector propio (Bonacich 1972). Finalmente, para el cálculo matemático de cada medida de centralidad se han desarrollado diferentes algoritmos que pueden variar significativamente en términos de complejidad (Landherr, Friedl y Heidemann, 2010).

Un resumen de los métodos se describe en la Tabla 5

Tabla 5. Métodos de análisis de estructuras organizacionales mediante grafos

Centrada en las propiedades generales	Grafos regulares	Todos los nodos tienen exactamente el mismo número de enlaces
	Grafos de mundo pequeño	Los nodos tienen trayectorias cortas entre nodos exteriores y un gran nivel de agrupamiento
	Grafos aleatorios.	Existe al menos una conexión que responde a una distribución gaussiana de relaciones
	Grafos libres de escala	Nodos con grado elevado, se conectan a otros nodos de grado elevado,
Centrada en la visualización.		Es la capacidad de generar comunicaciones para comunicar información más fácilmente
Centrada en la posición de los nodos.		La identificación de nodos que ofrecen ciertas características especiales en el grafo
Centrada en la identificación de sub agrupaciones.		La identificación de que un grafo está organizado respecto a sus puntos centrales

3.3.- Métricas e indicadores para el análisis de grafos.

Es importante comprender la relación entre métricas e indicadores y como utilizarlas en el análisis de grafos (Hanneman y Riddle, 2005). La métrica, en este contexto, es una medida cuantificable utilizada para medir progreso, por ello se toman datos de una fuente de información y se actualiza en forma constante, monitoreando su desenvolvimiento hasta obtener su objetivo. El indicador en cambio es utilizado en la designación de hitos significativos de referencia para que el grafo cumpla su objetivo. Tanto métricas como indicadores deben ser próximos a los objetivos del grafo. Una descripción de métricas e indicadores, a partir de la bibliografía consultada puede hacerse tomando y definiendo métricas o indicadores, agrupándolas en nueve ámbitos:

- tamaño del grafo
- conexión del grafo
- núcleos
- análisis de subgrupo
- equivalencias de los nodos
- descomposición del grafo
- centralidad de los nodos
- centralización del grafo
- eficiencia del grafo.

Para tener más claridad frente a estos conceptos a continuación se definen de forma amplia:

3.3.1.- Tamaño de un grafo.

Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005) sostienen que es crítica la dimensión del grafo para analizar su estructura y sus relaciones debido a que siempre se dispone de recursos limitados y las escasas capacidades de actor para construir y mantener vínculos. Cuando un grupo crece, las proporciones de los vínculos disminuirán su densidad y probablemente surjan subgrupos o fracciones con bastantes diferencias. Según Torres (Torres, 2018), las principales propiedades estructurales son la cantidad de nodos y de relaciones, enlaces o vínculos.

3.3.1.1.- Número de nodos.

Es la suma de todos los nodos, representados por los nodos del grafo, que están conectados o son parte del grafo. Este valor recibe el nombre de orden del grafo N y da la primera noción de su estructura, Para un grafo con nodos n_i , donde $i = 1, 2, \dots, N$ se obtiene de:

$$N = \sum_{i=1}^N n_i$$

3.3.1.2.- Número de enlaces.

Se denomina A al número de aristas a de las relaciones k entre los nodos n_i y n_j , con $i = 1, 2, \dots, N$, los nodos de origen y $j = 1, 2, \dots, N$ los nodos de destino. Para casos reales estos números son grandes por ello se requiere utilizar técnicas computacionales. La arista es la línea existente entre un par de nodos no ordenado y da cuenta de un enlace, relación o vínculo entre nodos del grafo. Para grafos dirigidos el sentido de la relación es específica y recibe el nombre de arco. Polanco (Polanco, 2006) señala que las aristas y los arcos se diferencian en es que estos son pares ordenados de nodos y este orden refleja la dirección del enlace. Siguiendo a Torres (Torres, 2018), los arcos o aristas indican que las correspondientes entidades están conectadas, enlazadas, interactúan o están relacionadas entre sí y el número total se puede calcular a partir de la matriz adyacente. Se obtiene:

Para un grafo no dirigido con auto enlaces

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} + \sum_{i=1}^N a_{ii}$$

Para un grafo no dirigido sin auto enlaces

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij}$$

Para un grafo dirigido

$$A = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} +$$

Un grafo G no dirigido es un par de conjuntos $G = (V, E)$ donde: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, es el conjunto de nodos, y $A = \{(v_i, v_j), \dots\}$ es un conjunto de pares de vértices no ordenados de V . Se define a una ruta de un nodo a otro nodo a una secuencia de nodos $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$, donde no hay nodos repetidos.

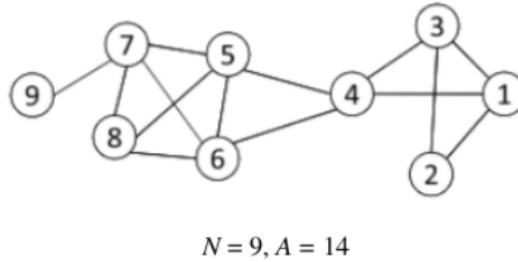


Figura 11. Grafo con 9 nodos y 14 relaciones

La matriz adyacente es una de las formas más comunes de representar un grafo y facilita su manipulación matemática. La matriz adyacente de un grafo $G = (N, A)$ de orden $|V| = N$ es una matriz $A = (a_{ij})$ con $1 \leq i, j \leq n$. La cual se trata de una matriz numérica de ceros y unos.

3.3.2. Conexión del grafo.

Freeman (Freeman, 1978) describe los distintos tipos de interconexión entre nodos de un grafo, los cuales pueden conocerse mediante las siguientes métricas:

3.3.2.1. Accesibilidad.

Mide en que forma los nodos, directa o indirectamente, se conectan o relacionan con todos los otros nodos del grafo. Los nodos no conectados se los llama aislados (Kuz et al.2016). Cuando algún nodo no vincularse con otros, existe una potencial división del grafo, también indicaría que se está en presencia de un grafo inconexo, o que está compuesto de más de un subgrupo (Hanneman y Riddle, 005).

La figura 12 muestra dos grafos, en el de la izquierda, se tiene un grafo inconexo con pocos enlaces entre los nodos, si a estos se agregan enlaces se puede obtener un grafo conexo integrado como se muestra en el grafo de la derecha.

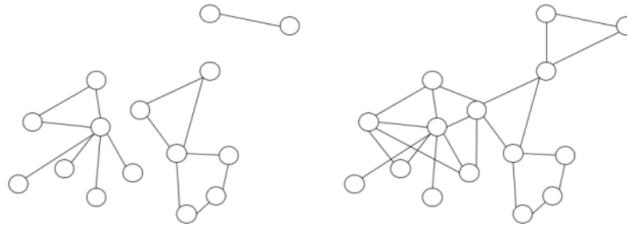


Figura 12. Grafos inconexos y conexo integrado

La accesibilidad como medida, es el número de veces que es necesario atravesar un arco para llegar a un nodo dado, se expresa como la distancia d o el número de arcos que es necesario recorrer para llegar al nodo más distante por el camino más corto. Bautista (Bautista, 2018) señala que si la distancia es baja, la accesibilidad aumenta. Para su cálculo:

$$Acc = \sum d_{ij}$$

3.3.2.2. Cohesión.

Bautista (Bautista, 2018) señala que la cohesión permite establecer una relación, vínculo o enlace entre dos nodos, que indican el alcance de un nodo respecto a otro, mediante el número de conexiones posibles. Esto representa la existencia de un conjunto de conexiones entre dos nodos, con los cuales es posible hallar una ruta desde un nodo origen hasta uno destino, sin considerar cuántos nodos puedan estar entre ellos. Si los arcos están dirigidos, es posible que pueda llegar al nodo de destino, pero el nodo de destino no pueda llegar al nodo origen. Si los arcos son recíprocos, cada par de nodos son accesibles si están conectados entre sí (Hanneman y Riddle 2005).

Una forma alternativa de ver la cohesión en un grafo dirigido, es mediante la conectividad de vértice de un gráfico, que permite saber la conectividad mínima de todos los pares de nodo ordenados. O sea, es el número mínimo de arcos que se tienen que eliminar para que el grafo no esté fuertemente conectado, dado que si el grafo no está fuertemente conectado, la cohesión es cero.

Madrid y Ortiz (Madrid y Ortiz, 2005) señala que esta medida describe también el grado de cohesión que presenta un grafo mediante el número de arcos dividido el número de nodos, si su valor es 0 el

grafo es nulo, si su valor es 1 el grafo tiene un solo circuito, y si su valor se encuentra entre 1 y 3 es un grafo complejo, porque a mayor número de arcos, mayor es la cohesión. Se calcula como:

$$Coh_1 = \frac{A}{N}$$

La cohesión del grafo, se puede obtener también dividiendo el número de arcos por el máximo posible de arcos multiplicado por el número de nodos del grafo, cuanto más se aproxime este valor a 1, más conectado estará el grafo, se calcula como:

$$Coh_2 = \frac{2}{N(n-1)}$$

También puede obtenerse la cohesión del grafo calculando el valor porcentual de arcos que debe introducirse en cada nodo para obtener un grafo integrado. Se calcula como:

$$Coh_3 = \frac{a}{3(n-2)} 100$$

Si el resultado se aproxima al 100%, se acercaría al caso ideal, lo cual los alejaría de los casos reales.

3.3.2.3. Distancia.

Es la conexión directa entre dos o más nodos de un grafo, medida en términos de nodos intermedios. Existen distintos tipos de métricas aplicables.

3.3.2.3.1 Distancia entre dos nodos.

Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012) sostienen que el concepto de distancia en los grafos no depende del espacio que lo contiene, sino de la distancia que une a dos nodos, si existe algún camino o si no existe, en cuyo caso la distancia es infinita. Para su cálculo se suma el número de vínculos o enlaces que existen en el camino entre los nodos. En grafos dirigidos puede diferenciarse dos distancias, que no tienen que ser iguales:

- la distancia que separa a un nodo de origen i de un nodo de destino j
- la distancia d que separa a un nodo de destino a un nodo de origen.

Si los nodos son adyacentes la distancia entre ellos es 1. Los distintos nodos están a diferentes distancias unos de otros, esto es importante para entender las diferencias entre ellos para señalar limitaciones y oportunidades que tienen como resultado de su posición. También es interesante saber de cuantas formas posibles pueden conectarse dos nodos con una distancia dada, puesto que un nodo origen puede llegar al nodo de destino con distintas trayectorias. En ciertas ocasiones las conexiones múltiples indican un vínculo fuerte entre nodos una sola conexión. Si las distancias son grandes, una información circulando en el grafo puede tardar mucho en difundirse, incluso algunos nodos pueden no ser alcanzados. Si los arcos representan funciones de costo puede ocurrir que sean accesibles, pero el costo sea demasiado alto. La variabilidad de las distancias puede constituir la base de una diferenciación e incluso de una estratificación del grafo. En relaciones de dependencia los nodos próximos tienen una mayor capacidad de ejercer poder que aquellos que están más distantes (Hanneman y Riddle 2005).

La distancia d_{is} o longitud que une dos nodos está dada por la distancia d entre dos nodos n_i y n_j (con i origen y j destino) definida como el número de arcos de la trayectoria más corta que los conecta, y se obtiene como:

$$N d_{is} = \sum_{i=1 \text{ \& } j \neq i} d(i, j) ;$$

3.3.2.3.2 _Distancia geodésica.

Se mide el número de arcos de la trayectoria más corta posible desde un nodo a otro, tanto sea un grafo dirigido o no, es ampliamente utilizada. Cuando se modela relaciones entre individuos las distintas trayectorias pueden representar oportunidades y limitaciones. Por eso, de los distintos caminos geodésicos, el más corto es el óptimo o más eficiente. Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle 2005) señalan que diversos algoritmos usados para el análisis de grafos asumen que los nodos usan los caminos geodésicos cuando existen varias alternativas.

Así se define la distancia $dis G$ o trayectoria de mínima longitud geodésica, a la distancia d más corta entre los nodos n_i y n_j en un grafo, medida por el número de arcos de la trayectoria que llega de un nodo al otro, se puede expresar como:

$$dis G = d(n_i, n_j)$$

3.3.2.3.3. Distancia promedio o ruta media más corta.

Es la trayectoria promedio $dis P$ de las distancias más pequeñas entre dos nodos cualesquiera del grafo, siempre que exista una trayectoria que conecte cualesquiera dos nodos del grafo, se la llama también longitud media o la separación típica entre pares de nodos n_i y n_j . Se expresa como:

$$\sum_{j=1}^{NN} \sum_{i=1, i \neq j}^{NN} d(n_i, n_j) * N * (N - 1)$$

3.3.2.4. Diámetro.

Se define como la distancia geodésica $dis D$ más larga que existe en un grafo conectado, o como la distancia máxima entre cualquier par de nodos n_i y n_j del grafo. Esto explica que tan grande es el grafo así medido (cuántos arcos se recorren para ir de un nodo a otro). Se puede expresar como:

$$dis D = d(n_i, n_j)$$

De allí que siempre se cumple $dis G \leq dis D$. El diámetro $dia D$, también es una medida útil para establecer el límite superior de las longitudes de las trayectorias que se analicen. El diámetro del grafo, es una de las medidas de robustez, junto con el coeficiente de agrupamiento y la distribución de grado. No debe confundirse el diámetro entre dos nodos del diámetro de un grafo, definido como la mayor longitud de entre todas las trayectorias más cortas posibles entre dos pares de nodos.

3.3.2.5. Densidad.

Es el número de arcos existentes entre todos los posibles, expresado como porcentaje. Se calcula dividiendo el número de arcos R que por todos los arcos que podrían existir en el grafo y multiplicándolo por 100. Puede calcularse para cada nodo y para todo el grafo, sin el auxilio de algún software específico.

Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005) señalan que la densidad valora la fuerza de los vínculos del grafo y su utilidad radica en que permite conocer la velocidad con que se difunde información entre los nodos de un grafo que modeliza una organización, además puede usarse para conocer el capital social y el nivel de coacción o presión entre los individuos. El máximo número de arcos que puede tener un nodo de los N de un grafo es:

$$R_{max} = N - 1$$

En un grafo con arcos bidireccionales, hay un máximo de relaciones posibles RP y para un dado número de arcos existentes Re , RP se obtiene multiplicando el número total de nodos del grafo N (el número total de nodos) por $N-1$. Se expresa como:

$$RP = N(N - 1)$$

La densidad del grafo es:

$$Den = \frac{Re * 100}{N * (N - 1)}$$

Si un grafo es de tamaño 9, el total de relaciones posibles es 72, si existen 14 arcos la densidad sería 19% .

Para arcos con flujos unidireccionales, RP será de:

$$RP = \frac{N(N - 1)}{2}$$

Para mismo grafo de tamaño 9, el total de arcos sería 36, con los 14 arcos la densidad será 39 %. El número de posibles relaciones lógicas crece exponencialmente a medida que el número de nodos aumenta linealmente.

Arriagada (Arriagada et al.2004) señala que en modelos de organizaciones modelizadas con grafos que estén más conectados y con gran integración, se tendrían más posibilidades de difundir conocimiento e información que modelos con un alto grado de unipolaridad y fuerte centralización, donde el dominio de un pequeño conjunto de nodos bloquearía la circulación de la información. Por otra parte, cuando desarrollan vínculos fuertes entran en riesgo de perder las ventajas de los lazos débiles, que permiten un mayor flujo de información, aunque se convertiría en redundante si los vínculos son siempre entre los mismos modos.

3.3.3. Núcleos del grafo.

El concepto de núcleo fue introducido por Seidman en 1983 y establece que un vértice perteneciente a un centro y está unido al menos a otros vértices (Batagelj y Mrvar, 2004).

3.3.3.1. Grafo del Ego.

Es un grafo que se forma a partir de un nodo focal individual denominado Ego a partir del cual se construye el grafo como muestra la figura 13, los nodos con los cuales el nodo ego está directamente conectados se los llamas Alters (Herrero, 2000).

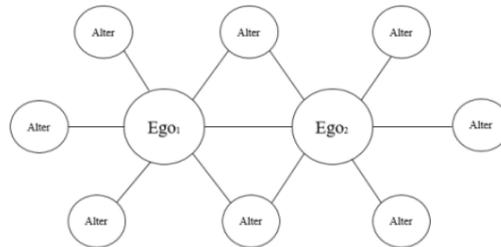


Figura 13. Grafo del Ego

El nodo Ego y todos con los que está conectado se denomina Vecindad. En análisis de grafos, los límites del grafo del Ego se definen en términos de vecindarios y barrios, y solo abarcan un paso, o sea, solo el Ego y los Alters adyacentes (Hanneman y Riddle, 2005). La modelización que arroja un grafo egocéntrico permite conocer el grado de fortaleza del líder en el entorno modelizado, esta fortaleza está dada por la suma de Alters alrededor del nodo Ego. Este grafo, permite estudiar cómo las relaciones de estos individuos establecen distintas influencias en sus Alters, aquí la fortaleza de las relaciones (arcos) puede ser nominal (arco en un solo sentido) o binaria (arco en ambos sentidos); puede tener signo (según el valor asignado al arco); puede ser ordinal (identificación del arco más fuerte); o con valor (asignando la intensidad de la relación con un valor numérico); y según este valor, pueden ser débiles o fuertes.

3.3.3.2. Lazos fuertes.

Granovetter (Granovetter, 1973) señala que las organizaciones cuyos modelos de grafos responden a este tipo, tienen relaciones que se caracterizan por ser cercanas, solidarias, especializadas y muy utilizadas, por ello no necesitan una administración muy sólida para tener un buen funcionamiento. La principal desventaja es que son reactivas a las innovaciones, pues los nodos presentan modos similares de pensamiento. Se representa a los lazos fuertes de un nodo, por la suma de todas las relaciones especializadas próximas de los nodos del grafo.

3.3.3.3. Lazos débiles.

Estos grafos representan organizaciones que ponen de manifiesto relaciones lejanas, superficiales y que no se utilizan frecuentemente, por ello necesitan una buena administración para que funcionen sin problemas. Inversamente a lo que ocurre con los lazos fuertes, se fomenta la innovación, ya que la unión de diferentes modos de pensamiento, con vínculos débiles tienden a actuar en forma igual al pasar el tiempo. Los lazos débiles de un nodo se representan mediante la suma de todas las relaciones superficiales de un nodo con todo el resto del grafo, y para identificarlos se sumatoria de todos los arcos lejanos al nodo.

3.3.3.4. Vecinos cercanos.

Según Herrero (Herrero, 2000), esta clasificación se realiza según tenga nodos más cerca en un grupo u otro. Es decir, se calcula la distancia del elemento uno de los existentes y se ordena dichas distancias de menor a mayor para ir seleccionando el grupo al que pertenece, como muestra la figura 14. El grupo de vecinos cercanos será, por lo tanto, el de mayor frecuencia con menores distancias.

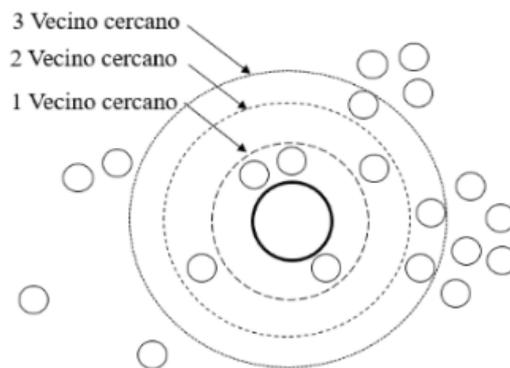


Figura 14. Vecinos cercanos en un Grafo

Altman (Altman, 1992), señala que el uso de algoritmos básicos de clasificación es poco aplicable para casos reales, pues las relaciones no son paramétricas, y los algoritmos no hacen suposiciones sobre la distribución subyacentes de datos. Sin embargo, aplicar algoritmos es esencial para el reconocimiento de patrones, búsqueda semántica y detección de anomalías. Hay dos decisiones importantes que deben tomarse antes de hacer la clasificación, una es el valor de las relaciones k que se utilizará, esto puede decidirse arbitrariamente, o se puede intentar una validación cruzada para encontrar un valor óptimo según lo que ya habían expresado Cover y Hart (Cover y Hart, 1967). Como alternativa Tsy-pin y Röder (Tsy-pin y Röder, 2007) proponen usar la distancia euclidiana como

evaluador, y que es, esencialmente la magnitud del vector obtenido al restar el punto de datos de entrenamiento del punto a clasificar . Se expresa como:

$$E(n_i, n_j) = \sqrt{\sum_{i=0}^d (n_i - n_j)^2}$$

Este método estima el valor de la función de densidad de probabilidad o directamente la probabilidad a posteriori de que un nodo pertenezca a una clase a partir de la información proporcionada por un conjunto de prototipos. Esta métrica es usada como método de clasificación de nodos basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los nodos.

3.3.3.5. Jugadores periféricos.

Los nodos periféricos o nodos con baja centralidad como se muestra en la figura 15, modelizan individuos considerados de baja importancia. Aunque estos se pueden volver relevantes si se conectan con grafos que no están actualmente mapeadas, convirtiéndose en recursos importantes para obtener información actualizada no disponible dentro de la organización.

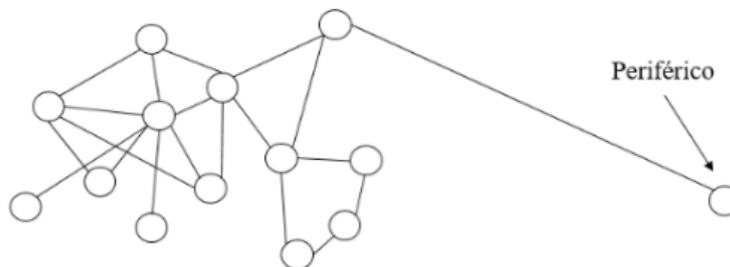


Figura 15. Nodo periférico en un Grafo

Freeman (Freeman,1978) sostiene que una métrica útil para identificar a los nodos periféricos en un grafo es la centralidad del nodo que cuantifica la importancia estructural de los individuos del grafo de acuerdo con sus relaciones. Sin embargo, también son relevantes los trabajos sobre la identificación de grupos y jugadores periféricos de Seidman (Seidman, 1983) y el de Borgatti y Everett (Borgatti y Everett, 1999), con los que se permiten distinguir entre nodos:

- localmente periféricos
- globalmente periféricos

En relación a las aplicaciones de estas medidas estructurales, se puede mencionar la aplicación sobre el capital social realizado por Coleman (Coleman, 1990), Burt (Burt, 1992). Borgatti, Jones y Everett (Borgatti, Jones y Everett, 1998) también buscaron identificar individuos (nodos) relevantes que pueden ser nodos periféricos. Aquí la perspectiva se invierte, pues la pregunta acerca de qué características de un grafo contribuye al nodo, cambia a que nodos son importantes para el grafo.

3.3.4. Subgrupos del grafo.

Un subgrupo es un subconjunto de los nodos de un grafo y todos los arcos que enlazan estos nodos. Cualquier grupo de nodos puede formar un subgrupo. Dentro de este análisis es relevante conocer los siguientes conceptos (Madariaga, Ávila- Toscano, 2012):

3.3.4.1. Camarilla.

Hawe (Hawe et al. 2004) la define como el conjunto de nodos donde todos ellos están conectados entre sí y se vincula con el resto de nodo del grafo por lo menos por uno de ellos, así modeliza relaciones organizacionales conformadas por más de dos individuos donde todos que se vinculan entre sí, conformando un subgrafo máximo conectado. Según Mejía (Mejía, 2010) pueden ser considerado como un grafo completo completando lo señalado por Herrero (Herrero, 2000) sobre que esta categoría constituye un subgrupo cohesivo completamente conectado (todos los nodos están interconectados). En la figura 16 se puede ver un grafo con una camarilla.

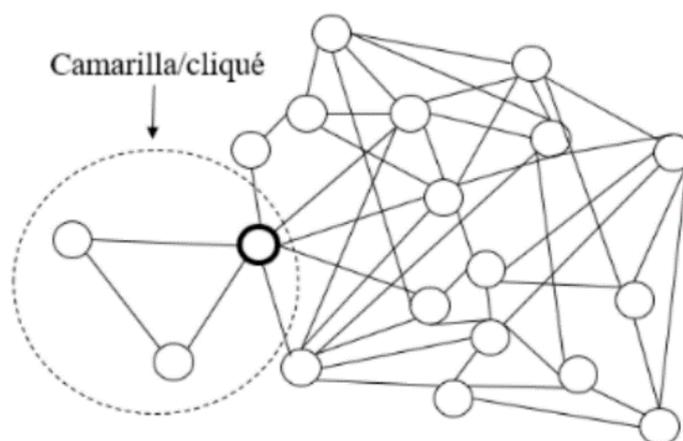


Figura 16. Grafo con una camarilla

Las camarillas forman un subgrupo que puede dividirse del grafo, pues su constitución está dada por un conjunto de nodos que están mutuamente vinculados. Para modelizar este tipo de relaciones

primero hay que identificar las relaciones de todos con todos, para poder definir las sub agrupaciones (Madariaga, Ávila-Toscano, 2012).

3.3.4.2. Clan, racimo o Clúster.

Es una forma flexible para identificar subgrupos utilizando la información relacional del grafo mediante un análisis por pasos que integra subgrupos de nodos de acuerdo con el nivel de similitud de los mismos y no requiere que los nodos, pertenezcan a la misma camarilla, como se ve en la figura 17. El análisis se basa en la similitud y equivalencia de relaciones entre nodos, lo que va formando clústeres diferentes, que se van agregando a otros clústeres hasta integrar a todos los nodos del grafo.

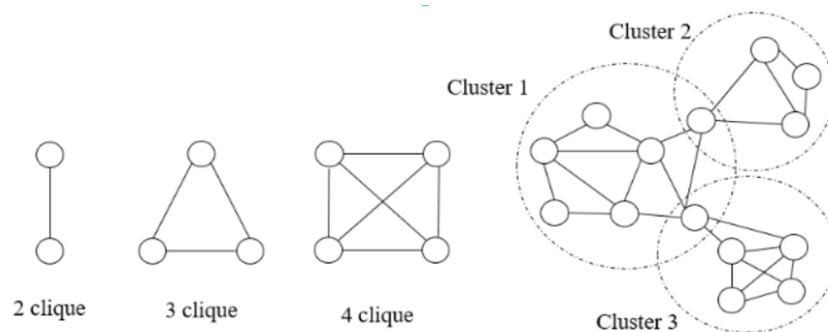


Figura 17. Distintos cliques y Grafo con clústeres

Son muy útiles dado que facilitan la detección de secuencias de agrupamiento en donde es posible observar la manera cómo los diferentes nodos $\sigma \varepsilon$ unen a subagrupaciones en la medida que comparten características que los vinculan (Ávila-Toscano, Gutiérrez y Pérez, 2011). Un ejemplo puede verse en la figura 18 que muestra diferentes tipos de clúster, en este caso de figuras geométricas. En el primer agrupamiento se aprecia una partición de figuras, en la segunda un agrupamiento anidado o clustering jerárquico y en la tercera se representa un agrupamiento no anidado u overlapping clustering (Leenen, 2015).



Figura 18. Distintos Grafos y clústeres

Girvan y Newman (Girvan y Newman, 2002) proponen como forma de representar gráficamente estos clústeres a un dendrograma, que se muestra en la figura 19. Este es un tipo de representación gráfica o diagrama de datos en forma de árbol que los organiza en sus categorías que se van dividiendo en otros hasta llegar al nivel de detalle deseado. Con esta representación se puede apreciar las relaciones de agrupación entre nodos e incluso entre grupos de ellos, pero no expone las relaciones de similitud o cercanía entre categorías. Estas subdivisiones surgen de la aplicación de un algoritmo de clustering jerárquico.

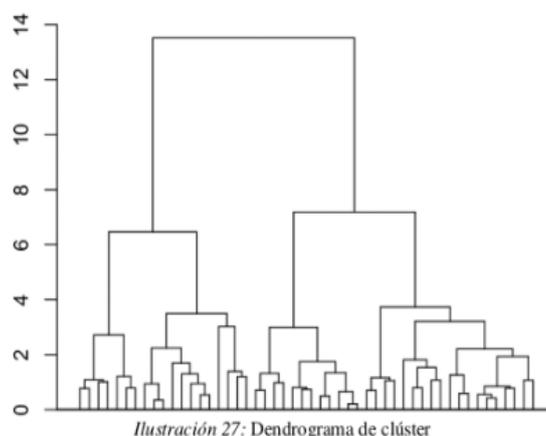


Figura 19. Dendrograma

Boden (Boden, Haag y Seidl, 2013) señala que el análisis de clúster consiste en encontrar grupos dentro de un grafo según sus relaciones respondiendo a un algoritmo que permite conocer los diferentes grupos a los que pertenece un nodo. La idea de pensar a los grafos como conjunto de clústeres desafía a los modelos aleatorios y propone indagar en patrones de conectividad y de agrupamiento.

3.3.4.3. Componentes.

Es una parte del grafo donde todos los nodos están conectados, directa o indirectamente, al menos con una relación. Se puede considerar también como el máximo subgrupo posible en cual se cumple que cada par de nodos se conecta por un camino posible. En la figura 20 se ve en la primera imagen a un grafo con tres componentes desconectados, la segunda a un grafo con dos componentes y en la una grafo tres componentes (White, Schnegg y Brudner, 1999).

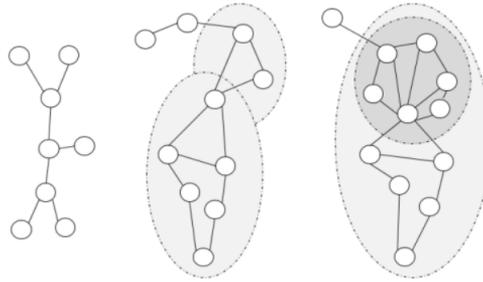


Figura 20. Distintos tipos de conexiones

3.3.4.4. Círculos o anillos.

Herrero (Herrero, 2000) la define como una cadena simple, cuyos dos vértices extremos, inicial y terminal coinciden, sin tener en cuenta sus orientaciones, en un ciclo elemental donde no se repite ningún vértice, salvo el primero que coincide con el último. La cohesión de un círculo no radica en el nivel de contacto de sus nodos sino en la existencia de cadenas de vínculos que los ligan unos con otros. La medida con que se caracteriza es el número de diferentes círculos formados por las aristas que forman el grafo. En la siguiente figura aprecia una gran cantidad de círculos que pueden estar dentro de un grafo.

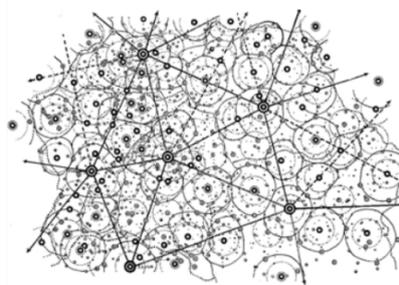


Figura 21. Distintos tipos de anillos en un grafo

3.3.5. Equivalencias de los nodos.

El método de análisis se basa en los lugares que ocupan los nodos o subgrupos de nodos dentro del grafo, se ha estudiado desarrollando el concepto de que existen diferentes tipos de equivalencias. Los modelos obtenidos agrupan nodos que son equivalentes o similares, permitiendo conocer los roles estructurales y las posiciones que los nodos presentan dentro del grafo. Así, este modelo es

modo de describir la estructura de las relaciones (Burt, 1987). En esta categoría pueden identificarse las siguientes modalidades de análisis:

3.3.5.1. Equivalencia estructural.

Los nodos estructuralmente equivalentes son sustituibles entre sí, si ocupan la misma posición en la estructura del grafo y están próximos ya que tienen el mismo patrón de relaciones con los nodos de otras posiciones. En síntesis, dos nodos son estructuralmente equivalentes si tienen relaciones idénticas con todos los demás nodos del grafo (Park, 2006). En la figura 22 se muestra que los nodos A y B son estructuralmente equivalentes porque A y B tienen el mismo patrón de vínculos con los otros nodos (nodos C, D, E y F), por lo que A y B son sustituibles entre sí.

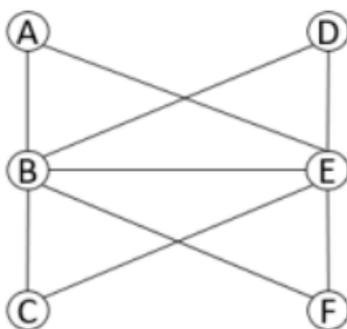


Figura 22. Nodos estructuralmente equivalentes

3.3.5.2. Equivalencia regular.

Herrero (Herrero, 2000) señala que la equivalencia regular ocurre cuando dos nodos estructuralmente equivalentes se relacionan con otros que también son equivalentes entre sí. O sea, cuando un grupo de nodos tienen a otro grupo de nodos similares a distancias similares en sus vecindarios. Se diferencian de la equivalencia estructural, pues los nodos son regularmente equivalentes si tienen vínculos similares con algún nodo de otros conjuntos. La figura 23 muestra que los nodos A y B son regularmente equivalentes pero no estructuralmente equivalentes porque los nodos tienen el mismo patrón de vínculos con diferentes nodos, A está conectado con C, D, E y B está conectado con F, G y H. Los nodos A y B no son sustituibles entre sí porque tienen relaciones con diferentes grupos de nodos (Park, 2006).

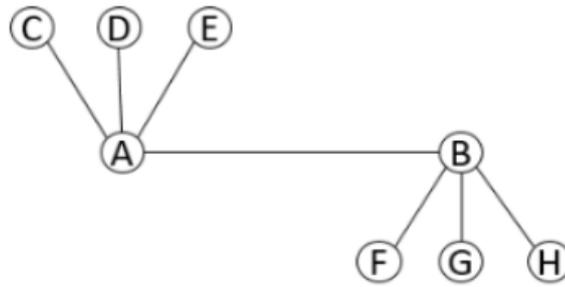


Figura 23. Nodos regularmente equivalentes, pero no estructuralmente equivalentes

Burt (Burt, 1992) establece que la equivalencia estructural y regular son diferentes en términos de redundancia de información. La equivalencia regular es estratégicamente mejor que la equivalencia estructural porque los nodos regularmente equivalentes tienen fuentes de información no redundantes, mientras que los nodos estructuralmente equivalentes tienen las mismas fuentes de información. En el ejemplo anterior, los nodos A y B muestran cuatro fuentes de información redundantes mientras mantienen cinco relaciones, comparten seis fuentes diferentes de información, mientras que cada una de ellas mantiene cuatro relaciones. Park (Park, 2006) señala que la diferencia entre equivalencia estructural y regular puede explicarse por la sustituibilidad entre nodos equivalentes estructurales y la redundancia de información en nodos equivalentes estructurales.

3.3.5.3. Agujeros estructurales.

El método consiste en encontrar espacios del grafo conectados entre nodos. La figura 24 sugiere que podrían ser usados para obtener ventajas y nuevas oportunidades.

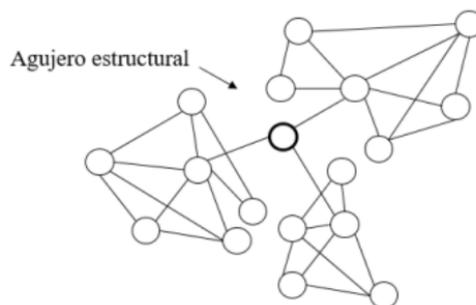


Figura 24. Agujero estructural

Un agujero estructural también aparece cuando no hay redundancia en la comunicación entre varios nodos, y como los nodos centrales que unen los diferentes elementos del grafo, estas concentran la capacidad de comunicar a otros nodos actuando como enlaces. La modelización de estructuras organizacionales sugiere que estos individuos (nodos) tratan que haya oportunidades para la mayor parte de los miembros de la organización para recibir información de los otros. Álvarez (Álvarez, 2019) postula que los nodos centrales también son los que definen la relación puente existente entre diferentes grupos que participan de flujos de información diferentes. Los grafos que muestren un alto número de agujeros o huecos estructurales pueden proporcionar información más variada, menos redundante, que aquellos con menos agujeros estructurales.

3.3.6. Descomposición del grafo.

Según Newman (Newman, 2006), es la separación de un grafo en grupos o comunidades que lo forman, y consiste en dividir grandes grafos en otros más pequeños para aplicar métodos de análisis más sofisticados. Existen nodos que se sitúan de forma natural en grupos o comunidades, los arcos dentro de las zonas son numerosos mientras que existe solo un pequeño grupo de arcos entre los diferentes grupos. Así en el grafo de la figura 25 se detectan tres comunidades diferenciadas, en donde se supone que los nodos de cada una de ellas tienen alguna característica o atributo en común. Un módulo incluye un subgrupo de nodos del grafo que muestra un nivel relativamente alto de conectividad dentro del módulo y un nivel relativamente bajo de conectividad inter modales.

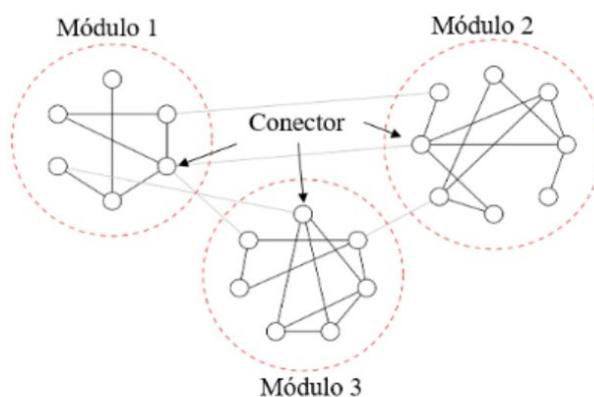


Figura 25. Módulos con distintas conectividades

3.3.6.1. Estructura de las comunidades.

Siguiendo a Herrero (Herrero, 2000) quien los llama subgrupos cohesivos, estas estructuras incluyen a un subconjunto de nodos del grafo que muestran un nivel relativamente alto de conectividad dentro del módulo, y un nivel relativamente bajo de la conectividad intermodales. También mide el

nivel de descomposición del grafo en grupos o comunidades modulares. Una alta modularidad indica una sofisticada estructura interna, basándose en la idea de que los nodos contenidos dentro de una misma comunidad comparten atributos, características o relaciones fundamentales. Se entendiendo aquí, como comunidad, a aquel subgrupo en el que los vértices deben estar más relacionados entre sí que con el resto de los vértices del grafo.

El análisis se centra en comparar enlaces internos de una comunidad frente a los enlaces que conectan la comunidad con el resto del grafo y buscar medir la fuerza de la división del grafo en módulos. Los grafos con alta modularidad tienen conexiones densas entre los nodos dentro de los módulos, pero escasas conexiones entre los nodos en diferentes módulos. En el análisis se utilizan métodos de optimización para la detección de estructuras y se ha demostrado que estas sufren de un límite de resolución y son incapaces de detectar pequeñas comunidades, como ocurre al modelizar estructuras biológicas. Dentro de la teoría de grafos se tiene diferentes métodos para el análisis y detección de comunidades, los que se pueden agrupar en dos tipos métodos:

3.3.6.1.1. Métodos jerárquicos.

Csardi y Nepusz (Csardi y Nepusz, 2006) propusieron buscar las divisiones naturales en el grafo, basándose en una estructura jerárquica. Existen varios algoritmos que se aplican a este tipo de método, sin embargo en el software existente que se usa para la investigación se propone una aproximación jerárquica creciente, con lo cual se optimiza la función de calidad. Se la llama "fastgreedy" o modularidad codiciosa. Con este enfoque se detecta comunidades de abajo hacia arriba en lugar de arriba hacia abajo, pues inicialmente cada nodo pertenece a una comunidad separada y posteriormente las comunidades se unen de un modo iterativo haciendo que cada unión sea un óptimo local, o sea, que cada comunidad da el mayor valor posible al valor actual de modularidad.

Este método es rápido y se aplica como una primera aproximación debido a que no tiene que ajustar parámetros, pero tiene un límite de resolución debido a que las comunidades por debajo de un umbral dado se fusionarán con las comunidades vecinas. El algoritmo se detiene cuando ya no es posible aumentar la modularidad, proporcionando una agrupación máxima y un dendrograma, cuya forma de árbol permite apreciar las derivaciones de agrupación entre los nodos e incluso entre grupos de ellos, aunque no en las relaciones de similitud o cercanía entre categorías. Se puede observar las sucesivas subdivisiones en la figura 26 que muestra las agrupaciones que surgen por la aplicación de un algoritmo de clustering jerárquico. La primera figura representa un primer recorrido

amplio o nivel ordenamiento transversal y en la segunda el recorrido es de mayor profundidad en los primeros recorridos desde la raíz, y luego de izquierda a derecha.

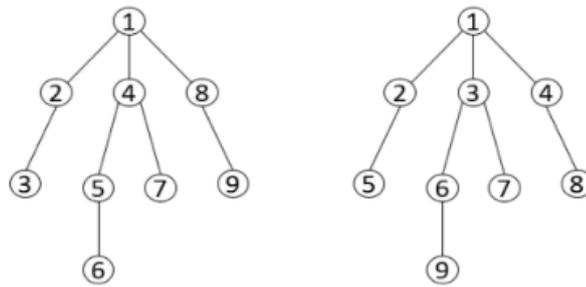


Figura 26. Distintas agrupaciones obtenidas por clústering

3.3.6.1.2. Métodos modulares.

En estos paquetes de software se propone el método de “spinglass” o vidrio giratorio, donde cada arco puede estar en uno de los estadios de giro, se especifica qué pares de arcos preferirían permanecer en el mismo estado de giro y cuáles prefieren tener diferentes estados de giro. El método es particularmente rápido y no es determinista pero tiene un parámetro de resolución ajustable que determina los tamaños del clúster. Una variante del método también puede tener en cuenta los enlaces negativos. En la figura 26 se muestra el ordenamiento de las comunidades, correspondiente a un patrón de incorporación mediante la orientación del nodo, lo cual enfoca la búsqueda hacia regiones específicas del grafo.

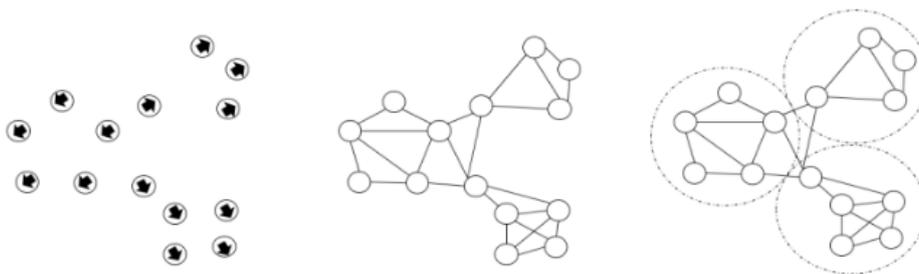


Figura 26. Distintos ordenamientos en comunidades

3.3.6.2. Centros estructurales.

Herrero (Herrero, 2000) llamó así al nodo sobre el cual convergen el conjunto de nodos de la organización del grafo, por ello esa denominación, generalmente corresponden a nodos de alto

grado que se conectan principalmente a los nodos en el mismo módulo como lo muestra la figura 21.

3.3.6.3. Centro absoluto.

Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012) señalaron que es posible que la centralización sea aún más extendida y que el grafo se organice de acuerdo a un solo punto y no a un conjunto de ellos, en este caso se lo denomina el centro será absoluto como lo muestra la figura ya mencionada. En un modelo de una organización estas medidas permiten identificar las limitaciones y oportunidades de los individuos modelizados.

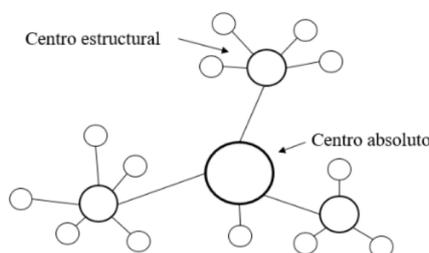


Figura 27. Centro estructural y centro absoluto

3.3.6.4. Hubs conector.

Según Herrero (Herrero, 2000), son nodos de alto grado que muestran un perfil de conectividad diversa mediante la conexión a varios módulos diferentes dentro del grafo. Para Barabási (Barabási, 2003) lo que interesa, es cómo se construyen en su relación dinámica con los demás nodos y determinan procesos de auto organización y crecimiento del grafo. Se encuentran en numerosos y diversos sistemas complejos, desde la economía hasta biología celular. Los hubs, al estar altamente interconectados, se constituyen en los nexos mediante los cuales un grafo disminuye drásticamente la distancia geodésica entre sus nodos, y es a través de ellos que la mayoría de los nodos se pueden conectar unos con otros. También muestran las debilidades del grafo, ya que si son removidos el grafo colapsa o aumenta en mucho su distancia geodésica. Con lo que se demuestra que, al modelizar organizaciones, a pesar de las apariencias, en todas los modelos en que se presentan hubs, hay una completa ausencia de democracia, equidad e igualdad.

Lo importante del grafo obtenido de la modelización, no es tanto su tamaño, sino también su conectividad, puesto que, si se estructuran en torno a clústeres, solo a través del vínculo con un hub

que dinamice la conectividad entre diversos clústeres, puede formarse un gran grafo, dicho de otro modo, los hubs juegan un rol central en la transición de fase.

Para entender el desempeño de los hubs, Aguirre (Aguirre, 2011) señala que los estudios empíricos sobre los grafos de todo tipo ya sea biológicos, sociales, etcétera, presentan hubs en su topología. Como dominan la estructura de todos los grafos en los que están presentes, haciéndolos funcionar finalmente como mundos pequeños. Por lo que identificar y entender el rol de los hubs en los grafos permitirá descubrir su lógica de funcionamiento e identificar los nodos que dinamización las relaciones, transacciones y difusión de información.

3.3.6.5. Hubs que trascienden límites.

Según Herrero (Herrero, 2000) son aquellos nodos que pueden llegar a conectar su módulo o grupo a otros que terminan teniendo altas métricas en el grafo. En modelos organizacionales estos nodos están posicionados para ser innovadores, dado que ellos acceden a ideas e información de otros clústeres. También pueden estar en una posición estratégica para combinar diferentes ideas y conocimientos en nuevos productos y servicios.

3.3.6.6. Coeficiente de agrupamiento.

Watts y Strogatz (Watts y Strogatz, 1998) señalan que este coeficiente es una medida que cuantifica el grado en el que los nodos del grafo tienden a agruparse o a interconectarse entre ellos. Estos grafos se caracterizan por una densidad relativamente alta de enlaces. Se los utiliza para determinar qué tan integrado está un grupo, el que se obtiene dividiendo el número real de vínculos entre los nodos y el número máximo potencial de vínculos entre esa misma cantidad de nodos. Según Aguirre (Aguirre, 2011), esto permite probar hasta qué punto se mueve en grupos relativamente cerrados.

En términos generales, el coeficiente de agrupación se calcula como la proporción de las conexiones entre sus vecinos que en realidad se realizan, en comparación con el número de todas las conexiones posibles. Un ejemplo típico se aprecia en la figura 28 donde en la primera imagen presenta un nodo remarcado con tres vecinos, que pueden tener un máximo de tres conexiones entre ellos, las tres conexiones posibles, dan un coeficiente uno. En la siguiente imagen se realiza solo una conexión, con dos sin conectar, dando un coeficiente de un tercio. Por último, en la última imagen ninguna de las posibles conexiones entre vecinos del nodo remarcado se realiza, por lo que el valor del coeficiente es 0.

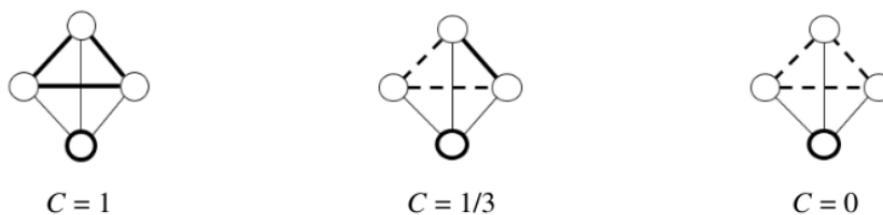


Figura 28. Distintos coeficientes de agrupamiento

Desde la mirada de un grafo G con N nodos, el coeficiente de agrupamiento también muestra la presencia de un alto número de triángulos sobre los tripletes del nodo. La figura 29 muestra a la izquierda una triada o triplete, que es un conjunto de tres nodos y dos aristas, conformada por los nodos A , B y C , donde A está conectado con B y C , y a la derecha presenta un triángulo que corresponde a un conjunto de tres nodos conectados a un arco de distancia entre ellos, y que se compone de las siguientes tres triadas o tripletes, BCA , ACB y CBA .



Figura 29. Triada o triplete abierto y cerrado

El coeficiente se subdivide entre agrupamiento global y el local, el primero para dar una indicación general de la agrupación en el grafo, el segundo una indicación de la incrustación de los nodos de forma individual. Formalmente el coeficiente de agrupamiento global Coe_{glo} se define como:

$$Coe_{glo} = \frac{3 * \text{Número de triangulos } G}{\text{Número de tripletes del nodo}}$$

Donde el factor tres compensa que cada triángulo contribuye con tres tripletes conectados (uno centrado sobre cada uno de los tres nodos) y asegura que $0 \leq T \leq 1$. Cuando $T = 1$ se tiene el clique K . Esta medida también representa la probabilidad de encontrar triángulos en el grafo. Para el caso particular de un nodo del grafo, el cociente indica en qué medida los vecinos de un nodo son vecinos entre sí, para lo cual se calcula el coeficiente de agrupamiento local Coe_{loc} , y está dado por:

$$Coe_{loc} = \frac{E_i}{E_i(E_i - 1)/2}$$

Donde E_i son los pares de vecinos o los arcos entre los vecinos de i y K_i el grado del nodo i , es decir, la proporción de arcos presentes con respecto a todos los posibles arcos, por lo que también representa una medida de densidad local. La fórmula anterior entrega información del clustering local por nodo, para obtener el coeficiente de agrupamiento del grafo se puede calcular el promedio.

$$Coe_{red} = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^N Coe_{loc}$$

Wasserman y Galaskiewicz (Wasserman y Galaskiewicz, 1994) señalan que esta medida da una indicación de la agrupación en el conjunto del grafo y se puede aplicar tanto a grafos no dirigidos como dirigidos.

3.3.7. Centralidad de los nodos.

Es una las ideas que surgió de los primeros estudios y respecto a su medición existen diversas propuestas para caracterizar las posiciones estructurales de los nodos en los grafos. La centralidad puede calcularse con diferentes medidas, que dan lugar a diferentes conceptos de centralidad. Para Freeman (Freeman, 1978) una es la de centralidad de grado y corresponde al número de nodos a los cuales un nodo está directamente unido, o las medidas en términos de la cercanía de cada punto respecto a los demás; así mismo, sobresale la medida basada en la idea de intermediación, que determina en qué orden un nodo hace de intermediario entre otros nodos por estar situado en el camino entre ellos.

Polanco (Polanco, 2006) señala que la centralidad es el número de lazos, uniones, enlaces o vínculos directos de un nodo en el grafo, la intermediación significa que un nodo se encuentra entre otros dos nodos en el grafo, la cercanía es la distancia entre un nodo y resto del grafo. Estas son tres propiedades estructurales características de los miembros de un grafo. La elección de un atributo estructural particular y su medida asociada depende de lo que busca analizar el grafo, si se trata de evaluar la capacidad de comunicación de que un nodo, se impone la medida basada en el grado, si lo que interesa es el control de la comunicación, la medida apropiada es la intermediación y si se trata de la independencia de un nodo, esto conduce a la elección de la medida basada en la cercanía o proximidad.

Según Van den Heuvel y Sporns (Van den Heuvel y Sporns, 2013), previo a describir medidas de centralidad, se debe recordar los atributos básicos de un grafo. La figura 30 representa un grafo que puede ser descrito y analizado, y que comprende a un conjunto de nodos y una colección de

enlaces que describen las conexiones estructurales o relaciones funcionales. La disposición de los nodos y los enlaces define la organización topológica del grafo, en el cual los nodos de bajo grado son nodos que tienen un número relativamente bajo de los enlaces, y los nodos de alto grado son nodos que tienen un número relativamente alto de enlaces. En la figura también se aprecia los diferentes niveles de centralidad de grado, lo que facilita la visualización del grafo.

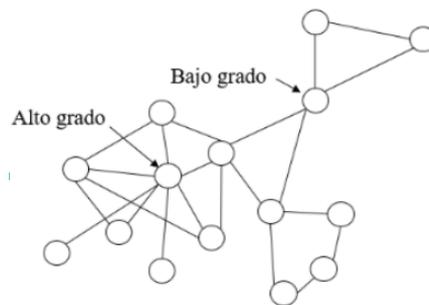


Figura 30. Conexiones estructurales

3.3.7.1 Grado de centralidad.

Herrero (Herrero, 2000) señala que es una de las medidas más extendidas y simple, ya un punto es central si esta adecuadamente conectado los nodos de su entorno. Según Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012), la centralidad se asocia a la centralidad relativa de los puntos de un grafo, y se define como el número de enlaces que posee, es decir, el número de relaciones que tiene el nodo con otros nodos, por lo que representa la actividad o “popularidad” que se tiene al interior del Grafo.

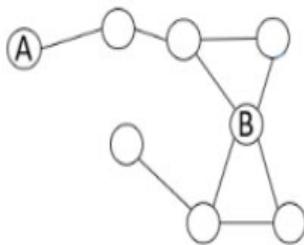
Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005) definen la centralidad de grado como el nodo relacionado con aquellos otros que tienen más vínculos con otros nodos. En un modelo de una organización, estos nodos pueden ser más privilegiados que otros debido a que tienen más lazos de interacción y diversas formas de satisfacer las necesidades que demandan, por lo tanto son menos dependientes de otros. Debido a las numerosas relaciones estos individuos pueden tener acceso a los recursos disponibles, donde a menudo son intermediarios y negociadores de los intercambios. En un grafo no dirigido se define el grado de un nodo i como el número total de aristas incidentes en dicho nodo y se denota por k_i . En un grafo dirigido se distingue entre el grado entrante de un nodo calculado como el número total de nodos que apuntan ha dicho nodo. representado por k_{in} y el grado saliente, representado por el número total de nodos a los que apunta el nodo i y se denota por k_{out} . En el caso de grafos no valorados el grado de un nodo se puede calcular directamente a

partir de la matriz de adyacencia, la cual es una matriz cuadrada que se utiliza como una forma de representar las relaciones binarias.

Para un grafo no dirigido se tiene:

$$Cen_i = \sum_{j=1}^N A_{ij} = \sum_{j=1}^N A_{ji}$$

En un grafo simple no dirigido $k_i \in [0; N - 1]$, siendo N el número de nodos de la componente conexas. Mejía (Mejía, 2010) por su parte, argumenta que si bien en un grafo el grado es el número de nodos a los cuales un nodo está directamente unido como muestra la figura 31, el grado de un nodo puede ser dividido en grado de entrada y de salida, dependiendo de la dirección del flujo.



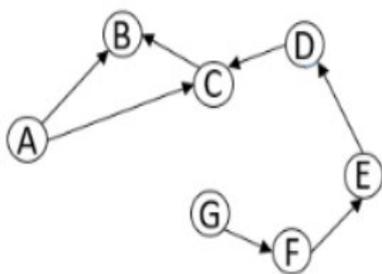
$$k_i(A) = k_A = 1$$

$$k_i(B) = k_B = 4$$

Figura 31. Grado de centralidad

3.3.7.2. Grado de centralidad de entrada.

Es el total de arcos (o relaciones) referidas por los demás nodos, hacia un determinado nodo, también definido como grado de entrada de un vértice, de acuerdo al número de líneas que poseen a ese como nodo terminal como muestra la figura 32.



- $k_i^{in}(C) = k_C = 2$
- $k_i^{in}(E) = k_E = 1$

Figura 32. Grado de centralidad de entrada

Matemáticamente se expresa como:

$$Cen_i^{in} = \sum_{j=1}^N A_{ij}$$

En un grafo simple dirigido $k_{-in\ i} \in [0; N - 1]$, siendo N el número de nodos de la componente conexas.

3.3.7.3. Grado de centralidad de salida.

Abarca los arcos referenciados por un determinado nodo con los demás nodos del grafo, es la suma de relaciones que los nodos tienen con el resto y definido como el grado de salida de un vértice es el número de líneas que lo poseen como nodo inicial, como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Grado de centralidad de salida

Matemáticamente se expresa como:

$$Cen_i^{out} = \sum_{j=1}^N A_{ji}$$

En un grafo simple dirigido $k_{-out\ i} \in [0; N - 1]$, siendo N el número de nodos de la componente conexas.

3.3.7.4. Grado de centralidad de cercanía o proximidad.

El concepto de distancia se refiere a encontrar el camino más corto de conexiones de cualquier nodo. Si se divide uno por el camino más corto promedio de un nodo a todos los demás nodos del grafo, entonces se ha calculado su centralidad de cercanía. De esta forma, un nodo con un vínculo directo con todos los demás, termina con un puntaje de cercanía de uno, y no depende de ninguno para llegar a todos los otros. Por otra parte, los nodos que se conectan con la mayoría a través de muchos intermediarios obtienen puntajes de cercanía cada vez más cercanos a cero, como se muestra en la figura 34.

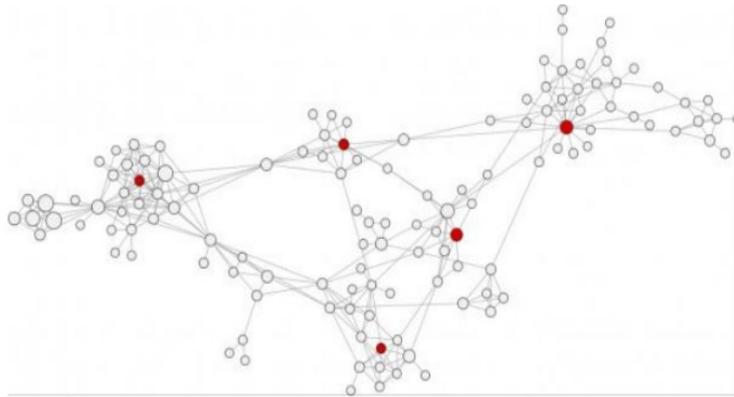


Figura 34. Grado de centralidad de cercanía

Según Freeman (Freeman, 1979), la cercanía $Cer(n_i)$ de un nodo i al grafo G es el promedio de la separación, definida como el inverso de la distancia entre ellos, de i a cada uno de los nodos del grafo. De acuerdo a Mejía (Mejía, 2010), esta medida, se calcula contando todas las distancias geodésicas de un nodo para llegar a los demás y determina el nivel de proximidad o distancia que tiene un nodo con los demás del grafo, siendo el grado de cercanía el que mide la capacidad de un nodo de llegar a todos los restantes.

Herrero (Herrero, 2000) sostiene, que los nodos con una alta cercanía a la centralidad, los que a pesar de tener pocas conexiones, sus arcos permiten llegar a todos los puntos del grafo más rápidamente que desde cualquier otro punto. Por lo que representan una excelente posición para monitorear el flujo de información de todo el grafo y tienden a ser influyentes e importantes dentro de su comunidad. En modelos sociales estos nodos son figuras públicas, que son respetados localmente y ocupan caminos cortos para la difusión de información dentro de su comunidad, y al igual que con el grado de centralidad, la cercanía también puede ser de entrada y salida.

3.3.7.5. Grado de centralidad de cercanía de entrada.

Según Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012), esta medida permite identificar, a través de las entradas, el nivel de proximidad o distancia que tiene un nodo con los demás nodos del grafo, además representa la percepción que tienen los nodos internos del grafo de los procesos y la tendencia a agruparse (condiciones gregarias) que se presentan, es decir, que tanta relación hay entre los nodos del grafo.

3.3.7.6. Grado de centralidad de cercanía de salida.

Siguiendo a Madariaga y Ávila-Toscano, esta es la medida que permite identificar a través de las salidas el nivel de proximidad o distancia que tiene un nodo con los demás nodos del grafo, además representan y hace referencia a las percepciones que tienen los nodos dentro de él, acerca de las relaciones sostenidas con los demás nodos, en síntesis, define que tan cercano percibe a los demás nodos cada nodo del grafo.

3.7.7. Grado de centralidad de lejanía.

Mide la incapacidad de un nodo de acceder al resto de nodos del grafo, que viene a ser lo opuesto al grado de centralidad de cercanía. Para calcularlo se suma en primer lugar todos los geodésicos que unen un nodo con el resto, lo que expresa el número de pasos necesarios para alcanzar a los restantes nodos (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012). Este cálculo, solo suele realizarse en casos muy puntuales, puesto que las medidas que prevalecen son la de cercanía.

3.7.8. Grado de centralidad de intermediación.

Se obtiene al contar las veces en que un nodo aparece en los caminos que conectan todos los pares de nodos del grafo, también se los llama nodos puentes, para lo cual considera todos los posibles caminos o rutas más cortas entre todos los pares posibles. Cabe remarcar que para que un nodo tenga grado de intermediación en un grafo, por lo menos debe tener un grado de entrada y de salida, por lo tanto, para calcular la centralidad de la intermediación, se comienza por encontrar todos los caminos geodésicos entre dos nodos en el grafo y luego cuenta el número de estas rutas más cortas que atraviesan cada nodo. El resultado de este cálculo permite encontrar a los nodos que son conductos necesarios para la información que debe atravesar partes dispares del grafo. Por lo general, estos son nodos diferentes de aquellos con una mayor cercanía., puesto que los nodos de alta interdependencia generalmente no tienen un camino promedio más corto para todos los demás, pero tienen la mayor cantidad de caminos más cortos que deben pasar por ellos.

En una modelización de una organización se suele encontrar nodos de alta interdependencia en las intersecciones de las comunidades de grafos más densamente conectados, como se muestra en la figura 34, que actúa como puentes entre los clústeres del grafo. Estos nodos están bien posicionados para realizar funciones de conexiones en estos clúster en el sentido de que conectan nodos que de otro modo estarían desconectadas y que aún pueden beneficiarse de un intercambio de información.

De acuerdo a Hanneman y Riddle (Hanneman y Riddle, 2005), la ubicación de los nodos en relación a que tanto un punto actúa de intermediario con otro en el grafo, se desprende dos tipos de centralidad de intermediación:

- La basada en la frecuencia en la que un nodo aparece en camino entre dos nodos, es decir, las veces en que se presenta entre un nodo con trayectoria mínima,
- La basada en la importancia que tiene una arista con respecto a una trayectoria mínima, es decir, las veces en que un enlace se presenta en medio de una trayectoria mínima.

Según Hawe (Hawe et al., 2004), se trata de una medida que facilita las posibilidades de control pues identifica cómo un nodo que tiene alto contenido de intermediario regula el flujo de los contenidos y recursos que se conectan entre uno y otro nodo. Madariaga y Ávila-Toscano (Madariaga y Ávila-Toscano, 2012) señalan que existen grafos que por su tendencia al cierre y la facilidad de los contactos entre nodos no cuenta con indicador de intermediación, en este caso todos los nodos tienen posibilidades de acceder a todos los contactos lo que hace que la medida de intermediación sea igual a cero, en la que además no se identifican subgrupos. La figura 35 muestra cómo sería este tipo de grafos.

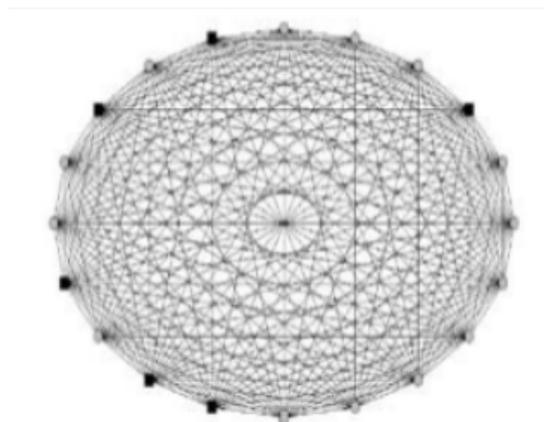


Figura 35. Grafo sin indicador de intermediación

Un nodo con alta intermediación tiene una gran influencia en los desplazamientos de otros nodos a través del grafo, asumiendo que cada nodo se desplaza siguiendo los caminos más cortos. Freeman (Freeman, 1978) señala que un nodo con un alto grado de intermediación, suele llamarse intermediador broker, puesto que si se quita del grafo este se divide en componentes. En modelos organizacionales los intermediarios a menudo son fundamentales para la colaboración entre departamentos y para mantener la difusión dentro de la organización, debido a su ubicación entre

las comunidades del grafo, ya que son agentes naturales de información y colaboración(Herrero, 2000).

3.3.7.9. Grado de centralidad del auto-vector.

Martinez y Sanabria (Martinez y Sanabria, 2008) proponen, que otra forma de pensar la centralidad, es mediante los auto-vectores, estos vectores son un segmento de línea que con dirección y sentido que representan una magnitud física definida en un sistema de referencia que se caracteriza por tener longitud, dirección y orientación. Aunque, en general, la imagen de un vector bajo una transformación de un espacio vectorial en sí mismo no es un vector paralelo al vector inicial, existen vectores especiales para los cuales la acción de la transformación es sencilla, ya que el vector y su imagen tienen la misma dirección, estos vectores especiales se denominan auto-vectores y permiten un análisis sencillo de la transformación puesto que en la dirección de ellos, la transformación solo encoge o dilata los vectores.

García y Domínguez (García y Domínguez, 2012) definen a los auto-vectores como los vectores no nulos que, cuando son transformados por un operador, dan lugar a un múltiplo escalar λ de sí mismos, con lo que no cambian su dirección. Un auto-espacio está asociado al valor propio λ es el conjunto de auto-vectores con un auto-valor común.

El valor de la centralidad de los auto-vectores corresponden al valor que se obtiene para los nodos si se comienza construyendo las conexiones por pares entre todos los nodos de un grafo asignando un uno para conectado, y cero para no conectado. Luego se asigna un solo número a cada nodo mientras se intenta mantener las distancias entre estos nuevos valores iguales a las distancias observadas en la matriz de conexiones. Esto no puede expresarse en un único valor numérico por nodo, pero se puede representar un conjunto de conexiones o distancias asignando tantos vectores, como cadenas de números exista para cada nodo.

Gaete y Vásquez (Gaete y Vásquez, 2008) señalan que en la medida en que un nodo relevante está conectado con otro modo relevante, se puede determinar cuán bien conectado está este nodo con las partes del grafo, como muestra la figura 36. Los nodos con valores altos en sus auto-vectores tienen un mayor número de conexiones, y a la vez sus conexiones también presentan un mayor número de conexiones, y así sucesivamente.

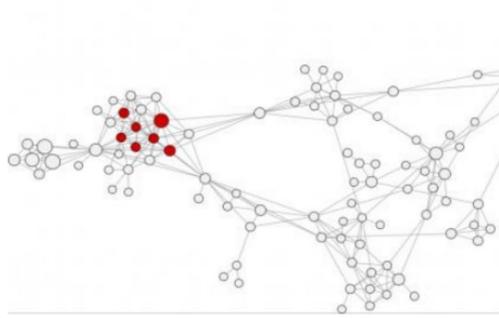


Figura 36. Grafo con conexiones relevantes

En modelos organizacionales, los nodos con alta centralidad de auto-vectores son líderes y a menudo son figuras destacadas con alto nivel de conexiones con otros nodos de alto perfil y a menudo desempeñan papeles de líderes de opinión y forman la opinión pública.

Ruhnau (Ruhnau, 2000) señala que esta medida de influencia, asigna valores relativos a todos los nodos del grafo basándose el concepto de que las conexiones a los nodos de alta puntuación contribuyen más a la puntuación del nodo. Sin embargo, los nodos con altos valores no necesariamente desempeñan las funciones de alta cercanía, ni tienen la mayor influencia local, incluso pueden tener un potencial de intermediación limitado, y a veces pueden estar aislados de nodos periféricos.

3.3.8. Centralización del grafo.

Freeman (Freeman, 1978) propone utilizar el término centralidad aplicado a todo el grafo, donde un grafo puede ser centralizado o descentralizado. Esta es una medida de posición en el grafo y determina la importancia e influencia de un nodo a nivel de todo del grafo y la relación entre todos los nodos, lo cual también puede revelar importante información sobre su estructura global. En grafos con alta centralización estos son dominados por uno o pocos nodos, ahora si esos nodos son removidos, el grafo se fragmentará en subgrupos desconectados. Por otro lado, una grafo con baja centralidad no tiene un único punto de falla por lo que son más resistentes. Se considera que una centralización de grado fuerte, es una indicación de comunicación activa entre todos los nodos, mientras que una centralización de fuerte proximidad o intermediación traduce el hecho que un número pequeño de nodos controla esta comunicación.

Al igual que con la centralidad, existen tres medidas de la centralización y cada una corresponde a una de las propiedades utilizadas para definir la centralidad de los nodos del grafo: grado de centralización, grado de centralidad de cercanía y el grado de centralización de intermediación.

3.3.8.1. Grado de centralización.

Es una condición especial en la que un nodo ejerce un papel claramente central al estar conectado con todos los nodos del grafo, los cuales necesitan pasar por este para conectarse con otros. En la figura 37 se observan las tres topologías según los grafos en los que Paul Baran (Paul Baran, 1964) presentaba la estructura que debía tener ArpaNet, hoy Internet, que abrió la posibilidad de un mundo comunicado y organizado en redes sociales distribuidas.

Ugarte (Ugarte, 2007) señala que para el estudio hay diferentes tipos de centralización. El caso estrella presenta una centralización o un índice de centralización del 100%, mientras que la poligonal muestra una centralización de 0%. Este índice aplica al total del grafo.

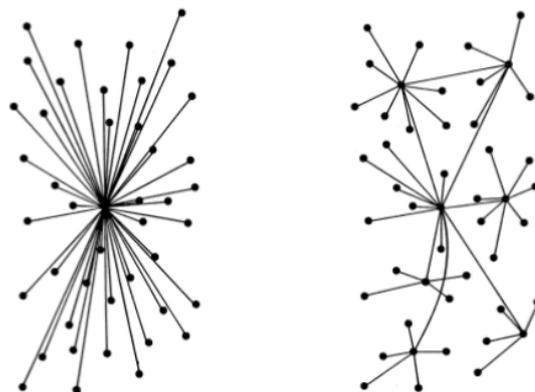


Figura 37. Estructura prevista de ArpaNet modelizada con Grafos

Dentro del análisis de centralización, existen los grados de centralización de entrada y de salida, y el uso de uno o del otro dependerá de la necesidad de resultados específicos que se requiera del análisis del grafo:

- Grado de centralización de entrada. Es la medida que permite identificar a un nodo a través de las entradas.
- Grado de centralización de salida. Es la medida que permite identificar a un nodo a través de las salidas.

3.3.8.2 Grado de centralización de cercanía.

Mide el nivel general de cercanía en un grafo.

3.3.8.3. Grado de centralización de intermediación.

Mide el nivel general de intermediación en un grafo.

3.3.9. Eficiencia del grafo.

La gran complejidad que pueden tener los grafos, que presentan un diseño particular según zonas y condicionantes específicos de los sectores a modelizar, generan cada vez más dificultades para su gestión y uso eficiente. La eficiencia es una medida que se emplea para desplazarse por el grafo, asumiendo un recorrido mínimo y constante, y se calcula como la suma de los inversos de las distancias entre todos los pares de nodos, normalizado por el número total de pares que se pueden formar, esto se calcula como:

$$Efic_G = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j}^N \frac{1}{d(i,j)}$$

Bautista (Bautista, 2018) señala que como medida de la calidad de un grafo, ha sido utilizada en el estudio de las redes neuronales, las de comunicación y transporte. Una vez establecido estos valores de accesibilidad del grafo, también es posible determinar las distancias ideales d_i y distancias reales d_r , las cuales constituyen otra alternativa para conocer la eficiencia del grafo.

3.3.10. Resumen de métricas e indicadores

Un resumen de lo visto se vuelca en la Tabla 6

Tabla 6. Métricas e indicadores para el análisis de grafos

Tamaño de un grafo.	Número de nodos.	
	Número de enlaces.	
Conexión del grafo.	Accesibilidad.	Nodos Inconexos
		Conexo Integrado
	Cohesión.	
	Distancia.	Distancia entre dos nodos
		Distancia geodésica
		Distancia promedio o ruta media más corta
Diámetro.		
Densidad		
Núcleos del grafo.	Grafo del Ego.	
	Lazos fuertes.	
	Lazos débiles.	
	Vecinos cercanos.	
	Jugadores periféricos.	localmente periféricos
		globalmente periféricos
Subgrupos del grafo.	Camarilla.	
	Clan, racimo o Clúster.	
	Componentes.	
Equivalencias de los nodos.	Equivalencia estructural.	
	Equivalencia regular.	
	Agujeros estructurales.	
Descomposición del grafo.	Estructura de las comunidades.	Métodos jerárquicos
		Métodos modulares
	Centros estructurales.	
	Centro absoluto.	
	Hubs conector.	
	Hubs que trascienden límites.	
	Coeficiente de agrupamiento.	
Centralidad de los nodos.	Grado de centralidad	De entrada.
		De salida
		De cercanía
		De cercanía de entrada.
		De cercanía de salida.
		Grado de centralidad de lejanía.
	Grado de intermediación.	Según la frecuencia de aparición de un nodo
		Según la importancia de una arista respecto a una trayectoria mínima
Grado de centralidad del auto-vector.		
Centralización del grafo.	Grado de centralización	centralización de entrada
		centralización de salida
	Grado de centralización de cercanía.	
Grado de centralización de intermediación.		
Eficiencia del grafo.		

4.- Validación del uso de grafos para evaluar la estructura organizacional de las empresas. El caso del clúster económico de Bahía Blanca

La validación de métodos de la utilización de grafos como modelo conceptual para el análisis de las estructuras organizacionales (EO) requiere la aplicación de un trabajo sistemático. Para ello se tomaron datos de una encuesta realizada sobre empresas del clúster económico de Bahía Blanca realizada en el marco de las tareas del proyecto de investigación PID UTN 5833. Con estos datos se buscó el modelo más simple que pudiera aplicarse, siendo este el digrafo, que resulta representativo de gran parte del sector de micro empresas, Se plateo entonces, una función de beneficio como parámetro de evaluación y se contrastó los resultados que arrojaron los modelos teóricos con los resultados de las encuestas.

4.1. Introducción

El incremento del rendimiento de una organización es el objetivo fundamental que se persigue y que se puede definir simplemente como el desempeño de la empresa en comparación con sus metas y objetivos. En un principio el desempeño se media según criterios financieros, y si bien son prácticos y útiles, según Wu y Liu (Wu y Liu, 2010) las mediciones financieras clásicas no pueden crear ventajas dentro de un entorno competitivo intenso. Al evolucionar los conceptos de estructuras organizacionales se volvió necesario disponer de nuevas formas de medición para decisiones adecuadas y evaluar el desempeño de una empresa. La información financiera y no financiera se utilizaron en conjunto y proporcionó un valor agregado al análisis. La información no financiera refleja el capital intelectual y el nivel de conocimiento organizacional.

Entre estos nuevos conceptos de medición y modelos de desempeño organizacional se puede mencionar el EVA (Valor Económico Agregado), MVA (Valor Agregado de Mercado), conceptos de medición integral como BSC (Balance Score Card), la perspectiva del cliente, la perspectiva del proceso interno, el aprendizaje y la perspectiva de crecimiento: así como recursos humanos, producción, satisfacción de las partes interesadas, estrategia y alineación de procesos, desempeño operativo, creación de valor, visión corporativa, crecimiento organizacional, ventaja competitiva, etc.

Para ordenar estos métodos se realizó una revisión de la literatura donde se identificó siete medidas de desempeño donde se utilizaron diferentes indicadores de rendimiento. Estos son:

- Rendimiento financiero
- Rendimiento de la innovación
- Desempeño de crecimiento
- Desempeño operacional
- Ventaja competitiva
- Creación de valor
- Mediciones de desempeño general e integral

En particular, este trabajo se centra en una forma alternativa de evaluar el rendimiento de una estructura organizacional como variable de una medición de desempeño financiero frente a eventos externos, cualquiera sea su naturaleza, lo que le permite incorporarse en algunas de estas categorías mencionadas. Se considera que la estructura organizacional de una empresa influye en el comportamiento de ellas, fundamentalmente mediante dos aspectos: en el rendimiento, pues influye en la rentabilidad, la velocidad de ejecución de tareas o en la adaptación a las innovaciones, ese comportamiento, afecta las métricas administrativas y la intensidad de la vocación competitiva; en segundo lugar, la estructura de una empresa afecta a las personas y/o sus unidades operativas de la organización. Además, la estructura de la empresa condiciona cambios en el entorno económico o social, produciendo ajustes en las formas de comunicación interna y la intensidad de los vínculos de una empresa.

Podemos poner como ejemplo, a una organización que ha funcionado en un mercado estable y debe hacer frente a una innovación disruptiva que afecta su estructura de costos, afectado los precios de sus insumos o productos. La respuesta de la organización puede separarse en dos partes:

- La respuesta inmediata de la empresa al cambio externo
- La respuesta final luego de la reorganización de la empresa.

Esta separación se justifica ya que cambios en el entorno operativo producen reajustes estructurales, como señalan Brynjolfsson y Hitt (Brynjolfsson y Hitt, 1996), quienes demostraron que las ganancias de productividad de la introducción de TICs no se podían efectivizar hasta que la estructura de las empresas se adaptase para aprovechar las nuevas tecnologías. Estos cambios de la estructura

organizacional se pueden representar utilizando grafos. Esta aproximación fue desarrollada en disciplinas vinculadas a la sociología, la administración científica y algunos enfoques de la economía.

En el campo de la sociología Wasserman y Faust (Wasserman y Faust, 1994) realizaron una revisión exhaustiva de la literatura sobre una clase de grafo: las redes sociológicas. En la misma disciplina Valente (Valente, 1995) analizó mediante grafos a las estructuras sociales, a partir de como los modelos de redes de relaciones sociales influyen en la difusión de productos e ideas. Huberman y Hogg (Huberman y Hogg, 1995) investigaron el surgimiento y la evolución temporal de las redes informales de colaboración. Carley (Carley, 1991) estudió como influye en la estabilidad de los grupos la estructura de los mismos. Reichman y otros (Reichman et al., 1999) utilizó estos grafos de redes para analizar las características estructurales de las organizaciones participes del proceso global de la eliminación de la producción y el consumo de sustancias que afectan la capa de ozono.

El desarrollo de grafos como modelos de redes se ha utilizado también en Economía. Radner (Radner, 1992) (Radner, 1993) estudió cómo se afecta la capacidad de una organización para realizar una tarea asociativa en función de la estructura y la capacidad de procesar información. Avances son de estas ideas se realizaron por parte de Van Zandt y Radner (Van Zandt y Radner, 1996), Van Zandt (Van Zandt, 1996a), (Van Zandt, 1997), (Van Zandt, 1998), y Meagher y Van Zandt (1997). Otros comportamientos económicos fueron modeladas por Page (Page, 1996), Miller (Miller, 1996), DeCanio y Watkins (DeCanio y Watkins, 1998) y DeCanio (DeCanio et al., 2000), Grandori (Grandori, 1991) y Kennedy (Kennedy, 1994), También se estudió problemas de diseño organizacional óptimo para casos en los que los óptimos se determina en forma analítica, como lo hicieron Marschak y Reichelstein (Marschak y Reichelstein, 1998) y Gersbach y Wehrspohn (Gersbach y Wehrspohn, 1998)

En la teoría de la organización y la ciencia de la gestión, los modelos de grafos basados en redes se vinculan con la sociología y la economía, manteniendo características distintivas propias. Distintas revisiones señalan a como antecedente remoto a Graicunas (Graicunas, 1933), quien analizó el alcance del control gerencial sobre su organización. Modelos posteriores apuntan al procesamiento computacional y la representación algorítmica de rutinas en la toma de decisiones, como ejemplo puede tomarse los trabajos de Carley y Prietula (Carley y Prietula, 1994), Krackhardt (Krackhardt, 1994), Lant (Lant, 1994) y Levitt (Levitt et al. 1994); también Lin y Carley (1994), Mihavics y Ouksel (1996), Levinthal (1997) y Carley y Lee (1998). Otros autores citan el uso de sistemas informatizados para modelizar estructuras organizacionales, como Burton y Obel (Burton y Obel. 1995).

La propuesta de este trabajo es lograr que el modelo abarque valores de mediciones económicas de rendimiento y estructura organizacional. Definimos como rendimiento el valor presente neto que realiza una organización al adoptar una innovación, los costos se calculan en forma explícita. Se usaremos otras medidas económicas en las sub unidades de la empresa, como desigualdades de ingresos derivadas de reglas alternativas de compensación. Esta orientación económica del estudio utilizando los modelos de gestión computacional no desdibujan el enfoque hacia la estructura organizacional y su desempeño.

En los siguientes apartados desarrollaremos un modelo simple de grafos en red para modelizar las comunicaciones internas de una empresa y como se vincula a la contribución de la rentabilidad ante una innovación. Analizamos estos modelos para pequeñas organizaciones y algunos casos particulares. Los resultados hacen referencia al desempeño general de la organización y a las características de sus componentes. Por último se realizarán comparaciones con los datos de una encuesta en el clúster económico de Bahía Blanca y se verá que implicaciones tienen en términos del uso de grafos para explicar la respuesta de las empresas frente a cambios externos.

4.2.- Formulación analítica del Modelo de Grafos en red

Se supone que las relaciones entre componentes o miembros de una organización pueden representarse por un nodo componente de un grafo G que representa toda la organización, entonces el conjunto de todas las relaciones entre los miembros o componentes de una organización se convierte en un modelo de su estructura organizacional. Como se propuso antes estas relaciones no son invariantes sino que antes cambios externos reaccionan de alguna manera en el corto plazo hasta adaptarse a los cambios en el largo plazo. Podemos plantear una respuesta transitoria u otra estacionaria.

Utilizando como parámetro descriptor del comportamiento de la organización (o empresa, se usará en forma indistinta ambas denominaciones) a la capacidad de aprovechar los cambios para generar beneficios, podemos suponer que en un estado inicial de la organización esta alcanzó un nivel de beneficios óptimo para su estructura organizacional y los componentes externos a ella. Si formalizamos esta relación podríamos decir que el nivel de beneficios B es función de los estímulos externos Ex y la estructura G . Se obtiene:

$$B = C(Ex, G) \tag{1}$$

Ya que G es un grafo de N nodos el orden de G es NxN y Ex es un vector de orden N, el que podemos suponer que solo tiene un componente no nulo, para simplificar el análisis. Si ahora se produce un cambio en la variable externa ΔEx , el cambio en B será:

$$\frac{\Delta B}{\Delta Ex} = C1(Ex, G) + C2(Ex, G) \frac{\Delta G}{\Delta Ex} \quad (2)$$

Dado que no se puede aplicar la derivada parcial a C al no ser una función de variables continuas, la función C1 representa el efecto del cambio en B por efecto de Ex y C2 representa el cambio por efecto de la adaptación de la estructura organizacional G por efecto del cambio en Ex ($\Delta G/\Delta Ex$). Se ha utilizado esta forma de análisis en trabajos realizados por DeCanio and Watkins (DeCanio and Watkins, 1998) para analizar la difusión de la innovación sobre una base de variables estocásticas. La alternativa presentada permite un manejo conceptual más directo con representaciones gráficas y la utilización de cálculos y algoritmos más sencillos.

Dado que la función beneficio se obtiene como el incremento del ingreso por la adaptación al cambio externo, menos los costos de la adaptación de la estructura organizacional; así C1 representaría el beneficio obtenido luego de adaptarse a los cambios y C2 los costos asociados a los cambios organizacionales.

Para expresar los ingresos podemos suponer que el ingreso generado por un componente o miembro de la organización identificado con el Nodo i luego de un tiempo T_i , es A_i y si otro Nodo j vinculado al Nodo i accede adoptan el cambio generando también un ingreso A_j en un tiempo T_j , podemos suponer que los nodos vinculados de alguna manera se adaptaran al cambio con una velocidad media de r, generando un ingreso:

$$I(m) = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{(1+r)^{T_i}} \quad (3)$$

Aquí m designa el nodo origen a partir del cual se produce los cambios, si algún Nodo h no se puede adaptar al cambio su T_h tenderá a infinito y su contribución al ingreso será 0.

El costo de la adaptación para cada miembro o componente de la organización se supone invariante y dependiente de a cuantos otros componentes transmiten la adaptación al cambio (que es el grado de salida del Nodo que lo representa O_i), en este caso también se propaga con la misma tasa r que para los ingresos, pero la propagación continúa indefinidamente, de modo que designado con G la unidad de costo se tendría para el Nodo i:

$$G_i = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{g^{o_i}}{(1+r)^j} \quad (4)$$

Simplificando

$$G_i = \frac{g_i^{o_i}}{r} \quad (5)$$

El costo total se obtiene considerando lo N Nodos del grafo, se obtiene:

$$B(m) = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{(1+r)^{T_i}} + \sum_{i=1}^N \frac{g_i^{o_i}}{r} \quad (6)$$

Esta fórmula permitiría calcular mediante un algoritmo computacional estimar el beneficio que obtiene una organización por la adaptación a un cambio externo iniciado a partir de la adaptación el Nodo m, ya sea este beneficioso ($B > 0$) o perjudicial ($B < 0$). Pude generalizarse tomando el promedio de los distintos beneficios que se producirían iniciando desde los distintos Nodos.

$$B = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B(k) \quad (7)$$

Como puede apreciarse en la ecuación (7) utilizando las suposiciones sobre la uniformidad de los ingresos $A_i=A_j=A$ y de los gastos $g_i=g_j=g$ y compartiendo la premisa que las velocidades de generación de ingresos y costos son constantes e iguales a r . Obtenemos resultados similares a los planteados por DeCanio (DeCanio et al. 2000).

4.3.- Relevamiento de Estructuras Organizacionales en el Clúster de Bahía Blanca

En el clúster económico de la ciudad de Bahía Blanca se evaluaron un conjunto de 300 empresas donde partió del organigrama de la empresa para formular una primera aproximación de un modelo de grafos de las estructuras organizacionales. El primer problema encontrado fue que una gran cantidad de empresas no tenían formalizado su organigrama, razón por la cual se procedió a hacer una evaluación aproximándola a estructuras organizacionales clásicas. El porcentaje de empresas que no disponían de un organigrama formalizado se puede ver en el siguiente gráfico:

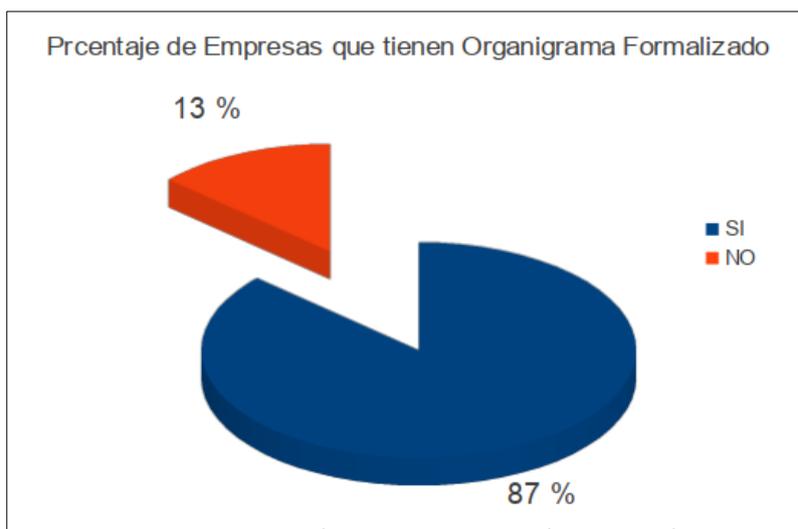


Gráfico 1. Empresas sin organigrama formalizado

La distribución de los tipos de estructura funcional elaborada a partir de la normalización de sus organigramas puede verse en el siguiente gráfico:

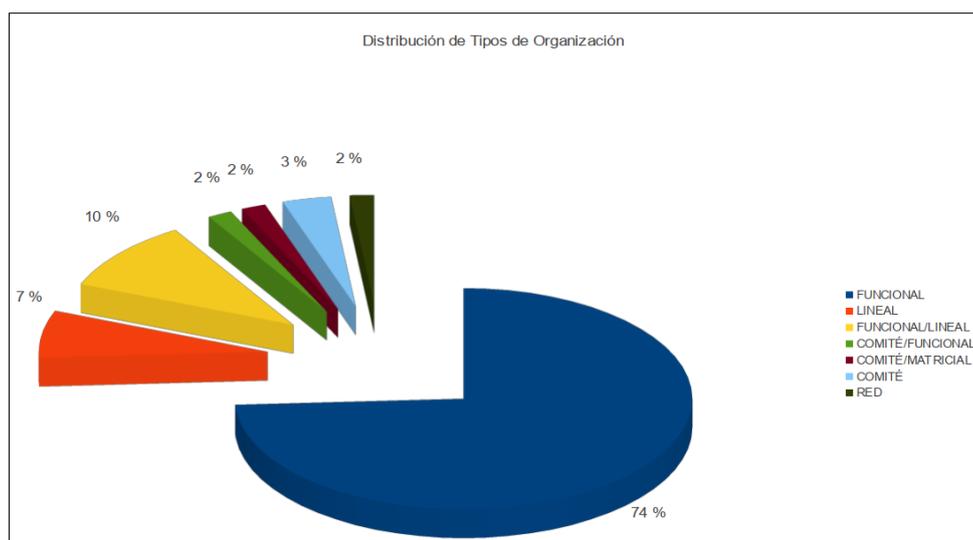


Gráfico 2. Distribución las distintas EO en las Empresas

Se aprecia que la mayoría adopta un organigrama funcional, la mayoría de las cuales pertenecen a pequeñas empresas o micro empresas, donde la estructura solo tiene 2 o 3 niveles jerárquicos. A medida que aumenta el tamaño de las empresas sus estructuras resultan más complejas. Pero dado la cantidad de micro empresas con escasos niveles organizacionales en el clúster de Bahía Blanca, hará que el análisis de su forma más simple pueda contribuir a explicar los resultados de cambios externos a estas empresas, también puede ayudar a la formulación de recomendaciones sobre la organización empresarial, políticas de incentivos e instrumentos para ayuda empresarial.

4.4.- Aplicación del modelo analítico de grafos a algunas estructuras del clúster de Bahía Blanca

Algunas estructuras que se relevaron en particular en micro empresas responden a una modelización como dígrafos, algunos con poca iteración algo muy común en empresas de servicio de limpieza, algunas con una vinculación unidireccional fuerte entre los titulares de la empresa y los empleados, como ocurre en empresas de reparaciones mecánicas. Por último en micro empresas de servicios financieros se verificó que el dígrafo tenía una vinculación bidireccional bastante equilibrada. Esto puede apreciarse en el siguiente gráfico:

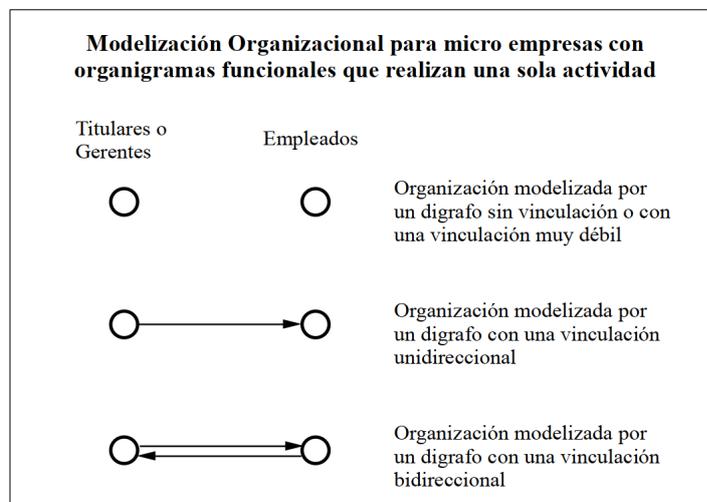


Gráfico 3. Modelización de las EO en micro empresas

Analizaremos los tres casos en función del beneficio que puede lograr cada una de estas organizaciones ante un evento externo, para ello asumiremos que $A_1=A_2=A$, y que $g_1=g_2=g$ lo cual podría responder a casos de empresas donde los titulares y empleados poseen niveles de conocimientos similares y cuya capacidad de adaptación e cambios es similar, ya sea esta buena o deficiente.

En el primer caso aplicando la ecuación (7) obtenemos:

$$B_{2I} = \frac{A}{(1+r)} - \frac{2}{r} \quad (8)$$

Aquí el subíndice 2I indica que es un grafo de 2 componentes correspondiente al caso I, en este caso no importa donde inició el cambio ya que en virtud de la no vinculación y la suposición sobre los ingresos y costos iguales para cada componente. Para el caso II donde la vinculación del dígrafo es unidireccional obtenemos:

$$B_{2II} = \frac{A}{\left[\frac{1}{1+r} + \frac{1}{(1+r)^2} \right]} - \frac{g+1}{r} \quad (9)$$

En este caso la ecuación (9) representa el promedio de los beneficios obtenidos al iniciar el cambio en cada uno de los nodos. Para el caso de una adecuada vinculación bidireccional, se obtiene:

$$B_{2III} = \frac{A}{\left[\frac{1}{1+r} + \frac{1}{(1+r)^2} \right]} - \frac{2g}{r} \quad (10)$$

En el primer caso si la velocidad de adaptación es rápida $r \ll 1$ el beneficio dependerá de la relación entre el costo de adaptación y el incremento del ingreso. Esto se pudo verificar en caso de adopción de nuevas y mejores herramientas de trabajo con R pequeño, costo bajo y alto rendimiento de la adopción de nueva tecnología el beneficio fue considerable en empresas de servicios de limpieza que incorporaron nuevas herramientas. En casos donde la tecnología fue de difícil incorporación aumentando r el beneficio se vio disminuido.

En el segundo caso cambia según donde se inicie la adaptación al cambio, observado que de iniciar a partir de los titulares el beneficio es menor que cuando se inicia por parte de los empleados, esto se verificó en la adopción de nuevas herramientas de trabajo pues el costo se asocia a la transmisión de la capacidad de uso de dicha herramienta a los trabajadores, si estos ya adoptan inicialmente este costo no existe. Aquí en la adaptación lenta a los cambios el beneficio dependerá mayoritariamente de la relación entre los ingresos A y los costos g .

Para el tercer caso tenemos una dependencia directa del beneficio con la relación entre ingresos y gastos, pero la relación inversa con el tiempo de adaptación no es tan importante. En las empresas encuestadas esto se puso de manifiesto en el uso de Tics, donde la adaptación fue lenta, pero los beneficios se manifestaron ya que los ingresos eran mayores que los costos de adaptación.

Para establecer una comparación entre estos tres casos se realizó una simulación de los posibles beneficios tomando las 3 variables y variando cada una de ellas cada vez. La primera simulación con r variable y tomando $A=g=1$, que representaría un cambio externo que obliga a adaptarse a la organización, pero que no genera ni ingresos o gastos significativos, como sería el caso de la adaptación a alguna nueva normativa de funcionamiento de la empresa. En este caso se muestra la relación inversa del beneficio con la velocidad de adaptación independientemente de la estructura organizacional.

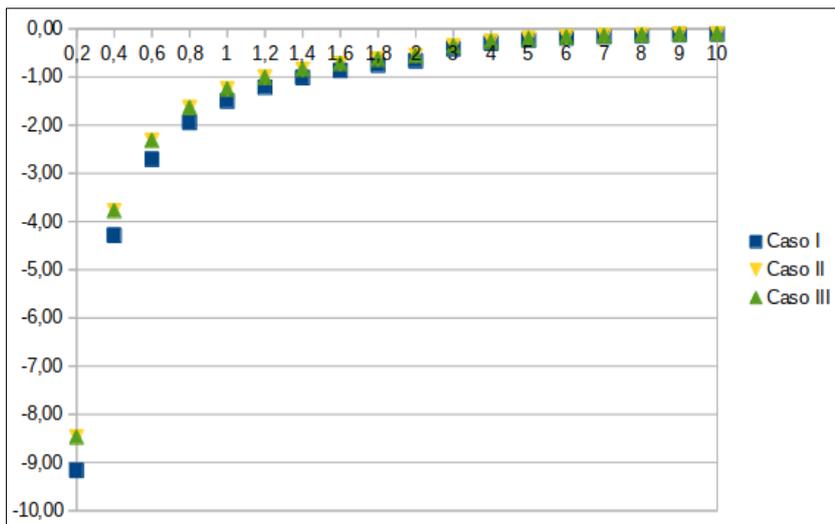


Gráfico 4. Beneficios para r variable y $A=g=1$ en las distintas EO

Si ahora simulamos un escenario donde los ingresos superen a los gastos de adaptación, con $A=10$ y $g=1$, como sería la incorporación de una nueva herramienta que aumentara la producción; así obtenemos los siguientes resultados:

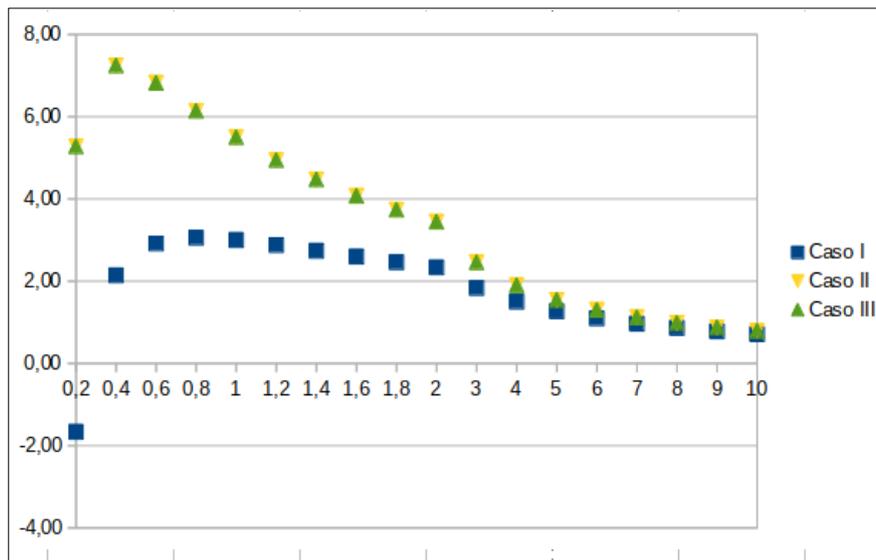


Gráfico 5. Beneficios para r variable y $A > g$ en las distintas EO

En este caso la estructura con vínculos obtiene beneficios superiores para bajas velocidades de adaptación, no siendo diferente si la vinculación es unidireccional o bidireccional. También se aprecia que para velocidades de adaptación más grandes no hay diferencia entre el beneficio producido en las distintas estructuras organizacionales. El restante caso sería con un gasto mayor que el ingreso, algo que ocurre con la introducción de regulaciones sobre la producción. Para ello

tomamos $g=10$ y $A=1$, y se obtiene como resultado que el impacto del cambio es mejor a medida que la intensidad de los vínculos es menor, como se aprecia en el gráfico:

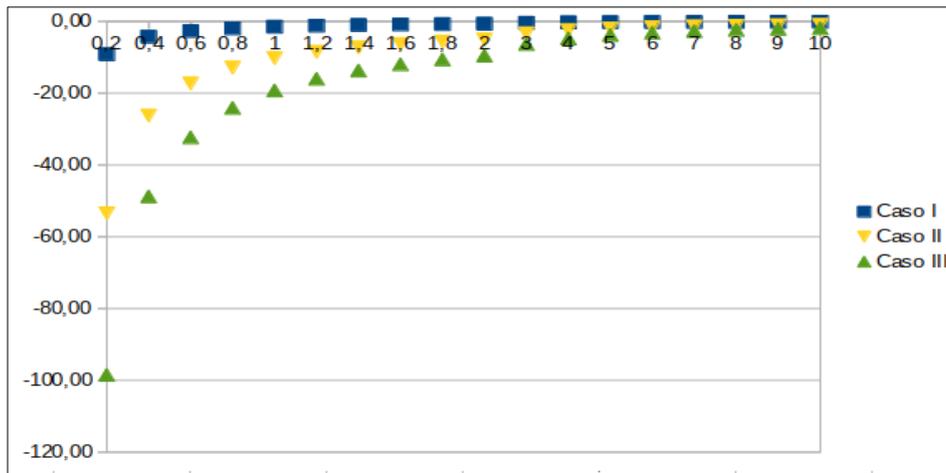


Gráfico 6. Beneficios para r variable y $A < g$ en las distintas EO

Como resumen de las simulaciones que analizan la velocidad de adaptación de los componentes de la estructura organizacional, se puede decir que el beneficio que aporta la estructura organizacional dependerá en buena medida de la relación entre ingreso de la adopción y el costo de la misma. En caso de ser esta relación favorable una estructura bien vinculada obtiene más beneficios a la inversa de lo que ocurre con una relación ingreso costo desfavorable.

El segundo grupo de simulaciones se realizó tomando como variable el ingreso de la adaptación (A variable) con el gasto y la velocidad de adaptación constante ($g=r=1$). Vemos que el beneficio es mayor para el caso de que exista una vinculación y es indiferente ante el tipo de vinculación, como se aprecia en el gráfico:

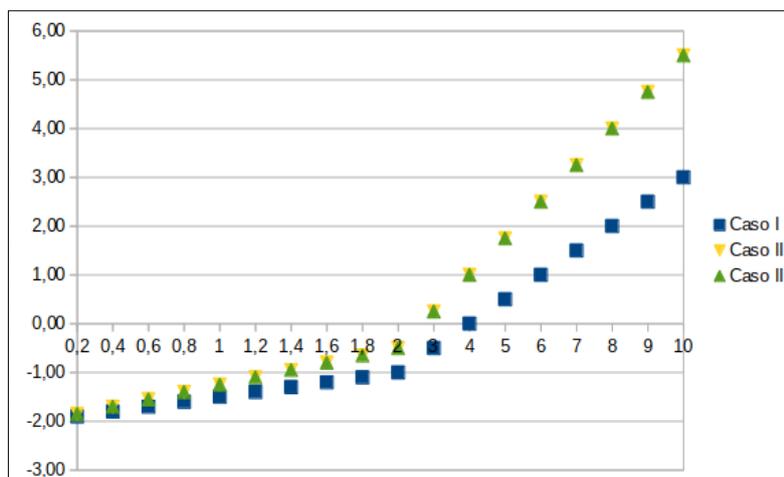


Gráfico 7. Beneficios para A variable y $r=g=1$ en las distintas EO

Si se simula un escenario donde la velocidad de adaptación sea mayor que el gasto de dicha adaptación, con $r=10$ y $g=1$, como sería el caso de adaptaciones a nuevos procesos producto de una innovación disruptiva. Los resultados obtenidos son los siguientes

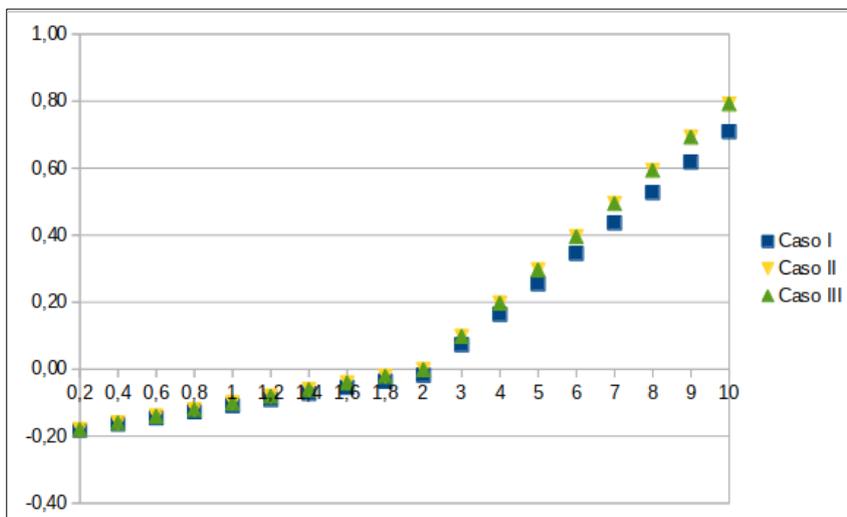


Gráfico 8. Beneficios para A variable y $r>g$ en las distintas EO

En este caso no se aprecia ningún beneficio en función de la estructura organizacional, pero surge de ambos casos que un beneficio neto se obtiene cuando el ingreso es el doble que el gasto. Al invertir la relación entre la velocidad de adaptación y el gasto se obtiene.

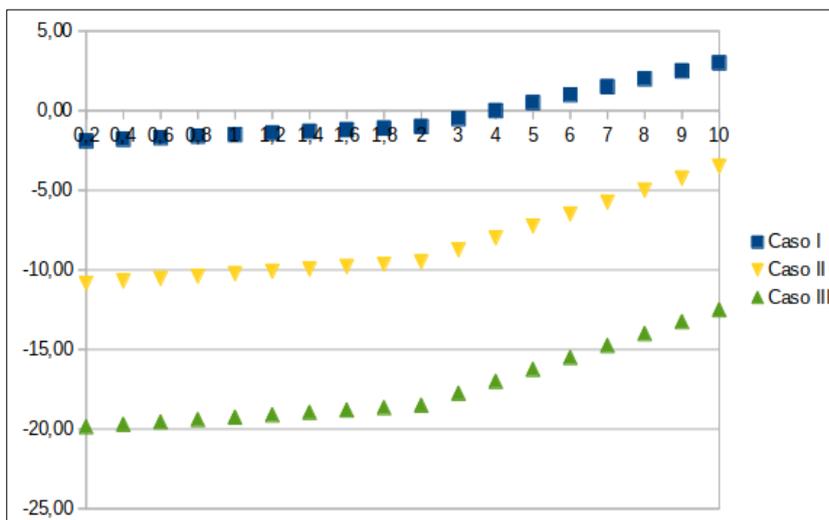


Gráfico 9. Beneficios para A variable y $r<g$ en las distintas EO

Aquí claramente el beneficio que se obtiene tiene una relación inversa con la vinculación de la estructura organizacional, esto se asocia con cambios de difícil adaptación por parte de los miembros de una organización, lo que puede asociarse a falta de preparación para adaptarse a una nueva tecnología.

El tercer grupo de simulaciones se realizó considerando al gasto de adaptación g como variable, manteniendo el ingreso y la velocidad de adaptación constantes ($A=r=1$). Se obtuvo el gráfico:

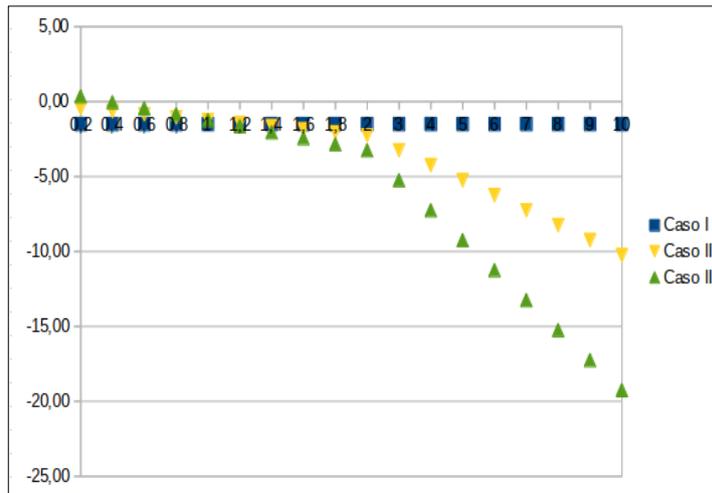


Gráfico 10. Beneficios para g variable y $A=r=1$ en las distintas EO

Como era esperable, para valores pequeños de la relación ingreso costo la estructura organizacional no influye en el beneficio obtenido, pero a medida que el costo aumenta las estructuras menos vinculadas obtienen mejores beneficios. Los resultados obtenidos cuando el ingreso es significativo y no varía la velocidad de adaptación ($A=10$ y $r=1$) se muestran en el gráfico:

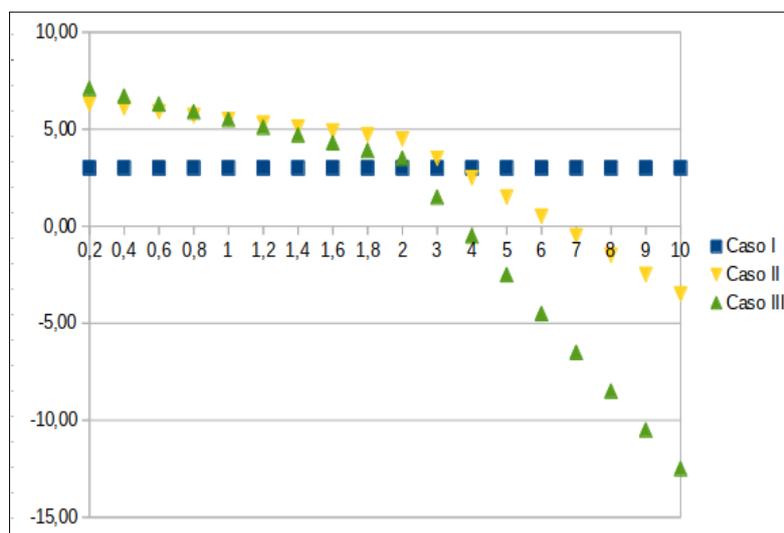


Gráfico 11. Beneficios para g variable y $A>r$ en las distintas EO

Se observa que cuando el ingreso es significativo frente al gasto las estructuras vinculadas obtienen más beneficios, pero cuando esta relación se invierte y estas son las que obtienen menos beneficios. Si la velocidad de adaptación se aumenta sin aumentar el ingreso ($r=10$ y $A=1$) se obtiene el grafico:

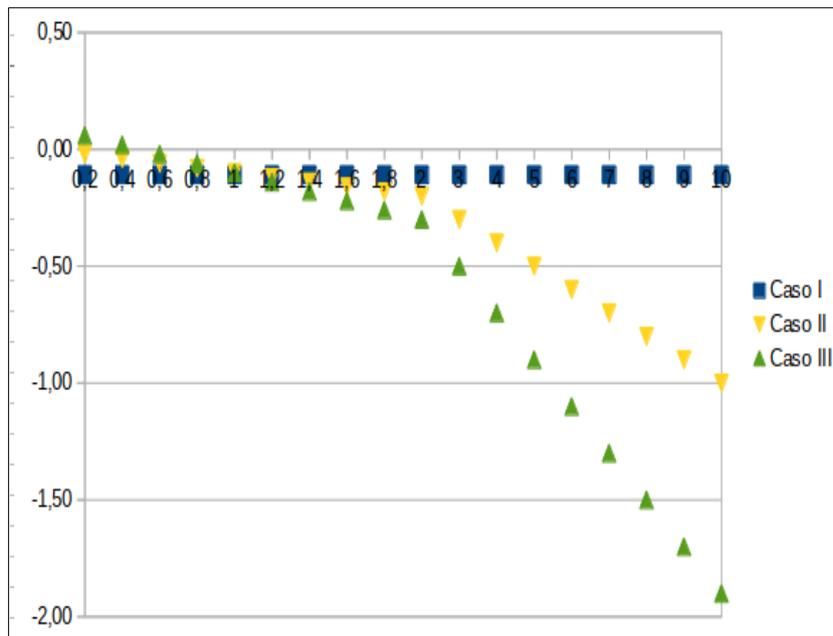


Gráfico 12. Beneficios para g variable y $A < r$ en las distintas EO

Igual que en el caso anterior, ante bajas velocidades de adaptación se ven favorecidas las estructuras más vinculadas aunque no significativamente, pero a medida que la velocidad de adaptación aumenta se invierte la relación y las menos vinculadas obtienen mejores beneficios.

4.5.- Análisis de los resultados obtenidos

Una síntesis de las simulaciones realizadas y sus correspondientes correlaciones con casos registrados en las encuestas se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados de Beneficios teóricos para las distintas EO y la evidencia de las encuestas

Características del Beneficio en función de la EO	Variable r				Variable A			Variable g		
	A = g = 1	A > g	A < g	g = r = 1	r > g	r < g	A = r = 1	A > r	A < r	
	Beneficio independiente de la EO	Depende directamente de los vínculos	Depende inversamente de los vínculos	Depende poco de los vínculos solo si A aumenta	Beneficio independiente de la EO	Depende inversamente de los vínculos	Dependencia inversa de los vínculos solo si g aumenta	Dependencia inversa de los vínculos solo si g aumenta	Dependencia inversa de los vínculos solo si g aumenta	
Mejor EO en el caso	Tipo I	Tipo II o III	Tipo III	Tipo III	Indistinto	Tipo I	Tipo I	Tipo II	Tipo I	
Dígrafo sin vinculación entre nodos	Modelo simulado	Respuesta sigmoidea respecto a r	Nulo y con poca variación	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal con el aumento de A	Casi nulo y sin variación	Valor pequeño positivo y sin variación	Casi nulo y sin variación	
	Casos Reales	Hay evidencia pero poca	Hay evidencia suficiente	Escasa evidencia	Escasa evidencia	Hay evidencia suficiente	Escasa evidencia	Hay evidencia pero poca	Escasa evidencia	
Dígrafo con vínculo unidireccional	Modelo simulado	El beneficio disminuye con r	Negativo decreciente con r	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal con el aumento de A	Relación lineal que aumenta más si aumenta g	Inicia positivo y decrece a negativo con r	Relación lineal que aumenta más si aumenta g	
	Casos Reales	Hay evidencia pero poca	Hay evidencia suficiente	Escasa evidencia	Escasa evidencia	Escasa evidencia	Hay evidencia suficiente	Hay evidencia pero poca	Hay evidencia suficiente	
Dígrafo con vínculo bidireccional	Modelo simulado	El beneficio disminuye con r	Negativo decreciente con r	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal que aumenta más si aumenta A	Relación lineal con el aumento de A	Relación lineal que aumenta más si aumenta g	Inicia positivo y decrece a negativo con r	Relación lineal que aumenta más si aumenta g	
	Casos Reales	Hay evidencia	Hay evidencia suficiente	Escasa evidencia	Escasa evidencia	Hay evidencia suficiente	Hay evidencia suficiente	Hay evidencia pero poca	Hay evidencia suficiente	
Obs.		A menor r mayores beneficios	Solo hay menos pérdidas al aumentar r	Relación lineal, A > 2	Relación lineal, A > 2	En este caso las diferencias son muy marcadas	Perdidas en forma lineal, se inicia con g > 2	Decrece en linealmente, para g > 2	Perdidas en forma lineal, se inicia con g > 2	
		El beneficio obtenido es menor que las pérdidas								

En la tabla se resumen las distintas condiciones que se simularon para las 3 estructuras organizacionales (EO), señalando en la primera fila las características generales independiente de cada tipo de EO. En la segunda fila se selecciona que EO es con la que obtiene el mejor beneficio, o según el caso la menor pérdida (beneficio negativo). En las 3 filas siguientes se dan las características individuales de cada EO según mostró la simulación y si el comportamiento pudo ser verificado con los casos relevados en las encuestas. Esto en particular es el resultado que más imprecisiones arroja ya que no suele haber registros que corroboren los testimonios sobre casos relatados en las encuestas y esta ambigüedad lleva a no incluir casos recolectados en las entrevistas.

4.6.- Conclusiones de los resultados obtenidos.

En general pueden obtenerse como conclusión que las estructuras muy vinculadas (vínculos bidireccionales) aprovechan los cambios externos si el ingreso (A) que se produce es significativo. Cuando el gasto o el tiempo de adaptación son significativos las estructuras no vinculadas (nodos aislados) son las que se adaptan con menores pérdidas. Las escasamente vinculadas (vínculos unidireccionales) solo resultan convenientes cuando los ingresos de la adaptación superan a los gastos en casos donde la velocidad de adaptación a los cambios es grande.

La comprobación de la primer conclusión surge del crecimiento experimentado por micro empresas con estructuras fuertemente vinculadas ante innovaciones disruptivas, los mismo ocurre cuando simultáneamente los costos son bajos en aquellas empresas con estructuras escasamente vinculadas, en el caso de las empresas con estructuras no vinculadas son estas las que más han sobrevivido a las frecuentes crisis económicas en la región.

El resultado de las conclusiones de este estudio puede extenderse a EO más complejas, para lo cual podría demostrarse que existen formas de simplificarlas sin que los resultados de los beneficios cambien significativamente.

En cuanto a su aplicación al clúster económico de Bahía Blanca vemos que de poder simplificar las estructuras funcionales a dos niveles, el gerencial y el operativo en una primer y amplia simplificación, se podría describir casi la mitad de las EO de las empresas del clúster.

5.- Una visión alternativa, uso de un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones

Como alternativa al uso de grafos de red se propone el análisis de un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones, lo que permitiría representar y razonar sobre todos los aspectos importantes de las organizaciones artificiales y humanas estructuradas en base a una serie de distintos puntos de vista, incluidos los aspectos relacionados con el rendimiento, el proceso, el poder y la interacción. Este marco proporcionaría medios para modelar estructuras y dinámicas organizacionales formales predefinidas, relaciones informales y comportamiento de los actores organizacionales.

El significado atribuido a los conceptos de modelado se especifica con base en la literatura de las Ciencias Sociales, que a diferencia de muchos enfoques de modelado de organizaciones existentes, el marco propuesto tiene fundamentos formales basados en la lógica de predicados ordenados que permite diferentes tipos de análisis de especificaciones organizacionales de vistas particulares y entre vistas. El marco permite la escalabilidad del modelado y análisis de organizaciones complejas, al considerarlas en diferentes niveles de agregación. Además, el marco proporciona soporte para la gestión en tiempo real de los procesos organizacionales.

5.1.- Introducción

El mundo es impensable sin organizaciones, el desarrollo científico, social y tecnológico, sumado a cambios en las condiciones ambientales, dio lugar a una gran diversidad de formas organizativas y tipos de interacción entre ellas. Por ello la complejidad estructural y de comportamiento de las organizaciones es interdependiente de la complejidad del entorno donde se insertan estas organizaciones. Un entorno complejo y dinámicamente cambiante con recursos insuficientes crea obstáculos desafiantes para lograr el cumplimiento de los objetivos elementales de cualquier organización: sobrevivir y prosperar. Para tener éxito, una organización debe organizar de manera eficaz y eficiente su estructura interna y sus actividades de modo que se logre el ajuste con el entorno.

Estos requisitos no son fáciles de cumplirse, pues no metodologías de aplicación universal para garantizar el éxito de una organización en todo momento y en todos los casos. Por lo tanto, la

mayoría de las organizaciones sufren de diversas ineficiencias e inconsistencias en su desempeño que tienen consecuencias para la vitalidad organizacional. A menudo, solo se puede identificar fácilmente una pequeña cantidad de estos defectos, pero se pueden hallarse mediante la utilización de métodos de análisis más profundos.

Muchas técnicas de análisis del desempeño organizacional, desarrolladas en la teoría de la organización son informales e imprecisas, afectando la viabilidad y el rigor del análisis. Para evaluar en una forma más precisa el desempeño organizacional, identificando cuellos de botella y conflictos de desempeño, debe realizarse un análisis organizacional detallado basado en un modelo de organización formal. Además, un modelo de organización formal es la base para muchos procesos automatizados dentro de las empresas, por ejemplo la fabricación integrada por computadora; además de proporcionar una base para la cooperación entre sus áreas internas, e incluso otras empresas.

Para aplicar el análisis formal, debemos introducir un marco de modelado formal que permite representar diversos aspectos de la realidad organizacional, dentro de varias perspectivas: las relacionadas con el proceso, las relacionadas con el desempeño y las relacionadas con la organización. Como los individuos suelen ejercer una influencia significativa en la dinámica organizacional, también debe considerarse aspectos relacionados con el comportamiento humano.

Las características de este marco incluyen:

- Permitir la representación y análisis de modelos de organización en diferentes niveles de abstracción para manejar la complejidad y aumentar la escalabilidad;
- Permitir la verificación y validación formal de modelos de diferentes perspectivas sobre las organizaciones;
- Permitir la simulación para experimentar y probar hipótesis sobre el comportamiento organizacional en diferentes circunstancias;
- Propone métodos de análisis computacional a través de múltiples perspectivas en las organizaciones;
- Apoya y controla la ejecución de escenarios organizacionales y la evaluación del desempeño organizacional.

Este marco propone un amplio espectro de instrumentos para modelar y analizar estructuras y dinámicas de diferentes organizaciones, incluidas organizaciones mecanicistas que representan sistemas de puestos de trabajo vinculados jerárquicamente con responsabilidades claras y

organizaciones orgánicas caracterizadas por una estructura altamente dinámica, en constante cambio, sin comportamiento lineal. Aunque la estructura y las reglas de comportamiento de las organizaciones orgánicas difícilmente pueden identificarse y formalizarse, al realizar simulaciones basadas en agentes con características cambiantes, se pueden obtener conocimientos útiles sobre el funcionamiento de tales organizaciones. Además, el marco propuesto admite la reutilización de partes de modelos.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: primero se presenta una revisión de la literatura sobre el tema, luego se describen los fundamentos formales del marco, posteriormente se proporcionan descripciones generales de vistas del modelado, se discute cómo utilizar este marco en la práctica y finalmente, se describen métodos para el análisis organizacional con algunas conclusiones y propuestas para futuras investigaciones.

5.2.- Revisión de la literatura relacionada

La revisión se orienta a una descripción general de los enfoques y técnicas de modelado y análisis de organizaciones, poniendo foco en tres áreas: teoría de la organización, sistemas de información empresarial y sistemas de múltiples agentes orientados a la organización.

5.2.1.- Teoría de la organización.

En esta teoría se distingue tres niveles de agregación para el estudio de los procesos y las estructuras de las organizaciones humanas:

- Nivel individual o micro se investiga el comportamiento de individuos y grupos de trabajo.
- Nivel de la organización o nivel meso se consideran diferentes aspectos de la estructura y dinámica organizacional.
- Nivel global o macro se considera la interacción entre la organización y su entorno, incluidas otras organizaciones, la sociedad, los mercados.

Las especificaciones sobre las organizaciones utilizadas en la Teoría de la Organización se las representa por descripciones gráficas informales o semiformales que ilustran aspectos de las organizaciones en algún nivel de agregación, por ejemplo, la toma de decisiones o las relaciones de autoridad (Mintzberg, 1979). Frecuentemente se especifican de forma imprecisa y ambigua, dificultando su aplicación práctica, a pesar de ello algunas teorías han tenido éxito en su aplicación a casos reales.

5.2.1.1.- Teoría de la contingencia.

Uno de los intentos de identificar recomendaciones concretas y aplicables en forma práctica para el diseño de organizaciones surge en aplicación de la teoría de la contingencia (Burton y Obel, 2004). La tesis es que la estructura y el comportamiento de una organización deben definirse con base en características ambientales particulares. Para respaldar esto, la teoría de la contingencia identifica una serie de principios genéricos para diseñar organizaciones efectivas que deben adaptarse cuidadosamente al contexto de esta organización en particular. En el proceso de adaptación pueden introducirse inconsistencias e ineficiencias que no pueden ser previstas e identificadas por la teoría de la contingencia. Para identificar estas inconsistencias e ineficiencias se requieren técnicas de análisis.

5.2.1.2.- Teoría de Dinámica de Sistemas.

Desde esta teoría se ha propuesto otra clase de enfoques para especificar modelos cuantitativos de organización con semántica precisa. Las descripciones organizacionales especificadas en sistemas dinámicos se basan en variables numéricas y ecuaciones que describen cómo estas variables cambian con el tiempo. Tales especificaciones pueden ser computacionalmente efectivas; sin embargo, carecen de expresividad ontológica para conceptualizar relaciones de diferentes tipos de organizaciones. Además, se abstraen de eventos, entidades y actores individuales y adoptan una visión agregada de la dinámica organizacional. Por lo tanto, tales enfoques no pueden usarse para modelar organizaciones a nivel micro.

5.2.2.- Sistemas de información empresarial (EIS).

El problema de la limitada expresividad ontológica del modelado ha sido abordado en el área de los sistemas de información empresarial, donde un EIS es cualquier sistema informático que automatiza la ejecución de procesos de una empresa. Los EIS a menudo se construyen en base a arquitecturas empresariales. Una arquitectura empresarial (EA) es un marco integrador de toda la empresa que se utiliza para representar y administrar los procesos empresariales, los sistemas de información y el personal, de modo que se cumplan los objetivos clave de la empresa. Se han desarrollado muchos EA diferentes entre los que destacan:

- CIMOSA (Bernus, Nemes y Schmidt, 1998)
- TOVE (Fox et al, 1997)
- ARIS (Bernus, Nemes y Schmidt, 1998).

Basado en las características comunes de estas arquitecturas, se desarrolló un meta-marco generalizado GERAM (Arquitectura y Metodología de Referencia Empresarial Generalizada) (Bernus, Nemes y Schmidt, 1998), el que proporciona una plantilla para el desarrollo y la comparación de marcos de modelado empresarial. GERAM describe una serie de puntos de vista dedicados a las empresas. La vista de función se refiere a los aspectos estructurales y de comportamiento de los procesos comerciales de una empresa. Se utilizan las siguientes técnicas:

- estándares IDEF (Bernus, Nemes y Schmidt, 1998),
- tablas de estado,
- Petrinets (Bernus, Nemes y Schmidt, 1998)
- lenguajes semiformales (BPML, etc.).

La vista de información describe el conocimiento sobre los objetos a medida que se usan y producen. Se utilizan los siguientes modelos de datos: diagramas de relación de entidad, representaciones orientadas a objetos, diagramas de clase UML. La vista de recursos considera los recursos de una empresa, a menudo modelados como entidades separadas en los marcos existentes con un nivel de detalle variable. La vista de organización define responsabilidades y autoridades sobre procesos, información y recursos. Aunque muchas arquitecturas incluyen una rica base ontológica para modelar diferentes vistas, la mayoría de ellas brindan un soporte limitado para el análisis automatizado de modelos, abordado en la categoría Herramientas de ingeniería empresarial de GERAM, principalmente debido a la falta de fundamentos formales en estas arquitecturas.

Dentro de varios marcos, se han desarrollado métodos de análisis para vistas particulares, por ejemplo:

- técnicas de modelado orientadas a procesos para la vista de función (van der Aalst et al, 2003)
- técnicas basadas en ABC para la vista orientada al desempeño (Tham, 1999).

Mucha menos atención se ha dedicado al análisis realizado a través de diferentes puntos de vista que permite investigar una influencia combinada de factores de diferentes puntos de vista sobre el comportamiento organizacional. En Dalal (Dalal et al, 2004) se describe un marco integrado para el modelado de procesos y desempeño que incorpora parámetros contables en un enfoque de modelado de procesos formal basado en redes de Petri. Sin embargo, no se consideran aspectos clave como relaciones de autoridad, metas, comportamiento individual. Otro marco formal para el modelado de procesos de negocio se describe en (Koubarakis y Plexousakis, 2002) centrándose en

el modelado formal orientado a objetivos utilizando el cálculo de situación. El modelado y análisis de procesos y otros conceptos organizacionales no se abordan en detalle. En (Chapurlat, Kamsu Foguem y Prunet, 2006) se propone un marco formal para verificar modelos especificados en Unified Enterprise Modeling Language (UEML). Identifica una idea general para usar gráficos conceptuales para verificar modelos empresariales; sin embargo, no se proporcionan resultados técnicos ni experimentales.

Por lo general, los EIS se basan en especificaciones organizacionales predefinidas que guían o controlan los procesos realizados por los actores organizacionales. Para permitir el modelado y el análisis del comportamiento de los actores organizacionales en diferentes entornos organizacionales y ambientales, se debe recurrir a otro enfoque.

5.2.3.- Sistemas multiagente (MAS) orientados a la organización.

Un agente es una pieza de software con la capacidad de percibir su entorno virtual o físico, razonar sobre su percepción de este entorno y actuar sobre el entorno. Las interacciones entre agentes a menudo tienen lugar en el contexto de ciertas estructuras organizacionales. Tales estructuras pueden estar diseñadas intencionalmente para hacer cumplir las reglas sobre el comportamiento de los agentes o emerger de patrones no aleatorios y repetidos de interacciones entre agentes. La estructura organizativa proporciona los medios para coordinar la ejecución de tareas en un MAS y para garantizar el logro de los objetivos de la organización.

En (Horling y Lesser, 2005) se distinguen varios tipos de estructuras organizacionales que incluyen jerarquías, holarquías, coaliciones, equipos, congregaciones y federaciones, dotando a los agentes de diferentes grados de autonomía. Por lo general, el comportamiento de los agentes está restringido por un conjunto de normas definidas en diferentes niveles de agregación de la estructura organizacional. Se ha propuesto en la literatura muchos enfoques para modelar MAS normativos. A menudo, las estructuras organizacionales se especifican en términos de roles definidos como representaciones abstractas de conjuntos de funcionalidades realizadas por una organización. Además, en otros enfoques se modelan diversas estructuras organizacionales como roles.

Coutinho, Boissier y Sichman () introducen ocho dimensiones para el modelado de organizaciones de agentes: estructuras de roles y grupos, estructuras de interacción dialógica, estructuras de descomposición de objetivos o tareas, estructuras normativas, entorno, evolución organizacional, evaluación organizacional y ontologías. Para adoptar algún tipo de modelado deben considerarse en forma explícita todas estas dimensiones, aún con los problemas que surgen al incluir a la evolución

organizacional, sin embargo, esta dimensión también puede ser modelada por los medios de modelado dinámico dentro del marco a utilizar. Pude mencionarse algunos modelos:

- La metodología GAIA (Zambonelli, Jennings y Wooldridge, 2003) aborda dos fases de desarrollo: análisis y diseño. En la fase de análisis se identifican los roles y las relaciones entre ellos. Durante el diseño se especifican sociedades de agentes. GAIA no captura los aspectos internos de los agentes. La interacción de los agentes con el medio ambiente no se trata por separado.
- El modelo organizacional original de AGR (Ferber y Gutknecht, 1998) considera solo aspectos estructurales de las organizaciones. Cada modelo organizacional AGR comprende un conjunto de grupos interrelacionados que consisten en roles. AGR no impone restricciones en la arquitectura interna de los agentes.
- El meta-modelo MASQ (Sistema Multi-Agente basado en Cuadrantes) Ferber, Stratulat y Tranier () proponen una extensión del modelo AGR. Este modelo se basa en un marco de cuatro cuadrantes, donde el análisis y diseño del sistema se realiza a lo largo de dos dimensiones: una dimensión interior/externo y una dimensión individual/colectiva. El marco propuesto aborda los cuatro cuadrantes, incluidos los estados mentales de los agentes y su comportamiento observable externamente, el mundo físico y sus componentes, las normas sociales y las convenciones de interacción, el conocimiento compartido. Además, este marco proporciona una visión más refinada de cada cuadrante al distinguir tipos específicos de conceptos, estados y relaciones.
- MOISE (Hannoun et al, 2000) es un modelo organizativo que proporciona descripciones en tres niveles: el nivel individual de los agentes; el nivel agregado de grandes estructuras de agentes; el nivel de la sociedad de estructuración global y de interconexión entre agentes y estructuras. En Hubner, Sichman y Boissier (Hubner, Sichman y Boissier, 2002) la metodología se amplía con aspectos funcionales como tareas, planes y restricciones en el comportamiento de un MAS.
- La metodología TROPOS (Bresciani, 2004) aborda tres fases de desarrollo de los MAS: análisis, diseño e implementación. Durante el análisis, se identifica una lista de requisitos funcionales y no funcionales para el sistema. Durante el diseño, se definen la estructura y el comportamiento de un sistema en términos de sus subsistemas relacionados a través de datos, control y otras dependencias. La fase de implementación mapea los modelos desde la fase de diseño al software por medio de Jack Intelligent Agents. Si bien TROPOS apunta

principalmente a diseñar e implementar sistemas de múltiples agentes robustos y ordenados, el marco propuesto en este capítulo se puede utilizar para modelar y analizar tanto organizaciones artificiales de agentes como organizaciones humanas. Por lo tanto, muchos aspectos y relaciones inherentes a las organizaciones humanas no se utilizan en TROPOS, por ejemplo, relaciones de poder, modelado de flujo de trabajo.

- El marco OperA (Dignum, 2003) se centra en las normas sociales y define explícitamente las políticas de control para establecer y reforzar estas normas. El marco consta de tres componentes: el modelo organizativo que define la estructura de la sociedad, que consta de funciones e interacciones; el modelo social de asignación de roles a los agentes; y el modelo de interacción que describe las posibles interacciones entre agentes. Por lo tanto, el marco de OperA aborda tanto la estructura como la dinámica organizativa. La representación interna de los agentes no está claramente definida en este marco.

5.3.- Fundamentos formales del marco propuesto

El marco propuesto presenta cuatro puntos de vista interrelacionados:

- El orientado al desempeño
- El orientado al proceso
- El orientado a la organización
- El orientado al agente.

La lógica de predicados ordenados de primer orden sirve como base formal para definir lenguajes de modelado dedicados para cada vista. Estos lenguajes proporcionan una alta expresividad para conceptualizar una variedad de conceptos y relaciones utilizando géneros, constantes ordenadas, variables, funciones y predicados. Además, estos lenguajes permiten expresar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos de diferentes puntos de vista.

5.3.1.- Modelado mediante el Lenguaje de Seguimiento Temporal (TTL).

Para expresar las relaciones temporales en las especificaciones de las vistas, los lenguajes dedicados de las vistas están integrados en el lenguaje de seguimiento temporal (TTL) (Sharpanskykh, 2008), una variante de la lógica de predicados ordenados. En TTL, la dinámica organizacional está representada por un rastro, es decir, una secuencia de estados ordenados temporalmente. Cada estado se caracteriza por un punto de tiempo único y un conjunto de propiedades de estado, las

propiedades del estado se especifican utilizando idiomas dedicados de las vistas. En TTL, las fórmulas del lenguaje estatal se utilizan como objetos.

Para habilitar el razonamiento dinámico, TTL incluye clasificaciones especiales:

- TIME: conjunto de puntos de tiempo ordenados linealmente.
- STATE: conjunto de todos los nombres de estado de una organización.
- TRACE. conjunto de todos los nombres de seguimiento.
- STATPROP: conjunto de todos nombres de propiedades estatales.

Un estado para una organización se describe mediante un símbolo de la función de estado del tipo

TRACE x TIME → STATE.

El conjunto de fórmulas TTL bien formadas se define inductivamente de manera estándar utilizando conectores y cuantificadores proposicionales booleanos. TTL tiene la semántica de la lógica de predicados ordenados por orden. En (Sharpanskykh, 2008) se proporciona una especificación más detallada de la sintaxis y la semántica del TTL. Se puede identificar un conjunto de restricciones estructurales y de comportamiento impuestas sobre las especificaciones organizacionales. Formalmente, este conjunto está representado por una teoría lógica que consiste en fórmulas construidas en la lógica estándar de predicados a partir de los términos del lenguaje dedicado de las vistas y de TTL si se requieren relaciones temporales. Una especificación es correcta si la teoría correspondiente se satisface con esta especificación, es decir, todas las oraciones en teoría son verdaderas en las estructuras lógicas correspondientes a la especificación.

Las restricciones se dividen en dos grupos: genéricas y específicas del dominio. Las restricciones genéricas definen las restricciones generales para una vista o la especificación completa que debe cumplir la especificación de cada organización. Se consideran dos tipos de restricciones genéricas. Las restricciones de coherencia e integridad estructural se basan en las reglas de composición de la especificación. Las restricciones impuestas por el mundo real no están dictadas por el marco sino por las reglas del mundo real que hacen que ciertas situaciones sean imposibles, por ejemplo: un agente no puede estar en dos ubicaciones físicas diferentes al mismo tiempo. El conjunto de restricciones genéricas está predefinido y se puede reutilizar para cada especificación.

Las restricciones específicas del dominio están dictadas por el dominio de la aplicación y el diseñador puede agregarlas o modificarlas. Expresan hechos y restricciones válidos en el dominio de aplicación particular pero no necesariamente en otros dominios. Las restricciones específicas del dominio

pueden ser impuestas por la propia organización, partes externas, por ejemplo: el gobierno, la sociedad u otras empresas. Las restricciones específicas del dominio pueden o no ser directamente reutilizables para otras empresas en el mismo u otros dominios. Para respaldar el proceso de diseño de dichas restricciones, se pueden proporcionar plantillas con parámetros que el diseñador pueda personalizar.

5.3.2.- Aplicación del TTL

Entre los antecedentes de la aplicación de este marco que puede citarse el modelado y análisis de una organización desde el dominio de la seguridad dentro del proyecto Cybernetic Incident Management (<http://www.almende.com/cim/>). Esta organización tiene muchas características de una organización mecanicista, como ser puestos de trabajo vinculados jerárquicamente con responsabilidades claras que utilizan tecnología estándar bien entendida. Los documentos formales de la organización brindan diversos detalles sobre la estructura y dinámica de la organización, los cuales necesitan ser representados formalmente en un modelo factible de la organización. En particular, se consideraron los siguientes aspectos: indicadores de desempeño (PI) y metas; procesos, recursos y flujos de procesos; roles y diferentes tipos de relaciones: interacción, poder etc.; características y comportamiento de los agentes organizacionales asignados a distintos roles. Además, también se modeló las relaciones entre diferentes aspectos del proyecto, por ejemplo entre tareas y objetivos, y entre roles y agentes. La difusión detallada de esta metodología utilizada permite ilustrar la aplicación del marco propuesto a partir de un caso real creando especificaciones formales para aspectos particulares de la organización y como estas especificaciones pueden utilizarse para realizar análisis automatizados.

El objetivo principal de la organización en cuestión es prestar servicios de seguridad vigilancia, consultoría, formación, etc. La organización tiene una estructura multinivel bien definida que comprende dos divisiones en varias áreas. La empresa emplea aproximadamente a 230.000 personas con descripciones de puestos predefinidas. El proceso de planificación consiste en una planificación prospectiva a largo plazo y una planificación a corto plazo. La planificación prospectiva es el proceso de creación, análisis y optimización de planes prospectivos para la asignación de agentes de seguridad dentro de la organización en función de los contratos de los clientes. Lo realiza un equipo de planificadores del grupo de planificación anticipada bajo la supervisión del Gerente de Planificación. El grupo de planificación anticipada está centralizado para la organización como parte del departamento de Soporte de operaciones y reporta al Gerente de soporte de operaciones. Durante la planificación a corto plazo, se crean y actualizan planes que describen la asignación de

agentes de seguridad dentro de un área determinada durante una semana, según el plan a futuro y la información actualizada. También como parte de la planificación a corto plazo, se crean planes diarios de corto plazo e información procedente de los empleados de seguridad sobre su disponibilidad y otros cambios a través de formularios de cambio de datos. Para cada área, la planificación a corto plazo la realiza un equipo de planificación del área dirigido por su Jefe de Equipo. Durante la planificación a corto plazo, los planificadores pueden obtener supervisión, asesoramiento o información de los planificadores, según las circunstancias específicas. Los planificadores también se comunican con el Jefe de Unidad del área, quien está a cargo de los empleados de seguridad dentro de esta área, se encarga de recolectar y procesar los formularios de cambio de datos y supervisa la ejecución de los planes diarios. En ambos tipos de planificación, se utilizan recursos que incluyen: la base de datos del personal de la empresa, contratos de clientes, formularios de cambio de datos, planes y otros recursos electrónicos o en papel. Otras actividades de los planificadores incluyen la presentación de informes al equipo de gestión, la formación para mejorar las calificaciones, las evaluaciones, etc.

5.4.- Modelado

De las vistas que se incluyen dentro del marco propuesto, tres de ellos están orientadas a procesos, al desempeño y a la organización; estos tienen carácter prescriptivo y definen el comportamiento deseado de la organización. La cuarta vista está orientada a los agentes y es la que describe e integra a los agentes en el marco. La vista orientada a procesos describe jerarquías estáticas de tareas y recursos organizacionales, así como los flujos de procesos o flujos de trabajo y relaciones entre estas estructuras. La vista orientada al desempeño define las jerarquías de objetivos de la organización, los PI relevantes y sus relaciones. Dentro de la visión orientada a la organización, se definen los roles organizacionales, su interacción, autoridad, responsabilidad y relaciones de poder. En la vista orientada a agentes, se identifican diferentes tipos de agentes con sus capacidades y se formulan principios para asignar agentes a roles. Las cuatro vistas están conectadas a través de relaciones. Cada vista y las relaciones entre las vistas son en detalle las siguientes

5.4.1.- Vista orientada al proceso.

La vista orientada a procesos contiene información sobre las funciones de la organización, cómo se relacionan, ordenan y sincronizan y los recursos que utilizan y producen. Los principales conceptos son:

- tarea
- proceso
- flujo de trabajo
- recurso
- tipo de recurso

Estas, junto con las relaciones entre ellos, se pueden especificar mediante un lenguaje formal como el LPR (Sharpanskykh, 2008). Una tarea representa una función realizada en la organización y se caracteriza por nombre, duración_máxima y duración_mínima. La Tabla 7 brinda ejemplos de tareas consideradas en el estudio de caso relacionadas con la planificación de la asignación de oficiales de seguridad a las ubicaciones. Las tareas se extrajeron de los documentos disponibles de la empresa sobre procedimientos y descripciones de puestos. La columna 1 contiene los números de identificación asignados a las tareas para referencia. La columna 2 contiene los nombres de las tareas que reflejan su contenido. Las columnas 3 y 4 enumeran los recursos utilizados y producidos por las tareas. Las tareas pueden variar de muy generales a muy específicas. Las tareas generales se pueden descomponer en otras más específicas utilizando relaciones AND y OR que forman jerarquías, estas se muestran en la figura 38 en la que las relaciones se han refinado. Los números corresponden a la columna 1 de la Tabla 7, se reflejan la posición de la tarea en la jerarquía.

Tabla 7. Tareas que se desarrollan

Number	Name	Use resource types	Produces res. types
4	planning		
4.1	process_new_data_change_forms	Data change forms	Analysis results of data change forms
4.2	create_and_inform_correct_and_optimized_shorttem_plan		
4.2.1	create_shorttem_plan		
4.2.1.1	shorttem_plan_createion_discussion	Forward plan	Information about a decision on assignment of a taskk of creating a short-term plan
4.2.1.2	estimate_human_capacity_per_location	Forward plan, personnel data, customer order details, analysis results of daily change forms	Data about available and required human capacity per location
4.2.1.3	assign_officers_to_tasks	Forward plan, personnel data, the short-term planning procedure, data about available and required human capacity per location	Information about the assignment of security officers
4.2.1.4	input_planning_data	Planning software handbooks, the short-term planning procedure, information about the assignament of security officers	Short-term plan for next month
4.2.2	chek_and_improved_shorttem_plan	Short-term plan for next month, the short-term planning procedure	Correct short-term plan for next month
4.2.3	optimized_shorttem_plan	Correct short-term plan for next month	Correct optimized short-term plan for next month
4.2.4	inform_all_concerned_about_ _shorttem_plan	Correct optimized short-term plan for next month	Correct optimized short-term plan for next month
4.3	create_and_inform_daily_plan		

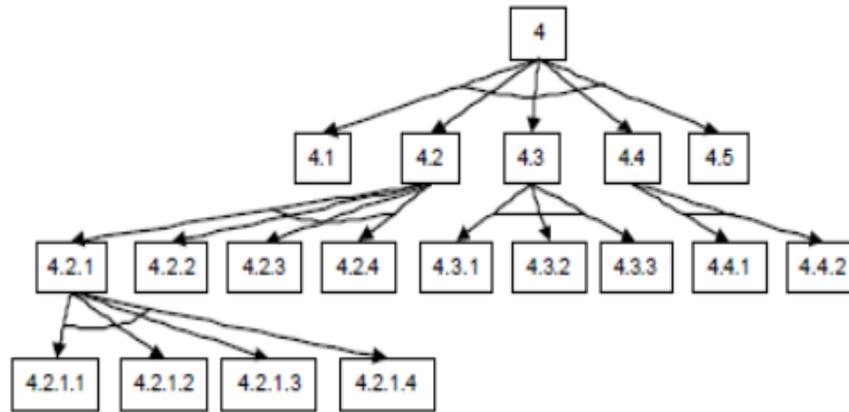


Figura 38. Jerarquía de las tareas

Cada tarea se puede instanciar en uno o más procesos en un flujo de trabajo. Un flujo de trabajo se define por un conjunto de procesos parcialmente ordenados temporalmente. Cada proceso, excepto los especiales de duración cero que se presentan a continuación, se define utilizando una tarea como plantilla y todas las características de la tarea son heredadas por el proceso. Las decisiones también se tratan como procesos que están asociados con variables de decisión que toman como posibles valores los posibles resultados de la decisión.

El flujo de trabajo definido a partir de la jerarquía de tareas comienza con el proceso BEGIN y termina con el proceso END; ambos de duración cero. El orden (parcial) de ejecución de los procesos en el flujo de trabajo se define mediante relaciones de secuenciación, ramificación, bucle y sincronización. Para cada estructura se define una condición para determinar qué ramas de la estructura se comenzarán. Las relaciones de bucle se definen sobre estructuras de bucle con condiciones que realizan los patrones de ciclo de (Van der Aalst et al. 2003). Los procesos y las relaciones entre ellos, expresados en LPR, se pueden visualizar parcialmente en las Figuras 39 y 40 en diferentes niveles de abstracción, desde un nivel muy alto o agregado hasta un nivel muy detallado y específico. Los niveles detallados de abstracción se logran refinando los procesos en otros más específicos utilizando las relaciones de refinamiento en las jerarquías de tareas correspondientes. Dentro del estudio de caso, la figura 39 presenta el flujo de trabajo que tiene una vista agregada de los procesos de los planificadores diarios realizados durante un período de contrato. La Figura 40 (a) toma una vista agregada de la planificación del proceso, mientras que la Figura 40(b) proporciona detalles más específicos de este proceso al refinar algunos de los procesos

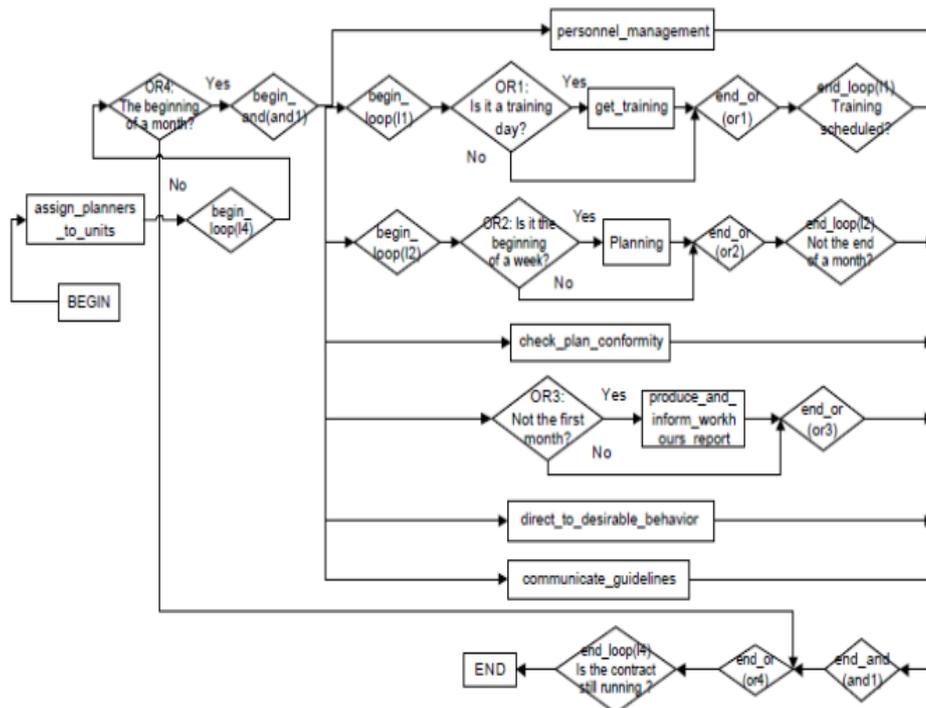


Figura 39. Flujo de trabajo. Vista agregada

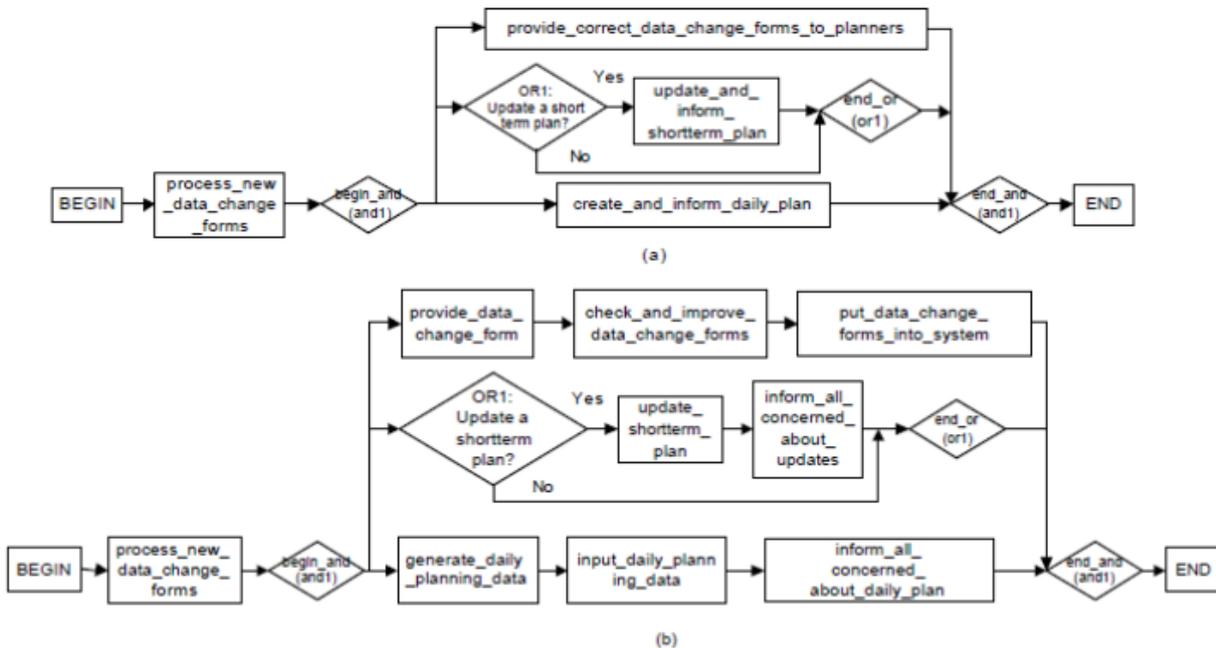


Figura 40. Flujo de trabajo. Vistas desagregadas

Las tareas utilizan, consumen o producen recursos de diferente tipo. Los tipos de recursos representan herramientas, suministros, componentes, datos, etc. y se caracterizan por nombre, categoría discreta, continua, que es la duración del intervalo de tiempo en el que se puede utilizar un tipo de recurso. Los tipos de recursos a veces se pueden descomponer formando jerarquías de

recursos, por ejemplo: una base de datos puede constar de varias tablas de datos que contienen información diferente que puede ser utilizada por separado por diferentes tareas, mientras que otras tareas pueden requerir toda la base de datos. Un tipo de recurso puede tener una función diferente de los tipos de recursos en su descomposición, por ejemplo: un automóvil tiene un propósito diferente de cada uno de sus componentes.

Los recursos son instancias de tipos de recursos y heredan sus características, teniendo, además, nombre y cantidad. Los recursos son utilizados, consumidos o producidos por procesos en el flujo de trabajo. Varios procesos del mismo tipo de recurso pueden ser producidos por diferentes procesos y se diferencian por sus nombres. Algunos recursos pueden ser compartidos, utilizados simultáneamente, por un conjunto de procesos, por ejemplo, instalaciones de almacenamiento, vehículos de transporte. Se pueden definir conjuntos de procesos que pueden compartir recursos específicos. La representación de recursos compartidos que se muestra difiere de otras propuestas, como la de Barkaoui y Petrucci (Barkaoui y Petrucci, 1998) en varios aspectos:

- La cantidad de recursos compartidos es utilizada por procesos simultáneamente.
- Se pueden definir conjuntos alternativos de procesos que pueden compartir un recurso.
- Se pueden compartir simultáneamente diferentes cantidades de un recurso.
- Se pueden definir condiciones específicas (requisitos) para compartir recursos.

En el ejemplo que se utiliza, se puede compartir un plan a corto plazo entre las tareas también se identificaron varios tipos de recursos, algunos enumerados en la Tabla 1 en relación con las tareas de nivel más bajo. La mayoría de los recursos identificados son discretos como: un plan a futuro, formularios de cambio de datos o detalles de pedidos de clientes. Los recursos usados, consumidos o producidos por una tarea de nivel superior comprenden los recursos usados, consumidos o producidos por las tareas de nivel inferior en su refinamiento.

A veces es importante monitorear dónde están los recursos en ciertos puntos de tiempo, para lo cual se usa el concepto de ubicación, por ejemplo representando las instalaciones de almacenamiento disponibles. Los procesos pueden agregar o eliminar recursos de ciertos tipos de ubicaciones, que se pueden especificar mediante predicados del lenguaje LPR como ser: PROCESS, RESOURCE_TYPE, o LOCATION. Las restricciones genéricas para esta vista incluyen restricciones estructurales sobre la corrección de los flujos de trabajo, las jerarquías de tareas y recursos y las restricciones del mundo físico. Para las jerarquías, se debe mantener la consistencia asegurándose de que se cumpla el conjunto de restricciones entre niveles. También se puede instanciar para un

plan a corto plazo y para un plan a futuro, así como para otros recursos que no estén directamente relacionados con la planificación.

5.4.2.- Vista orientada al rendimiento

Las nociones centrales en la visión orientada al desempeño son la meta y el PI. Muchas organizaciones hoy en día establecen objetivos a alcanzar que reflejen diferentes aspectos del desempeño organizacional. Los objetivos se evalúan monitoreando y analizando los PI relacionados. Tradicionalmente, solo se consideraban PI numéricos, generalmente financieros como costos, ganancias, número de clientes; sin embargo, hoy en día se considera importante monitorear también indicadores como la satisfacción del cliente, la motivación de los empleados, que son cualitativos y difíciles de evaluar. El modelado de objetivos está respaldado en diversos grados por una serie de marcos existentes en el modelado empresarial. Sin embargo, el concepto de PI ha estado subrepresentado en la literatura. Este enfoque difiere en la representación explícita de los PI, el vínculo entre una meta y el PI que mide su satisfacción y las relaciones entre los PI que pueden usarse para razonar en la fase de diseño. Aquí se definen los conceptos de la vista orientada al rendimiento. Un PI es un indicador cuantitativo o cualitativo que refleja el estado o progreso de la empresa, unidad o individuo. Las características de un PI incluyen:

- nombre
- definición
- tipo (continuo, discreto)
- Unidad de medida
- la duración del intervalo de tiempo para el que se evaluará
- escala de medición
- valor mínimo
- valor máximo
- fuente interna o externa para obtener la PI
- propietario o agente que mide o describe)
- umbral de los cambios en el valor del PI
- dureza, no directamente medible o medible

Los PI se pueden relacionar a través de varias relaciones. En el marco propuesto en el ejemplo se consideran los siguientes:

- influencia causal positiva o negativa de un PI sobre otro.
- correlación positiva/negativa entre PI.
- Agregación, si dos PI expresan la misma medida en diferentes niveles.

Al decidir si una influencia causal es fuerte o no, se utiliza la característica de umbral de los PI. Si se observa un cambio por encima del umbral, la relación se considera fuerte. Las relaciones se pueden identificar usando documentos de la empresa, conocimiento del dominio, inferencia de relaciones conocidas, técnicas estadísticas o de minería de datos, conocimiento de otras estructuras del marco. Usando estas relaciones, se puede construir una estructura gráfica de PI. Para la estructura de PI del ejemplo que se está utilizando se puede obtener una descripción gráfica (Sharpankykh, 2008), que permite ver con más detalles los PI.

Según cuales sean los PI, sus expresiones se pueden definir como declaraciones matemáticas sobre los PI que se pueden evaluar en un valor numérico, cualitativo o booleano, estas expresiones se utilizan para definir patrones de objetivos. El tipo de un patrón de objetivo indica la forma en que se verifica su propiedad: logrado o cesado; verdadero o falso: para un punto de tiempo específico; mantenido o evitado); optimizado: si el valor de la expresión PI ha aumentado, disminuido o se ha acercado a un valor objetivo para un intervalo determinado. Algunos de los posibles patrones de objetivos que se pueden definir en los PI y las expresiones de PI anteriores.

Las metas son objetivos que describen un estado o desarrollo deseado y se definen agregando a los patrones de metas información sobre conveniencia y prioridad. Las características de los objetivos incluyen:

- nombre
- definición
- prioridad
- objetivo de logro logrado o cesado, que debe evaluarse para un punto de tiempo
- objetivo de desarrollo mantenido, evitado u optimizado, que debe evaluarse para un intervalo de tiempo
- horizonte o momento en que debe cumplirse el objetivo
- propiedad organizacional o individual

- perspectiva para los objetivos de la organización
- dureza dura o suave de la satisfacción
- grados de satisfacción débil , fuerte o negable
- negociabilidad es el objetivo negociable ante conflictos con otros objetivos

Los objetivos pueden refinarse mediante subobjetivos formando jerarquías. La información sobre la satisfacción de los objetivos de nivel inferior se puede propagar para determinar la satisfacción de los objetivos de nivel superior. Un objetivo se puede refinar en una o más listas alternativas de objetivos de tipo AND o de tipo equilibrado de descomposición más precisa inspirada en la función de promedio ponderado. Para cada tipo, se definen reglas de propagación específicas para determinar el valor de satisfacción o el nivel de satisfacción del objetivo de nivel superior. La Figura 41 muestra la jerarquía de metas para la planificación a corto plazo y hacia adelante en el ejemplo que se utiliza.

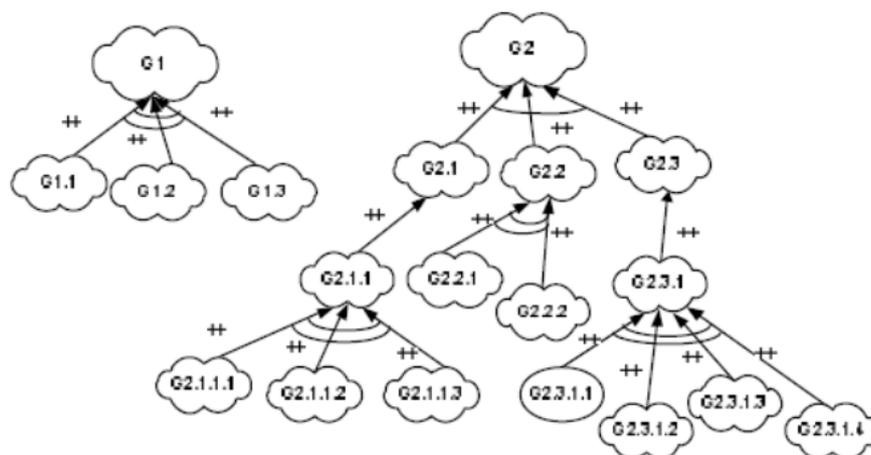


Figura 41. Jerarquías de las metas de la planificación

5.4.3.- Vista orientada a la organización

En la vista orientada a la organización, las organizaciones se modelan como roles compuestos que se pueden refinar en roles simples o compuestos, que representan tantos niveles de agregación como sea necesario. Las estructuras de funciones refinadas corresponden a diferentes tipos de estructuras organizativas, por ejemplo, grupos, unidades o departamentos. La vista proporciona medios para estructurar y organizar roles al definir la interacción y las relaciones de poder en ellos. Primero, se discuten las relaciones de interacción, donde cada rol tiene una interfaz de entrada y otra de salida, para interactuar con otros roles y el entorno. Las interfaces de roles se describen en

términos de ontologías de interacción, o de entrada y salida, en firmas especificadas en lógica ordenada. En términos generales, una ontología de entrada determina qué información se permite transferir a la entrada de un rol o entorno, y una ontología de salida predefine qué información se puede generar en la salida de un rol o un entorno. Para especificar un tipo de interacción, por ejemplo una comunicación, las ontologías de ambos roles que interactúan y que son: el rol fuente de la interacción y el rol de destino de la interacción, estas deben incluir el predicado:

Comunicar desde el rol R1 al rol R2: forma de transmitir < el mensaje >

donde la forma de transmitir puede ser un acto del habla, por ejemplo: informar, solicitar o preguntar; y el mensaje es el contenido.

Los roles del mismo nivel de agregación, que pueden interactuar, están conectados por un enlace de interacción que indica la dirección de la interacción. Para representar la transición de información entre roles de dos niveles de agregación adyacentes, por ejemplo entre un rol que representa un departamento y un rol que pertenece a este departamento, se utilizan enlaces entre niveles. En forma gráfica se puede proporcionar las relaciones de comunicación entre los roles de la organización en cuestión. Estas relaciones corresponden a los canales de comunicación que existen, como los especificados explícitamente, en la organización y pueden ser utilizados en diferentes escenarios organizacionales. En la figura 42 se muestra las relaciones de interacción entre los roles en la organización en el primer nivel de agregación.

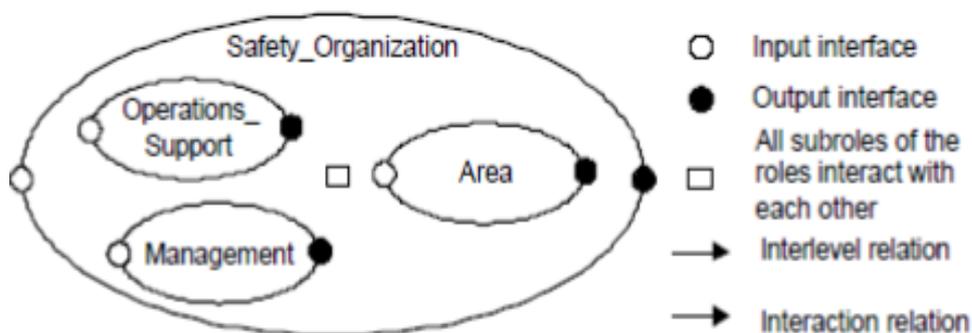


Figura 42. Interacción entre distintos roles de la Organización

En la Figura 43 se presentan las relaciones dentro de:

- el rol de Área
- el rol de Apoyo a Operaciones
- los roles Planificación delantera
- los roles de Planificación de equipos

Mediante el uso de diferentes niveles de abstracción, se logra la escalabilidad de la representación gráfica. La representación del entorno puede variar en las especificaciones organizativas. Puede definirse por un conjunto de objetos con ciertas propiedades y estados y por relaciones causales entre objetos. En otros casos, la dinámica del entorno se describe mediante procesos y tendencias de alto nivel, por ejemplo: cambios en la situación del mercado u oscilaciones ambientales naturales.

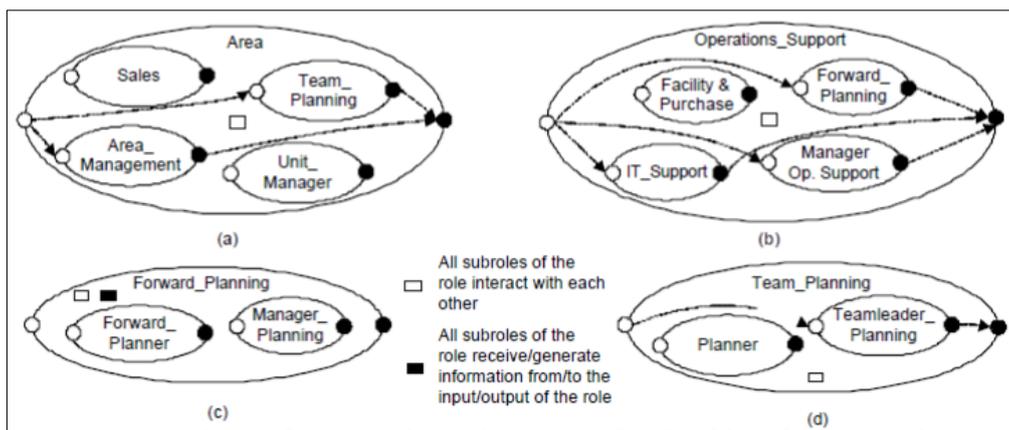


Figura 43. Relaciones entre los distintos roles de la Organización

En la Figura 44 se muestra las relaciones de interacción en el nivel generalizado representan plantillas que se pueden instanciar para un caso particular. Por ejemplo, los documentos de la organización del ejemplo que se trata definen patrones estándar de interacción entre los roles de Forward_Planner y Manager_Planning que se pueden modelar en el nivel generalizado. Sin embargo, para un análisis más detallado de la dinámica organizacional, se necesita una representación más específica que defina las relaciones de interacción entre las instancias de roles particulares del rol Forward_Planner, por ejemplo de diferentes equipos de planificación.

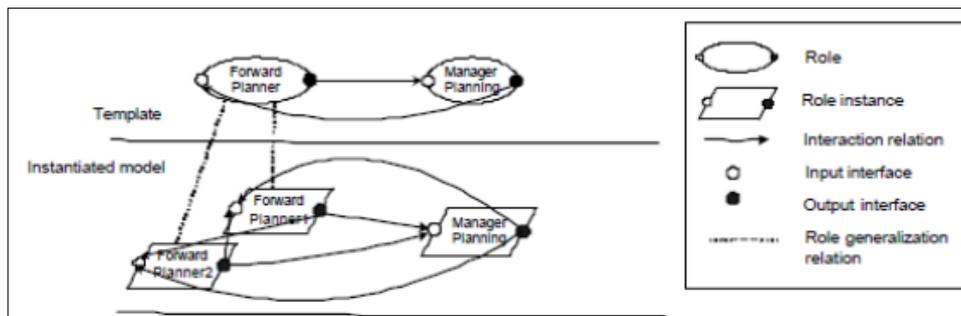


Figura 44. Relaciones entre los distintos roles a nivel agregado

5.4.4.- Vista orientada a los agentes

Este tratamiento de la interacción de agentes difiere del enfoque de diseño de interacción de agentes descrito por Cheong y Winikoff. (Cheong, C. y Winikoff, M) donde los objetivos de interacción que se definen para los agentes se pueden lograr mediante la realización de actos de interacción. En este marco presentado, los objetivos están relacionados con las relaciones de interacción a través de procesos que requieren esta interacción. En general, la eficiencia de la asignación de un agente a un rol depende de qué tan bien se ajusten las características del agente a los requisitos del rol. Sin embargo, las organizaciones modernas implementan principios de asignación muy diversos, por ejemplo, basados en la igualdad, la antigüedad o el estímulo de jóvenes. Dichos principios pueden formalizarse como políticas de asignación que comprenden propiedades TTL.

Para modelar la dinámica de un agente en el contexto organizacional, se consideran los aspectos intencionales y motivacionales del agente. En las ciencias sociales modernas, el comportamiento de los individuos se considera impulsado por objetivos. Se reconoce que las metas de alto nivel de los individuos dependen de sus necesidades. Actualmente se identifica la siguiente división de necesidades en las ciencias sociales: necesidades extrínsecas asociadas con el confort biológico y las recompensas materiales; necesidades de interacción social que se refieren al deseo de aprobación social, afiliación y compañerismo; necesidades intrínsecas que se refieren a los deseos de autodesarrollo, autorrealización y desafío.

En las organizaciones modernas, cuando se asigna un rol a un individuo, la identificación de sus metas específicas de nivel inferior se realiza en cooperación con un representante gerencial de la organización. Durante este proceso, los objetivos de alto nivel, basados en las necesidades del agente, se refinan en objetivos más específicos alineados con los objetivos de la organización utilizando relaciones AND y OR. A menudo se distinguen dos tipos de dichas metas: metas de desarrollo o aprendizaje y de desempeño. Los objetivos de desarrollo reflejan los deseos de los

agentes de obtener ciertos conocimientos o algunas habilidades que también son útiles para la organización. Los objetivos de rendimiento generalmente se refieren a la eficacia y eficiencia de la ejecución de las tareas ya asignadas al agente. Tanto los objetivos de desarrollo como los de rendimiento se formalizan usando el lenguaje de la vista orientada al rendimiento y pueden cambiar con el tiempo.

La motivación de los agentes para realizar ciertas tareas es importante para asegurar la satisfacción de los objetivos tanto individuales como organizacionales relacionados directa o indirectamente con estas tareas. Por lo tanto, el aspecto motivacional del comportamiento del agente debe estar representado explícitamente en los modelos.

La mayor motivación la demuestra un agente mediante acciones, por ejemplo, la ejecución de tareas organizacionales, que significativamente contribuyen a la satisfacción de sus objetivos principales. Para razonar sobre la motivación y el comportamiento laboral de los agentes se utiliza la versión de Vroom de la teoría de la expectativa (Pinder, 1998) que establece dependencias causales entre una serie de parámetros individuales, organizacionales y ambientales y la motivación del agente para realizar ciertas acciones o procesos. La teoría de las expectativas es una de las pocas teorías de la organización que puede hacerse operativa y utilizarse para la simulación.

El marco no se adhiere a una arquitectura de agente particular y en el caso general, la dinámica de un agente puede especificarse mediante propiedades dinámicas expresadas en TTL. Además, se pueden representar las arquitecturas de modelado de agentes existentes utilizando TTL.

Esto, a diferencia de los otros tres puntos de vista que son prescriptivos, se orienta al agente, y tiene un carácter descriptivo. Por lo tanto, no se pueden definir restricciones específicas para esta vista. Sin embargo, es posible definir restricciones que involucren la vista orientada al agente y una o más vistas. Por ejemplo, una restricción entre las vistas orientadas a los agentes, orientadas a los procesos y orientadas a la organización puede ser la siguiente:

“Cada agente reclutado que no haya desempeñado un rol en la organización en el pasado debe asistir a un evento de inducción corporativa dentro de tres meses de iniciado”.

5.4.5.- Relaciones entre las vistas

Las vistas del marco están conectadas entre sí a través de relaciones entre sus conceptos, por ejemplo los roles están comprometidos con los objetivos de la organización y los agentes pueden estar comprometidos con los objetivos individuales o de la organización. Los objetivos deben ser

5.5.- Aspectos metodológicos

Esta sección describe cómo se puede utilizar el marco de trabajo en la práctica, cómo se puede abordar, estructurar y ordenar el proceso de diseño, qué problemas deben abordarse, etc., según la información disponible. Primero se discuten las pautas generales y luego se muestra cómo se usaron para el estudio del ejemplo presentado.

5.5.1.- Reglas generales.

Los enfoques generales para el diseño de la organización difieren en la presencia y participación de los agentes. El diseño se puede realizar sin tener en mente agentes específicos, los perfiles de agentes necesarios se componen en las etapas posteriores de diseño en función de las tareas consideradas/diseñadas. El diseño organizacional también se puede realizar mediante un conjunto parcialmente conocido de agentes que asumirán roles en la organización. Por lo tanto, se pueden tener en cuenta las habilidades y características de los agentes. A veces, los agentes no solo son conocidos, sino que tienen cierto grado de poder para dirigir el proceso de diseño.

El proceso de diseño a menudo comienza con la identificación de uno o más objetivos de alto nivel de una organización. Estos objetivos, inicialmente definidos de manera informal, deberían responder a la pregunta: ¿por qué debería existir la organización, para qué propósito servirá? Dichos objetivos pueden ser identificados por el diseñador o surgir a través de la comunicación o negociación entre los agentes involucrados. En el segundo caso, las metas organizacionales resultantes reflejan en cierta medida las metas individuales de los agentes participantes. De esta forma, se previenen tempranamente algunos posibles conflictos entre los objetivos individuales y organizacionales. Si aparecen conflictos, se pueden abordar mediante negociación y rediseño en las etapas posteriores.

Los objetivos de nivel superior suelen ser más abstractos. A través del refinamiento, se formulan objetivos más específicos, más fáciles de evaluar. Además, a menudo los objetivos de nivel superior son objetivos estratégicos a largo plazo, mientras que sus objetivos secundarios son objetivos tácticos u operativos a corto plazo. Los niveles de las jerarquías deben ser objetivos formulados de modo que los PI correspondientes puedan asociarse claramente con los procesos en el flujo de trabajo. De esta forma se puede evaluar la satisfacción de cada objetivo en las jerarquías.

También en la etapa anterior del proceso de diseño se identifican una o más tareas generales respondiendo a la pregunta: ¿qué debe hacer la organización? Para identificar estas tareas a veces solo se consideran los objetivos definidos. Sin embargo, cuando los agentes involucrados son solo parcialmente conocidos, la definición de tareas también puede basarse en las habilidades y

experiencia disponibles. Estas tareas se refinan en jerarquías de tareas. Se identifican los tipos de recursos utilizados o producidos que también pueden formar jerarquías. Según las tareas, los procesos se definen y organizan en flujos de trabajo posiblemente en diferentes niveles de abstracción. El nivel de elaboración de estas estructuras puede depender del tipo de organización. En las organizaciones mecanicistas, los procedimientos se prescriben con un alto grado de detalle, lo que da como resultado estructuras elaboradas refinadas a tareas y procesos simples. En las organizaciones orgánicas, por ejemplo, las adhocracias, los procedimientos se describen en un nivel más alto de abstracción, lo que deja a los agentes más libertad para elegir cómo realizarlos, esto da como resultado jerarquías de tareas poco profundas y flujos de trabajo menos elaborados.

El proceso de diseño puede seguir diferentes caminos a través de las vistas y los conceptos, pero se pueden formular varias pautas generales. Cuando un objetivo definido de manera informal se formaliza y se hace más preciso, esto debería reflejarse en la estructura del PI, lo que a menudo significa definir un nuevo PI o revisar uno existente. Un cambio en la jerarquía de objetivos también debe reflejarse en la jerarquía de tareas mediante la identificación de tareas nuevas o existentes que puedan realizar los objetivos nuevos o revisados. Un cambio en la jerarquía de tareas a menudo genera cambios en el diseño del flujo de trabajo actual. Agregar o revisar procesos en el flujo de trabajo puede dar lugar a nuevos PI para monitorear. Cuando se propone un PI se debe decidir su nivel de importancia para entender si se debe formular una nueva meta en base a él.

Las relaciones de poder y autoridad entre los roles definidos generalmente se asignan en las etapas posteriores del diseño. Sin embargo, se pueden predefinir y comprometer diferentes esquemas generales en las primeras etapas, así como dejar los detalles para más adelante. Dichos esquemas reflejan diferentes tipos de organizaciones identificadas en la teoría organizacional tales como: organizaciones jerárquicas, planas o basadas en equipos que difieren en la forma en que el poder es distribuido, otorgado o aceptado por los roles de los agentes.

La elección del esquema debe basarse en un análisis del entorno en el que debe operar la organización. Por ejemplo, un entorno relativamente estable tolera una estructura jerárquica bien definida que permite una mayor eficiencia. Un entorno cambiante puede ser abordado por una estructura más ligera, flexible y dinámica adaptable a los cambios. El entorno en el que operará la organización debe tenerse en cuenta en cada paso del diseño y en cada vista del marco.

A veces, en lugar de diseñar una organización desde cero, se crea una especificación de una existente. Aquí se utiliza una amplia gama de documentos internos o externos, por ejemplo, políticas de la empresa, descripciones de puestos, declaración de misión, descripciones de procedimientos o

leyes. Sin embargo, incluso la documentación más rica deja cierta información sin especificar, por lo que es esencial involucrar a expertos y administradores del dominio.

5.5.2.- El proceso de especificación para el ejemplo propuesto.

La especificación de la organización en el ejemplo que se analiza está diseñada en base a las descripciones de los trabajos existentes para los empleados y los documentos que describen la misión, los objetivos, la estructura y los procedimientos de la empresa. El proceso se inició con la definición de los roles involucrados, su descomposición y el esquema general de las relaciones de autoridad y poder en la organización. Para cada función, sus tareas principales se definen en las descripciones de puestos. Estos se utilizaron como base para la construcción de las jerarquías de tareas. Las tareas predefinidas fueron formalizadas y refinadas o agregadas donde fue necesario introduciendo nuevas tareas en los niveles inferiores o superiores de las jerarquías. Utilizando las tareas de nivel más bajo y la documentación sobre los procedimientos de la empresa, se definieron los procesos en el flujo de trabajo y sus relaciones. Los procedimientos de la empresa sobre algunos aspectos de la organización están relativamente bien documentados, como la ruta de un contrato de cliente, sin embargo, otros están escasamente documentados, por ejemplo: formación, evaluación y contratación. Allí se utilizaron principalmente las descripciones de puestos de los empleados. Junto con las tareas y procesos, se identificaron los tipos de recursos relevantes y los recursos que en su mayoría describen planes a futuro, a corto plazo y diarios y varios datos provenientes de los sistemas de información de la empresa, formularios de cambio de datos, varios informes y resúmenes para el equipo de gestión.

Paralelamente a la especificación de la vista orientada al proceso, también se especificó la vista orientada al rendimiento. Aquí, se utilizaron los documentos sobre la misión y los objetivos generales de la empresa, así como las descripciones de puestos donde se definen algunas medidas de desempeño y objetivos para los roles individuales. La declaración de la misión y los objetivos de la empresa se definieron con un nivel de abstracción muy alto utilizando nociones como la satisfacción del cliente, la motivación de los empleados, la eficiencia y la eficacia de las operaciones. Estos se utilizaron para definir los objetivos de más alto nivel en las jerarquías de objetivos. Mientras se perfeccionaron, reformularon y formalizaron los objetivos, se identificaron los PI relacionados. Por el contrario, los PI y los objetivos extraídos de las descripciones de puestos eran muy específicos, aunque incompletos. Se utilizaron para definir objetivos de nivel inferior. Cuando fue necesario, se insertaron metas intermedias para completar las estructuras de metas. Otros objetivos se basaron

en declaraciones de varios documentos de la empresa que definen medidas de desempeño. Primero se definieron los PI, luego los objetivos relacionados. Cuando la columna vertebral de las vistas orientadas a procesos y orientadas al desempeño estuvo disponible, el proceso de relacionarlos comenzó asignando metas y PI a procesos y tareas.

Finalmente, se definieron y formalizaron las relaciones específicas de autoridad y poder a partir de las jerarquías de roles y tareas. También se definieron las ontologías de entrada y salida para los roles. Las descripciones de puestos proporcionan requisitos bien definidos para los agentes que desempeñan las funciones que se incorporaron en la especificación como capacidades requeridas para las funciones.

Las restricciones específicas del dominio se extrajeron de todos los documentos disponibles en varios pasos del proceso. La mayoría de ellos fueron impuestos por la organización para regular sus procedimientos internos y garantizar un alto nivel de servicio y comunicación con los clientes. Las restricciones específicas de dominio impuestas por el mundo físico faltaban en su mayoría en la documentación, ya que se consideraban obvias. Estos se agregaron en función del conocimiento del dominio.

5.6.- Análisis de estructuras y dinámicas organizativas

Siguiendo a Sharpanskykh (Sharpanskykh, 2008), los fundamentos formales del marco propuesto permiten tres tipos de análisis automatizado:

- verificación de consistencia de las especificaciones de cada vista, es decir, establecer la corrección con un conjunto de restricciones.
- validación de especificaciones correctas por simulación.
- análisis de ejecuciones reales de escenarios organizacionales basados en especificaciones.

En la visión orientada al desempeño, se ha definido un conjunto de restricciones y reglas de razonamiento que aseguran la consistencia de las estructuras de PI y metas. En la vista orientada a procesos, las restricciones de consistencia estructural se definen para los tres tipos de estructuras: flujo de trabajo, jerarquías de tareas y recursos. La verificación de estas restricciones está respaldada por herramientas automáticas. Las especificaciones del flujo de trabajo se pueden analizar en diferentes niveles de abstracción. La visión orientada a la organización identifica conjuntos de restricciones de coherencia genérica en las estructuras de interacción de los roles y en las relaciones formales de autoridad. Para verificar tales restricciones, tanto la estructura de interacción como la

de autoridad se traducen a la representación gráfica, en la que cada vértice corresponde a un rol y cada borde corresponde a una relación de interacción/autoridad. Luego, usando algoritmos de la teoría de grafos se puede establecer la satisfacción de las restricciones. Las estructuras de la vista orientada a la organización también se pueden analizar en diferentes niveles de agregación.

Sobre la base de especificaciones correctas, se puede realizar una simulación en la que se asignan diferentes tipos de agentes, definidos utilizando los conceptos de la vista orientada al agente, a los roles de la organización. Al considerar diferentes escenarios de simulación del comportamiento organizacional, la validación de las especificaciones organizacionales se puede realizar utilizando la herramienta dedicada.

Para especificar modelos de simulación se utiliza un sublenguaje del TTL, el lenguaje temporal LEADSTO que permite modelar dependencias temporales directas entre propiedades de cada estado (Sharpanskykh, 2008). Una especificación de propiedades dinámicas en formato LEADSTO es ejecutable y, a menudo, puede representarse gráficamente con facilidad. La herramienta de simulación genera los resultados de la simulación en forma de traza. Las trazas se pueden utilizar para la validación de especificaciones mediante la comprobación de propiedades TTL dinámicas. Dada una traza y una propiedad formalizada como entrada, el software generará un resultado positivo o negativo.

Las especificaciones organizativas correctas se pueden utilizar para guiar y controlar la ejecución real de los procesos. Los datos de ejecución registrados por un EIS y estructurados en forma de traza pueden verificarse para verificar su conformidad con una organización formal mediante la especificación y el conjunto de restricciones. Para ello, la especificación de la organización formal se traduce en propiedades expresadas en el lenguaje de ejecución utilizado para la formalización de la traza. Estas propiedades se verifican en la traza utilizando el software TTL Checker. Además, el diseñador puede especificar propiedades adicionales para verificar.

Las trazas también se pueden utilizar para evaluar los PI asociados con los procesos ejecutados. Estos PI están relacionados con las hojas de la jerarquía de objetivos, por lo que se puede evaluar la satisfacción de estos objetivos. Los valores de satisfacción se propagan hacia arriba para establecer la satisfacción de los objetivos de nivel superior que determinan el rendimiento general de la organización.

6.- Conclusiones

En los capítulos anteriores se describió como la estructura organizacional de la empresa ha demostrado ser fundamental para enfrentar los cambios de su entorno económico y tecnológico, se vio como los primeros modelos de evaluación que se aplicaron se basaron en evaluaciones que no analizaron las estructuras de la organización, las cuales son las que potencian o dificultan su capacidad de adaptación a los desafíos de un cambio tecnológico cada vez más veloz y un entorno económico cada vez más cambiante.

En función de ello, buscó como evaluar la estructura Organizacional de las empresas mediante modelos surgidos de la teoría de Grafos. Se describió como con ellos se puede formular propuestas de mejora de las organizaciones, planes de capacitación, incentivos y mejora de los índices de producción. También se ha inferido que mediante estas técnicas se puede ayudar a iniciativas oficiales para formular planes de asistencia oficial, políticas de incentivos y asistencia crediticia para fines específicos. Por ello se ha demostrado la utilidad de la teoría y el análisis de redes para explicar los fenómenos relacionales dentro del contexto de las organizaciones empresariales.

Se ha demostrado que el estudio de grafos de red constituye un aporte significativo para la comprensión de las dinámicas de desarrollo de estas redes en distintos entornos económicos y tecnológicos, pues aumenta la posibilidad de análisis sobre las distintas empresas y amplifica el margen de comprensión de los intereses, afinidades, competencias y atracciones, al centrarse en la revisión de las relaciones. Este análisis, afianza además la comprensión de las influencias a lo largo del tiempo y sus modificaciones producto del efecto de diversas variables como la movilidad geográfica o los cambios experimentados a lo largo del tiempo.

Todos estos elementos son condiciones a tener en cuenta para poder plantear estrategias dirigidas al mejoramiento de las condiciones económicas de las empresas, y si bien es cierto que un grafo de red puede construirse a partir de relaciones espontáneas y mediante prácticas aleatorias, también lo es que una adecuada coordinación de las políticas de intercambio y la potenciación de los recursos de las interacciones, facilitan tanto el desarrollo de las empresas en todos los niveles de la actividad económica. En este contexto, cobra importancia el desarrollo de intervenciones en la formulación de grafos de red en donde se ejecuten procesos de organización de las prácticas de intercambios, de forma que las redes constituidas apunten a la articulación y a las necesidades comunes, ampliando la probabilidad de generar nuevas actividades económicas, vinculación más abierta,

flexible y con predisposición a integrarse en formatos de macro redes mediante la creación de redes secundarias formales.

A partir de allí se describieron las variables de la estructura Organizacional, describió la estructuración de los instrumentos de evaluación del desempeño de las variables de la estructura Organizacional de la empresa, se describió el desarrollo de modelos a partir de la teoría de grafos de red que permitan describir caracterizar y evaluar la estructura Organizacional de las empresas, se desarrollaron modelos a partir de la teoría de los grafos de red que permitieron describir, caracterizar y evaluar las vinculaciones de las estructura Organizacional de las empresas en las características del clúster de Bahía Blanca y aplicar los instrumentos desarrollados para de evaluación del desempeño de las variables de la estructura Organizacional a nivel de cada empresas. En particular, en el clúster productivo de Bahía Blanca donde se encontraron empresas de distintas características, desde una empresa multinacional a una Pyme familiar muy consolidada, también existen y todas poseen distintos tipos de encadenamientos productivos entre sí. Al aplicar los instrumentos desarrollados para de evaluación del desempeño de las variables de la estructura Organizacional a nivel grupal dentro del clúster de Bahía Blanca, se validó que este modelo de análisis puede permitir formular medidas para dar solución problemas que puedan detectarse y/o proponer mejoras para aumentar la productividad del clúster de Bahía Blanca.

Como alternativa a la metodología de los grafos de red se ha descripto un marco formal para el modelado y análisis de organizaciones. El marco incluye una rica base ontológica que comprende conceptos y relaciones divididas en cuatro vistas dedicadas: vista orientada al proceso, orientada al desempeño, orientada a la organización y orientada al agente. El marco se puede utilizar para representar diferentes tipos de organizaciones, desde mecanicistas hasta orgánicas y permite definir diferentes tipos de restricciones utilizando los lenguajes formales dedicados de las vistas. Además, incorpora modelos de individuos basados en agentes basados en teorías sociales. A diferencia de muchas arquitecturas existentes, el marco propuesto permite realizar diferentes tipos de análisis automatizado de vistas particulares y entre vistas. Las especificaciones organizacionales se pueden representar y analizar en diferentes niveles de abstracción, lo que permite manejar una alta complejidad y aumenta la escalabilidad del modelado.

También permite la reutilización de varias maneras que acelera y facilita el proceso de modelado. Las bibliotecas de partes de estructuras que aparecen comúnmente, como jerarquías de objetivos y tareas, estructuras de PI, gráficos de flujo de trabajo, etc., se pueden reutilizar para organizaciones en dominios similares. La herramienta utilizada permite definir plantillas parametrizadas para

fórmulas TTL que pueden ser instanciadas de diferentes maneras y que también pueden ser utilizadas como soporte para diseñadores no expertos en lógica. También, la aplicación del marco propuesto ha sido ilustrada por un ejemplo de una organización del dominio de la seguridad. Esto permite facilitar aún más el uso del marco en varios entornos organizacionales, para investigar cómo se puede facilitar y modelar el cambio organizacional. El cambio organizacional ejerce una gran presión y riesgo para una organización y sus empleados, frecuentemente no se alcanzan los resultados esperados, se exceden las limitaciones de presupuesto y tiempo; por ello las técnicas para hacer que el proceso sea más completo y proporcionar medios para el análisis de la nueva organización diseñada antes de que se realice la inversión principal pueden disminuir el riesgo y proporcionar una mejor oportunidad para el éxito.

Adicionalmente su uso permitiría definir plantillas para diferentes tipos de organizaciones que se pueden reutilizar y convertirse en la base de nuevas especificaciones. En aspectos específicos, como la estructura jerárquica, plana o basada en equipos se pueden predefinir hasta cierto punto, lo que le da al diseñador la oportunidad de personalizar la plantilla.

El marco presentado como alternativa está diseñado para modelar una sola organización. Su entorno se puede modelar en un alto nivel como objetos ambientales y características que pueden cambiar con el tiempo. Las organizaciones modernas a menudo entran en cooperación con otras organizaciones, como organizaciones de clientes o proveedores y, a veces, es necesario cierto grado de alineación, por ello si bien resulta ser una herramienta útil, las dificultades para integrar distintas organizaciones y vincularlas a otras estructuras macro, restringe sus posibilidades de uso en el análisis macro.

En contraste el resultado del estudio realizado con grafos de redes puede extenderse a EO más complejas, para lo cual podría demostrarse que existen formas de simplificarlas sin que los resultados de los beneficios cambien significativamente. En cuanto a su aplicación al clúster económico de Bahía Blanca vemos que de poder simplificar las estructuras funcionales a dos niveles, el gerencial y el operativo en una primer y amplia simplificación, se podría describir casi la mitad de las EO de las empresas del clúster. También la posibilidad de integrar distintas organizaciones en modelos que se agrupen en forma de clúster, y esta a su vez, volverlas a integrar en entornos macro, brinda la posibilidad de realizar análisis más complejos.

Abello, R., Amar-Amar, J., Madariaga, C., y Hernando, J. (2012). Análisis de Redes sociales en el contexto comunitario. En Ávila-Toscano, J. (Coord.), *Redes sociales y análisis de redes: Aplicaciones en el contexto comunitario y virtual* (pp. 133-167). Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.

Abello, R., y Madariaga, C. (1999). Las redes sociales ¿Para Qué? *Psicología desde el Caribe*, Universidad del Norte, volumen 2-3, 116-135.

Abernethy, M., y Vagnoni, E. (2004). Power, organization design and managerial behaviour. *Accounting, Organizations and Society*, volume 29(3-4), 207-225.

Adamic, L., Lukose, R., Puniyani, A., y Huberman, B. (2001). Search in power-law networks. *Physical Review E*, volume 64(4), subdivision 2, number 046135.

Agranoff, R., y McGuire, M. (2001). Big questions in public network management research. *Journal of Public Administration Research and Theory*, volume 11(3), 295-326.

Aguirre, J. (2011). Introducción al análisis de redes sociales. Centro Interdisciplinario para el Estudio de Políticas Públicas, Argentina. Documentos de trabajo, número 82.

Akhtar, N. (2014). Social Network Analysis Tools. In proceedings of the 2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies: CSNT. Bhopal, India, 7-9 April 2014, pp. 388-392.

Allen, J.F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*, 26, 832-843.

Allen, T., y Henn, G. (2004). The organization and architecture of innovation: Managing the flow of technology. Burlington, USA: Butterworth-Heinemann.

Alles, M. (2013). COMPORTAMIENTO ORGANIZACIONAL: cómo lograr un cambio cultural a través de gestión por competencias. Disponible en: <http://books.google.es/books?>

Allway, M. and Corbett, S. (2002), ¿Shifting to lean service: stealing a page from manufacturers? playbooks?, *Journal of Organizational Excellence*, Vol. 21 No. 2, pp. 45-54.

Altman, N. (1992). An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, volume 46(3), 175-185.

- Alvarado, E. (1990). Control estratégico, Un marco conceptual para empresarios y administradores. Editorial Libro Libre. Costa Rica. (1990).
- Álvarez, H. (2019). Taller de análisis de redes sociales. American Psychological Association (2010) en Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (sexta edición). México DF,
- Amat, J. Ma. (1992). El Control de Gestión: Una perspectiva de Dirección. Ed. Ediciones Gestión 2000 S.A. Barcelona. España.
- Arriagada, I. (2003). Capital social, potencialidades y limitaciones analíticas de un concepto. Estudios Sociológicos, volumen XXI (3), 557-584.
- Ávila-Toscano, J. (Coord.). (2012). Redes sociales y análisis de redes: aplicaciones en el contexto comunitario y virtual. Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.
- Ávila-Toscano, J., y Madariaga, C. (2010). Redes personales y dimensiones de apoyo en individuos desmovilizados del conflicto armado. Psicología desde el Caribe, volumen 25,179-201.
- Ávila-Toscano, J., Gutiérrez, B., y Pérez., J. (2011). Indicadores estructurales y conglomerados de actores en la red social de una subcultura urbana. Revista colombiana de psicología, volumen 20(2), 193-207.
- Ávila-Toscano, J., y Madariaga, C. (2012a). Las redes en el contexto comunitario. Redes, apoyo y desarrollo comunitario: en el papel del soporte social. En Ávila-Toscano, J. (Coord.), Redes sociales y análisis de redes: Aplicaciones en el contexto comunitario y virtual (pp. 48-66). Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.
- Ávila-Toscano, J., y Madariaga, C. (2012b). Redes sociales: un ejercicio caracterológico. En Ávila-Toscano, J. (Coord.), Redes sociales y análisis de redes: aplicaciones en el contexto comunitario y virtual (pp. 14-47). Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.
- Bacharach, S.B., y Lawler, E.J. (1980). *Power and politics in organizations*. Jossey-Bass, San Francisco.
- Baiman, S., y Rajan, M. (2002). Incentive issues in inter-firm relationships. Accounting, Organizations and Society, volume 27(3), 213-238.
- Barabási, A. (2003). Linked. USA: Editorial Penguin Group.
- Barkaoui, K., y Petrucci L. (1998). Structural analysis of workflow nets with shared resources. In W.M.P. van der Aalst, G. De Michelis, C.A. Ellis (Eds.), *Workflow Management: Net-based Concepts, Models, Techniques and Tools* (pp. 82–95). Lisbon: UNINOVA.

- Barnes, J. (1954). Class and committees in a Norwegian island parish. *Human Relations*, volume 7, 39-58.
- Batagelj, V., y Mrvar, A. (2004). Pajek- Analysis and visualization of large networks. In Jünger M., y Mutzel P. (Eds.), *Graph Drawing Software. Mathematics and Visualization* (pp. 77-103). Heidelberg, Berlín: Springer.
- Berardo, R., y Scholz, J. (2010). Self-organizing policy networks: Risk, partner selection, and cooperation in estuaries. *American Journal of Political Science*, volume 54(3), 632-649.
- Bermúdez-Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta, *Ingeniería Industrial, Actualidad y Nuevas Tendencias*, 85-104
- Bernus, P., Nemes, L., y Schmidt, G. (Eds.). (1998). *Handbook on Architectures of Information Systems* Heidelberg: Springer.
- Berry, A. (1994). Spanning traditional boundaries: Organization and control of embedded operations. *Leadership y Organization Development Journal*, volume 15(7), 4-10.
- Biddle, B. (1979). *Role Theory: Concepts and Research*. Krieger Publishing Co.
- Birnberg, J. (1998). Control in interfirm co-operative relationships. *Journal of Management Studies*, volume 35, 421-428.
- Bisbe, J., y Otley, D. (2004). The effects of the interactive use of management control systems on product innovation. *Accounting, Organizations and Society*, volume 29, 709-737.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., y Hwang, D. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, volume 424(4-5), 175-308.
- Boden, B., Haag, R., y Seidl, T. (2013). Detecting and exploring clusters in attributed graphs: a plugin for the Gephi Platform. In proceedings of the 22nd ACM International Conference on Information y Knowledge Management: CIKM, volumen 13, 2505-2508.
- Boissevain, J. (1979). Network analysis: A reappraisal. *Current Anthropology*, volume 20(2), 392-394.
- Boland Jr., R.J., Sharma, A.K., y Alfonso, P.S. (2008). Designing management control in hybrid organizations: The role of path creation and morphogenesis. *Accounting, Organizations and Society*, volume 33(7-8), 899-914.
- Bonacich, P. (1972). Factoring and weighing approaches to status scores and clique identification. *The Journal of Mathematical Sociology*, volume 2(1), 113-120.

- Borgatti, M., Jones, C., y Everett, M. (1998). Network measures of social capital. *Connections*, volume 21(2), 27-36.
- Borgatti, S. (2006). Identifying sets of key players in a social network. *Comput Math Organ Theory*, volume 12, 21-34.
- Borgatti, S., y Cross, R. (2003). A relational view of information seeking and learning in social networks. *Management Science*, volume 49(4), 432-445.
- Borgatti, S., y Everett, M. (1999). Models of core/periphery structures. *Social Networks*, volume 21, 375–395.
- Borgatti, S., y Everett, M. (2006). A graph-theoretic perspective on centrality. *Social Networks*, volume 28(4), 466-484.
- Borgatti, S., y Foster, P. (2003). The network paradigm in organizational research: a review and typology. *Journal of Management*, volume 29(6), 991-1013.
- Borgatti, S., Mehra, A., Brass, D., y Labianca, G. (2009). Network analysis in the social sciences. *Science*, volume 323(5916), 892-895.
- Brand, E., Gómez, H. (2006). Análisis de redes sociales como metodología de investigación: Elementos básicos y aplicación. *La sociología en sus escenarios*, volumen 13, 1-28.
- Brandes, U., Kenis, P., y Raab, J. (2005). La explicación a través de la visualización de redes. *Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, volumen 9(6), 1-19.
- Brandes, U., Raab, J., y Wagner, D. (2001). Exploratory network visualization: Simultaneous display of actor status and connections. *Journal of Social Structure*, volume 2(4), 1-28.
- Bresciani, P., Giorgini, P., Giunchiglia, F., Mylopoulos, J., Perini, A. (2004). Tropos An Agent-Oriented Software Development Methodology. *Journal of Autonomous Agent and Multi-Agent Systems*, 8(3): 203-236.
- Brynjolfsson, E., L. Hitt. 1996. Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending. *Management Sci.* 42 541–558.
- Burt, R. (1980). Models of network structure. *Annual Review of Sociology*, volume 6, 79-141.
- Burt, R. (1987). Social Contagion and Innovation. Cohesion versus Structural Equivalence. *The American Journal of Sociology*, volume 92(6), 1287-1335.

- Burt, R. (1992). Structural holes. The social structure of competition. Cambridge, USA: Harvard University Press.
- Burt, R. (2000). The network structure of social capital. *Research in Organizational Behavior Colección. Research in Organizational Behavior*, volume 22, 345-423.
- Burton, R. M., B. Obel. 1995. *Strategic Organizational Diagnosis and Design*. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.
- Burton, R.M., y Obel, B. (2004). *Strategic Organizational Diagnosis and Design: Developing Theory for Application*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Busco, C., Giovanni, E., y Scapens, R. (2008). Managing the tensions in integrating global organisations: The role of performance management systems. *Management Accounting Research*, volume 19, 103-125.
- Butts, C. (2008). Social network analysis with sna. *Journal of Statistical Software*, volume 24(6), 1-51.
- Caglio, A., y Ditillo, A. (2008). A review and discussion of management control in interfirm relationships: Achievements and future directions. *Accounting, Organizations and Society*, volume 33(7-8), 865-898.
- Carley, K. M. 1991. A theory of group stability. *Amer. Soc. Rev.* 56 331–354.
- Castells, M. (1997). *La era de la información. Economía, sociedad y cultura. La sociedad red*, volumen 1, 2 y 3, Madrid, España: Alianza Editorial.
- Castells, M. (2011). A network theory of power. *International journal of communication*, volume 5, 773-787.
- Castro, L., Dong, X., y Shaikh, N. (2018). Efficient simulation and analysis of mid-sized networks. *Computers and Industrial Engineering*, volume 119, 273-288.
- Chadi, M. (2000). *Redes sociales en el trabajo social*. Buenos Aires: Espacio editorial.
- Chambers, D., Wilson, P., Thompson, C., y Harden, M. (2012). Social network analysis in healthcare settings: Asystematic scoping review. *Journal PLoS ONE*, volume 7(8), 1-10.
- Chapurlat, V., Kamsu-Foguem, B., y Prunet, F. (2006). A formal verification framework and associated tools for enterprise modeling: Application to UEML, *Computers in industry*, 57, 153-166.

- Chase, R. B., y Jacobs, F. R. (2014). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (13ª. ed.). Ciudad de México, México: McGraw Hill.
- Chenhall, R. (2003). Management control systems design within its organizational context: Findings from contingency-based research and directions for the future. *Accounting, Organizations and Society*, volume 28, 127-168.
- Christley, R., Pinchbeck, G., Bowers, R., Clancy, D., French, N., Bennett, R., y Turner, J. (2005). Infection in social networks: Using network analysis to identify high-risk individuals. *American Journal of Epidemiology*, volume 162 (10), 1024-1031.
- Chuang, S.-H., Liao, C., y Lin, S. 2013. Determinants of knowledge management with information technology support impact on firm performance. *Information Technology and Management*, 14(3), 217–230. <https://doi.org/10.1007/s10799-013-0153-1>
- Clauset, A., Moore, C., y Newman, M. (2008). Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks. *Nature*, volume 453(7191), 98-101.
- Clyde, J. (1969). The concept and use of social networks. In Clyde, J. (Ed.), *Social networks in urban situations*. Manchester: Manchester University Press.
- Cole, G. (1995). *ORGANIZATIONAL BEHAVIOUR*. DP Publications, London, UK.
- Cooper, R., y Yoshikawa, T. (1994). Inter-organizational cost management systems: The case of the Tokyo-Yokohama-Kamakura supplier chain. *International Journal of Production Economics*, volume 37, 51-62.
- Coto, E. (2003). *Algoritmos Básicos de Grafos*, Venezuela, Caracas
- Cover, T., y Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, volume 13(1), 21–27.
- Csardi, G., y Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, volume 1695(5), 1-9.
- Cullen, J., Berry, A. J., Seal, W., Dunlop, A., Ahmed, M., y Marson, J. (1999). Interfirm supply chains. The contribution of management accounting. *Management Accounting*, volume 77(6), 30-32.
- Czarniawska-Jeorges, B. (1992) *Exploring complex organizations. A cultural perspective*. London: Sage Publications.
- Dabas, E. (2006). *Viviendo redes*. En Dabas, E. (Comp.). *Viviendo redes. Experiencias y estrategias para fortalecer la trama social*. Argentina: Ediciones Ciccus.

- Daft, R. (2000). *Teoría y diseño organizacional*. México: International Thomson Editores.
- Dalal, N., Kamath, M., Kolarik, W. y Sivaraman, E. (2004). Toward an integrated framework for modeling enterprise processes. *Communications of the ACM*, 47(3), 83-87.
- De la Peña, J. (2012). Sistemas de transporte en México: Un análisis de centralidad en teoría de redes. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, volumen 3 (3), 72-91.
- De Nooy, W., Mrvar, A., y Batagelj, V. (2011). *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge University Press.
- DeCanio, S. J., W. E. Watkins. 1998. Information processing and organizational structure. *J. Econom. Behavior and Organ.* 36 275–294.
- Dekker, H. (2003). Value chain analysis in interfirm relationships: A field study. *Management Accounting Research*, volume 14(1), 1-23.
- Dekker, H. (2004). Control of inter-organizational relationships: Evidence on appropriation concerns and coordination requirements. *Accounting, Organizations and Society*, volume 29(1), 27-49.
- Dessler, Gary (2000)?*Administración de personal?*, Octava Edición, Editorial Prentice Hall
- Diestel, R. (2000). *Graph Theory*. Electronic edition 2000, New York: Springer-Verlag.
- Dignum, V. (2003). *A model for organizational interaction: based on agents, founded in logic*. Ph.D. Dissertation, Utrecht University.
- Dodds, P., Muhamad, R., y Watts, D. (2003). An experimental study of search in global social networks. *Science*, volume 301(5634), 827-829.
- Domeyer, D (2005). Planning for performance reviews I. *Women in Business Magazine*. American Business Women's Association. January- February.
- Doreian, P, y Stokman, F. (2013). *Evolution of Social Networks*. Londres: Routledge.
- Durand, J. (2000). Origen es destino. Redes sociales, desarrollo histórico y escenarios contemporáneos. En Tuirán, R. (Coord.), *Migración México-Estados Unidos: Opciones de política*. México: Universidad de Guadalajara.
- Durland, M., y Fredericks, K. (2006). *Social Network Analysis in Program Evaluation*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Eisenhardt, K. (1985). Control: organizational and economic approaches, *Management Science*, volumen 31(2), 134-149.

- Ellram, L., y Cooper, M. (2014). Supply chain management: It's all about the journey, not the destination. *Journal of Supply Chain Management*, volume 50(1), 8-20.
- Elmaghraby, S.(1974): "Some network models in management science, ". Springer Verlag, New York. 1st edition.
- Emirbayer, M., y Goodwin, J. (1994). Network analysis, culture, and the problem of agency. *The American Journal of Sociology*, volume 99(6), 1411-1454.
- Ennis, G., y West, D. (2013). Using social network analysis in community development practice and research: A case study. *Community Development Journal*, volume 48(1), 40-57.
- Evan, W. (1967). La órbita de la organización: Hacia una teoría de las relaciones interorganizacionales. En Thompson, J. (Ed.), *Teoría de la organización* (pp. 197- 214). Buenos Aires: OMEBA.
- Faust, V., Christens, B., Sparks, S., y Hilgendorf, A. (2015). Exploring relationships among organizational capacity, collaboration, and network change. *Psychosocial Intervention*, volume 24, 125-131.
- Ferber, J., y Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multiagent systems. In Y. Demazeau (Ed.), *Proceedings of Third International Conference on Multi-Agent Systems* (pp. 128-135). IEEE Computer Society.
- Fernández, D. (2008). El análisis de redes sociales aplicado al estudio de la estructura de las industrias culturales. En congreso I+C: Investigar la Comunicación, Santiago de Compostela, España, 30 enero al 1 febrero 2008, pp. 1-16.
- Flores, R. (2014). Análisis de redes sociales para el desarrollo territorial sustentable. En congreso Latino Americano de Estudiantes de Posgrado en Ciencias Sociales: CLEPSO. Ciudad de México, México, 26-27 junio 2014, pp.1-20.
- Fox, M., Barbuceanu, M., Gruninger, M., y Lin, J. (1997). An Organization Ontology for Enterprise Modelling. In M. Prietula, K. Carley, L. Gasser (Eds.), *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups* (pp. 131-152). Menlo Park CA: AAI/MIT Press.
- Freeman, L. (1978). Centrality in social networks: Conceptual clarification. *Social Networks*, volume 1, 215-239.
- Freeman, L. (2004). *The development of social network analysis: A study in the sociology of science*, Vancouver, Canada: Empirical Press.

- Gaete, J., y Vásquez, J. (2008). Conocimiento y estructura en la investigación académica: una aproximación desde el análisis de redes sociales. *Revista hispana para el análisis de redes sociales*, volumen 14(1), 1-33.
- Galeano, F y Serrano, F. (2013). LA CULTURA ORGANIZACIONAL Y LOS COMPORTAMIENTOS EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR PÚBLICO.
- García, M, y Domínguez, J. (2012). Introducción a la teoría de matrices positiva: aplicaciones. Universitat Politècnica de Catalunya, Iniciativa Digital Politècnica.
- García, M., y Guadalupe, M. (2007). Redes organizacionales, nueva estrategia de gestión, caso: CONAPRED. En congreso Estrategias Organizacionales Contemporáneas, Universidad Autónoma Metropolitana, pp.1360-1380.
- García, S. (2012). Análisis de redes sociales: Explorando la cara oculta de la organización. *Revista Empresa y Humanismo*, volumen XV (1), 43-62.
- Garmón, J; López, J; Martínez, A. (2012) Estructura, planificación y organización de la empresa.
- Gersbach, H., U. Wehrspohn. 1998. Organizational design with a budget constraint. *Rev. Econom. Design* 3 149–157.
- Girvan, M., y Newman, M. (2002). Community structure in social and biological networks. In *proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, volume 99(12), 7821-7826.
- Glass, G. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, volume 5(10), 3-8.
- Goldberg, D. E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Goodaire y Parmenter. (1997). *Discrete Mathematics with Graph Theory*. Prentice-Hall.
- Goodman, L. (1960). Snowball Sampling. *The Annals of Mathematical Statistics*, volume 32, 148-170.
- Graham W. (2011). *Data Mining with Rattle and R. The Art of Excavating Data for Knowledge Discovery*. Ed. Springer Science Business Media, ISBN 978 14419 9889 7, New York, Estados Unidos.
- Graicunas, V. A. 1933. Relationship in organization. *Bull. Internat. Management Inst.* 7 39–42.

- Grandori, A. 1991. Negotiating efficient organization forms. *J. Econom. Behavior and Organ.* 16 319–340.
- Granovetter, M. (2003). La fuerza de los lazos débiles. Revisión de la teoría reticular. En Requena, F. (Ed.), *Análisis de redes sociales. Orígenes, teoría y práctica*. Colección monografía, Centro de estudios sociológicos, Madrid: Siglo XXI, número 198, 196- 230.
- Griffin, R; Moorhead, G. (2014). *Organizational Behavior, Managing people and Organizations*.
- Grossman R. y Gu Y. (2008). Data mining using high performance data clouds: experimental studies using sector and sphere. In *ACM SIGKDD*, pp. 920-927.
- Gulati, R., y Singh, H. (1998). The architecture of cooperation: Managing coordination costs and appropriation concerns in strategic alliances. *Administrative Science Quarterly*, volume 43, 781-814.
- Haines, V., Godley, J., y Hawe, P. (2011). Understanding Interdisciplinary Collaborations as Social Networks. *Am J Commun Psychol*, volume 47(1-2), 1-11.
- Hall, R. (1996). *Organizaciones, estructura, procesos y resultados*. México: Prentice Hall.
- Hanneman, R. (2000). *Introducción a los métodos del análisis de redes sociales*. Riverside: University of California Riverside.
- Hanneman, R., y Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods*. Riverside: University of California Riverside.
- Hannoun, M., Boissier, O., Sichman J.S., Sayettat, C. (2000). MOISE: An Organizational Model for Multi-agent Systems. In M.C. Monard, J.S. Sichman (Eds.), *Proceedings of the 7th Ibero-American Conference on AI: Advances in Artificial Intelligence, LNCS 1952* (pp. 156 – 165), Berlin: Springer.
- Harary, F., E. M. Palmer. 1973. *Graphical Enumeration*. Academic Press, New York.
- Harary, F., Norman, R., y Cartwright, D. (1965). *Structural model: An introduction to the theory of directed graphs*. Nueva York: John Wiley & Sons Inc.
- Hellriegel, D. y Slocum, J. (2009). *Comportamiento organizacional*. 12 ed. Cengage Learning. MX.
- Henri, J. (2006). Management control systems and strategy: A resource-based perspective. *Accounting, Organizations and Society*, volume 31(6), 529-558.
- Herrero, R. (2000). La terminología del análisis de redes. *Problemas de definición y traducción. Política y Sociedad*, volumen 33, 199-206.

- Hidalgo, R. (2016). Análisis de la gestión de redes de organizaciones orientadas a la prestación de servicios empresariales. *Revista Empresarial, ICE-FEE-UCSG Edición 39, volumen 10(3)*, 46-55.
- Holland, J. H. 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Hopkins y Robin. (2004). The Truth About Königsberg. *The College Mathematics Journal*, 35, 198-207.
- Horling, B, y Lesser, V. (2005). A Survey of multi-agent organizational paradigms. *The Knowledge Engineering Review*, 19(4), 281-316.
- Hough, Kolda and Torczon. (2001). Asynchronous parallel pattern search for nonlinear optimization. *SIAM Journal on Scientific Computing* 23[1], 134 -156.
- Huberman, B. A., T. Hogg. 1995. Communities of practice: Performance and evolution. *Comput. Math. Organ. Theory* 1 73–92.
- Hubner, J.F., Sichman, J.S., y Boissier, O. (2002). MOISE+: towards a structural, functional and deontic model for MAS organization. In C. Castelfranchi, L. Johnson (Eds), *Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 501-502), ACM.
- Ittner, C., y Larcker, D. (1997). Quality strategy, strategic control systems and organizational performance. *Accounting, Organizations and Society*, volume 22(3-4), 293-314.
- Ivancevich, J; Konopaske, R; Matteson, M. (2006). *Comportamiento organizacional*. 7 ed. McGRAW-HILL. MX.
- Kai, N., Yao-ting, Z., y Yue-peng, M.(2014). Shortest Path Analysis Based on Dijkstra's Algorithm in Emergency Response System, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 12(5), 3476-3482
- Kale, P., Singh, H., y Perlmutter, H. (2000). Learning and protection of proprietary assets in strategic alliances: Building relational capital. *Strategic Management Journal*, volume 21, 217-237.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo*, 4ª Ed., Ginebra, Suiza, OIT
- Karim, M.A., Samaranayake, P., Smith, A.J. and Halgamuge, S. (2010), ?An on-time delivery improvement model for manufacturing organisations?, *International Journal of Production Research*, Vol. 48No. 8, pp. 2373-94.
- Karim, M.A., Smith, A.J. and Halgamuge, S. (2008a). A comparative study of manufacturing practices and performance variables?, *International Journal of Production Economics*, Vol. 112, pp. 841-59.

- Karim, M.A., Smith, A.J. and Halgamuge, S. (2008b), 'Empirical relationships between some manufacturing practices and performance', *International Journal of Production Research*, Vol. 46 No. 13, pp. 3583-613.
- Keim, D. (2002). Information visualization and visual data mining. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, volume 7(1), 100-107.
- Kellegöz, T., y Toklu, B. (2015). A priority rule-based constructive heuristic and an improvement method for balancing assembly lines with parallel multi-manned workstations, *International Journal of Production Research* , 53 (3), 736-756
- Kennedy, P. W. 1994. Information processing and organization design. *J. Econom. Behavior and Organ.* 353 37–51.
- Kim, S. B. (2014). Impacts of knowledge management on the organizational success. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(6), 1609–1617. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0243-6>
- Kleinberg, J., y Tardos, É. (2006). *Algorithm design*, Boston, Pearson/Addison-Wesley
- Knoke, D., y Kuklinski, J. (1982). *Network analysis*. Beverly Hills: Sage Publications.
- Knoke, D., y Yang, S. (2008). *Social network analysis*. En Knoke, D. (Ed.), *Series Quantitative Applications in the Social Sciences*, number 154, USA: Sage Publications.
- Kollman, K., J. H. Miller, S. E. Page. 1997. Political institutions and sorting in a Tiebout model. *Amer. Econom. Rev.* 87 977–992.
- Kossinets, G., y Watts, D. (2006). Empirical analysis of an evolving social network. *Science*, volume 311(5757), 88-90.
- Koubarakis, M., y Plexousakis, D. (2002). A formal framework for business process modeling and design. *Information Systems*, 27(5), 299–319.
- Krackhardt, D. 1994. Graph theoretical dimensions of informal organizations. K. M. Carley, M. J. Prietula, eds. *Computational Organization Theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ. 89–111.
- Kuz, A., Falco, M., y Giandini, R. (2016). Análisis de redes sociales: Un caso práctico. *Computación y Sistemas*, volumen 20(1), 89-106.
- Kwait, J., Valente, T., y Celentano, D. (2001). Interorganizational relationships among HIV/AIDS service organizations in Baltimore: A network analysis. *J. Urban Health*, volume 78(3), 468-487.

- Landherr, A., Friedl, B., y Heidemann, J. (2010). A critical review of centrality measures in social networks. *Business & Information Systems Engineering*, volume 2(6), 371-385.
- Lant, T. K. 1994. Computer simulations of organizations as experiential learning systems: Implications for organization theory. K. M. Carley, M. J. Prietula, eds. *Computational Organization Theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ. 195–215.
- Lee, H., Kim, P., y Jeong, H. (2006). Statistical properties of sampled networks. *The American Physics Society*, volume 73(1), 1-8.
- Lee, J. 1998. Dynamic organizations: Organizational adaptation in a changing environment. J. A. Baum, ed. *Advances in Strategic Management, Vol. 15: Disciplinary Roots of Strategic Management Research*. JAI Press, Inc., Stamford, CT.
- Levine, D. 1996. Users Guide to the PGAPack Parallel Genetic Algorithm Library. Argonne National Laboratory publication ANL-95/18, <http://www-fp.mcs.anl.gov/division/publications/reports.htm>.
- Levinthal, D. A. 1997. Adaptation on rugged landscapes. *Management Sci.* 43 934–950.
- Levitin, A. (2011). *Introduction to the Design and Analysis of Algorithms* (3 ed), Pearson.
- Levitt, R. E., G. P. Cohen, J. C. Kunz, C. I. Nass, T. Christiansen, Y. Jin. 1994. The “virtual design team”: Simulating how organization structure and information processing tools affect team performance. K. M. Carley, M. J. Prietula, eds. *Computational Organization Theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ. 1–18.
- Lima Filho, Cavalcanti y Justel. (2017) .Graph modeling from relational databases. 2017 XLIII Latin American Computer Conference (CLEI)
- Lin, T.-C., Chang, C. L., y Tsai, W.-C. 2016. The influences of knowledge loss and knowledge retention mechanisms on the absorptive capacity and performance of a MIS department. *Management Decision*, 54(7), 1757–1787. <https://doi.org/10.1108/MD-02-2016-0117>
- Lin, Z., K. Carley. 1994. Organizational response: Trade-offs among opportunities for review, cost, and performance. *Computational Organization Design. Papers from the 1994 AAI Spring Symposium*. AAI Press, Technical Report SS-94-07, Menlo Park, CA.
- Lozares, C. (1996). La teoría de redes sociales. *Revista de Sociología*, volumen 48, 103-126.
- Lozares, C. (2005). Bases socio-metodológicas para el análisis de redes sociales, *ARS. Empiria: Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, volumen 10, 9-35.

- Luján, M., Martig, S., y Castro, S. (2008). Aplicación de visualización de grafos utilizando servicios Web. En Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación: WICC, Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa, Argentina, 5-6 mayo 2008, pp. 301-305.
- Madariaga, C., y Ávila-Toscano, J. (2012). Análisis de redes sociales. En Ávila-Toscano, J. (Coord.), Redes sociales y análisis de redes: Aplicaciones en el contexto comunitario y virtual (pp. 97-131). Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.
- Malaver, M., Rivera, H., y Alvarez, L. (2010). La ciencia de las redes, la conectividad y la sociedad. Semestre Económico, volumen 13(26), 149-157.
- Marschak, T., S. Reichelstein. 1998. Network mechanisms, informational efficiency, and hierarchies. J. Econom. Theory 79 106–141.
- Marsden, P. (1982). Brokerage behavior in restricted exchange networks. In Marsden, P, y Lin, N. (Eds.), Social structure and network analysis. Beverly Hills: Sage Publications.
- Martínez Escanaverino, J., Llamas Soriz, J., García Toll, A. et al. (2002). Control, design and error variables in decomposition of design optimization problems? En: ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering, DETC. Montreal, Quebec, Canada. ISBN 0-7918-3603-7.
- Martínez, H., y Sanabria, A. (2008). Algebra Lineal.
- Matei, S. (2011). Analyzing Social Media Networks with NodeXL: Insights from a connected world by Derek Hansen, Ben Shneiderman, and Marc A. Smith. International Journal of Human-Computer Interaction, volume 27(4), 405-408.
- Matías, G., y Arias, M. (2003). Dirección estratégica de redes organizacionales. Revista del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: Economía y Sociología, volumen 46, 127- 142.
- McDowell, T., Horn, H., y Witkowski, D. (2016). Organizational network analysis gain insight, drive smart. Deloitte Touche Tohmatsu Limited, volume 1, 2-4.
- McNeill, J., y McNeill, W. (2010). Las redes humanas. Una historia global del mundo. Barcelona. España: Editorial Crítica.
- Meagher, K., T. Van Zandt. 1997. Managerial costs for one-shot decentralized information processing. Unpublished manuscript, Australian National University and Princeton University.
- Medrano, J., Alonso, J., y Figuerola, C. (2010). Visualización de grafos Web.

- Mejía, C. (2010). Análisis de redes sociales a gran escala. Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México.
- Mellon University, Pittsburgh, PA. Oberschelp, W. 1967. Kombinatorische Anzahlbestimmungen in relationen. Math. Ann. 174 53–58.
- Merchant, K. (1982). The control function of management in Merchant, K. (1985). Control in business organizations. Cambridge: Ballinger Publishing Company.
- Merchant, K., y Otley, D. (2007). A review of the literature on control and accountability handbook of management accounting research. In Chapman, C., Hopwood, A., y Shields, M. (Eds.), Handbook of management accounting research (pp. 785-802). Amsterdam: Elsevier.
- Mesa, X., y Murcia, J. (2017). El análisis de redes sociales - ARS, como recurso metodológico para el estudio formal de redes de políticas públicas. En congreso Latinoamericano de Ciencia Política, organizado por la Asociación Latinoamericana de Ciencia Política: ALACIP. Montevideo, Uruguay, 26-28 julio 2017.
- Mihavics, K. W., A. M. Ouksel. 1996. Learning to align organizational design and data. Comput. Math. Organ. Theory 1 143–155.
- Miller, J. H. 1996. Evolving information processing organizations. Manuscript, Department of Decision and Social Sciences, Carnegie
- Mintzberg, H. (1979). *The Structuring of Organizations*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Mitchell, J. (1969). The concept and use of social networks. In Mitchell, J. (Ed.), Social networks in urban situations. Manchester: Manchester University Press.
- Mitchell, M. (2009). Complexity. A Guided Tour. USA: Oxford University Press.
- Mohr, J., Fisher, R., y Nevin, J. (1996). Collaborative communication in interfirm relationships: Moderating effects of integration and control. Journal of Marketing, volume 60(3), 103-115.
- Molina, A (2012) Análisis de las relaciones de producción en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires entre los años 1993 y 2004, mediante un Modelo Entrada-Salida, implementado con una Red de Petri. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ingeniería. Dpto. De Ingeniería. UNS
- Molina, A (2012) Modelo de Encadenamientos Productivos, mediante la utilización de una red de Petri. Aplicación a la región del Sudoeste Bonaerense en Argentina: 1ra edición. Ed. Académica Española ISBN: 978-3-659-02554-9

Molina, Bottoni y Rodriguez (2010). El rol de los Sistemas de Calidad en el esquema productivo. Una visión desde economías sujetas a dependencia tecnológica III Jornadas de Economía Crítica de la UNR

Molina, Buffone y Molinari (2014) Situación de las Pymes Argentinas frente a las tendencias en las TICs. Revista Argentina de Ingeniería (RADI) No 3

Molina, J. (2004). La ciencia de las redes. Apuntes de Ciencia y Tecnología, volume 11, 36-42.

Molloy, M., y Reed, B. (1995). A critical point for random graphs with a given degree sequence. Random Structures and Algorithms, volume 6(2-3), 161-179.

Moore, R. (2007), Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools, Saunders, En M., Lewis, P., and Thornhill, A. (Eds), Elsevier Science & Technology Books, Maryland Heights, MO.

Mouritsen, J., y Thrane, S. (2006). Accounting, network complementarities and the development of inter-organisational relations. Accounting, Organizations and Society, volume 31(3), 241-275.

Myers, R. H., Montgomery, D. C., y Anderson-Cook, C. M. (2016). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, John Wiley & Sons

Nahapiet, J., y Ghoshal, S. (1998). Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage. Acad Manage Rev, volume 23(2), 242-266.

Naranjo-Gil, D., y Hartmann, F. (2007). Management accounting systems, top management team heterogeneity and strategic change. Accounting, Organizations and Society, volume 32, 735-756.

Newman, M. (2006). Modularity and community structure in networks. Michigan. Proc Natl Acad Sci USA, volumen 103(23), 8577-8582

Newman, M. (2010). Networks: An introduction. New York, USA: Oxford University Press.

Niebel, B., y Freivalds, A. (2004). Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño del Trabajo , 11ª Ed., Alfaomega

Noruzi, A., Dalfard, V. M., Azhdari, B., Nazari-Shirkouhi, S., y Rezazadeh, A. 2013. Relations between transformational leadership, organizational learning, knowledge management, organizational innovation, and organizational performance: an empirical investigation of manufacturing firms. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64(5-8), 1073-1085. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4038>

Oliver, A., y Ebers, M. (1998). Networking network studies: an analysis of conceptual configurations in the study of inter-organizational relationships. Organization Studies, volume 19(4), 549-583.

Organización de los Estados Americanos (2013). El gobierno en la era de las redes sociales, módulo: Introducción a las redes sociales.

Orlandoni, G. (2010). Escalas de medición en estadística. *Telos*, volumen 12(2), 243-247.

Otley, D. (1999). Performance management: A framework for management control systems research. *Management Accounting Research*, volume 10(4), 363-382.

Pagano, R. (1999). *Estadística para las ciencias del comportamiento*. México: S.A. Ediciones Paraninfo.

Page, S. E. 1996. Two Measures of Difficulty. *Econom. Theory* 8 321–346. 1997. The scheduling and organization of periodic associative computation: Essential networks (Part 1). *Rev. Econom. Design* 3 15–27.

Papadopoulou, T.C. and Ozbayrak, M. (2005), ?Leanness: experiences from the journey to date, *Management*, Vol. 16 No. 7, pp. 784-807. 1998. The scheduling and organization of periodic associative computation: Efficient networks (Part 2). *Rev. Econom. Design* 3 93–127.

Pastén, S. (2010). Análisis de las variables de comportamiento organizacional actuales y deseadas de la empresa. R. Radner. 1996. Real-time decentralized information processing and returns to scale. Unpublished manuscript, Princeton University and New York University.

Perianes-Rodríguez, A., Olmeda-Gómez, C., y De Moya-Anegón, F. (2008). Introducción al análisis de redes. *El Profesional de la Información*, volumen 17(6), 664-669.

Perrucci, R., y Harry, P. (1990). Networks of power. *Organizational Actors at the national corporate, and community levels*. *International Journal on World Peace*, volumen 7(4), 105-109.

Pinder, C.C. (1998). *Work motivation in organizational behavior*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. De Raad, B., y Perugini, M. (2002). *Big Five Assessment*. Hogrefe & Huber.

Polanco, X. (2006). Análisis de redes: Introducción. En Albornoz, M., y Alfaraz, C. (Eds.), *Redes de conocimiento: Construcción, dinámica y gestión* (pp. 77-112), Buenos Aires, Argentina.

Porras, J. (2002). Cambio tecnológico y cambio organizacional. La organización en red. *Polis Revista Latinoamericana*. Desolación y nuevos vínculos sociales, volumen 2, 1-13.

Provan, K., y Milward, H. (2001). Do networks really work? A framework for evaluating public sector organizational networks. *Public Administration Review*, volume 61(4), 414-423.

- Provan, K., y Sebastian, J. (1998). Networks within networks: Service link overlap, organizational cliques, and network effectiveness. *The Academy of Management Journal*, volume 41(4), 453-462.
- Provan, K., Beyer, J., y Kruytbosch, C. (1980). Environmental linkages and power in resource-dependence relations between organizations. *Administrative Science Quarterly*, volume 25(2), 200-225.
- Provan, K., Fish, A., y Sydow, J. (2007). Interorganizational networks at the network level: A review of the empirical literature on whole networks. *Journal of Management*, volume 33(3), 479-516.
- Radner, R. 1992. Hierarchy: The economics of managing. *J. Econom. Literature* 30 1382–1415.
- Radner, R. 1993. The organization of decentralized information processing. *Econometrica* 61 1109–1146.
- Reichman, N., P. Canan, S. J. DeCanio, C. Dibble. 1999. Expert networks and leadership roles: Structure and style. Paper presented at The Earth Technologies Forum, Washington, DC.
- Requena, F. (1989). El concepto de red social. *Reis*, volumen 48/49, 137-152.
- Reynoso, C. (2008). Hacia la complejidad por la vía de las redes. *Nuevas lecciones epistemológicas. Desacatos*, volumen 28, 17-40.
- Reynoso, C. (2011). *Redes sociales y complejidad: Modelos interdisciplinarios en la gestión sostenible de la sociedad y la cultura. Redes sociales y complejidad*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Sb.
- Rheingans, P., y Landreth, C. (1995). Perceptual principles for effective visualizations. In Grinstein, G., y Levkowitz, H. (Eds.), *Perceptual issues in visualization* (pp. 59-74). New York: Springer-Verlag.
- Rhodes, J., Lok, P., Yu-Yuan Hung, R., y Fang, S. 2008. An integrative model of organizational learning and social capital on effective knowledge transfer and perceived organizational performance. *Journal of Workplace Learning*, 20(4), 245–258. <https://doi.org/10.1108/13665620810871105>
- Ruhnau, B. (2000). Eigenvector-centrality a nodecentrality. *Social Networks*, vol. 22(4), 357– 365.
- Sánchez, J. (2005). *Manual de análisis estadístico de los datos*. Alianza Editorial.

Sánchez, J., Ramírez, C., y Vélez, M. (2006). Aproximación a un marco de análisis y desarrollo de los sistemas de control de gestión en las relaciones interorganizativas. *Revista Iberoamericana de Contabilidad de Gestión*, volumen 8, 155-176.

Sánchez, M. (2017). Aportes teóricos a la gestión organizacional: La evolución en la visión de la organización. *Ciencias Administrativas*, volumen 5(10), 65-74.

Seidman, S. (1983). Network structure and minimum degree. *Social Networks*, volume 5, 269-287.

Serguei. (2007) Diagnóstico del subsistema de evaluación del desempeño. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/edese/edese.shtml>

Shahzad, K., Bajwa, S. U., Siddiqi, A. F. I., Ahmid, F., y Raza Sultani, A. 2016. Integrating knowledge management (KM) strategies and processes to enhance organizational creativity and performance: An empirical investigation. *Journal of Modelling in Management*, 11(1), 154–179. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2014-0061>

Sharpankykh, A. (2008). *On Computer-Aided Methods for Modeling and Analysis of Organizations*. Ph.D. Dissertation, VU University Amsterdam.

Shikiryama, Mirob y Gomes. (2015). Text Mining Business Intelligence: a small sample of what words can say. *Information Technology and Quantitative Management*. *Procedia Computer Science* 55. p. 261-267.

Silke, A., y Kriesi, H. (2007). El enfoque de redes. En Sabatier, P. (Ed.), *Teorías del proceso de las políticas públicas* (pp. 139-165). Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación. Buenos Aires, Argentina.

Simons, R. (1990). The role of management control systems in creating competitive advantage: New perspectives. *Accounting, Organizations and Society*, volume 15(1-2), 127-143.

Simons, R. (1995). *Levers of control: How managers use innovative control systems to drive strategic renewal*. Boston: Harvard Business School Press.

Solé, R. (2009). *Redes complejas. Del genoma a Internet*. Barcelona: Tusquets editores.

Stewart, S. (2008). *Understanding linear algebra concepts through the embodied, symbolic and formal worlds of mathematical thinking*. Tesis de Doctorado. Universidad de Auckland. Nueva Zelanda

- Streeter, C., y Gillespie, D. (1992). Social Network Analysis. *Journal of Social Service Research*, volume 16(1-2), 201-222.
- Szell, M., Lambiotte, R., y Thurner, S. (2010). Multirelational organization of large-scale social networks in an online world. In *proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, volume 107(31), 13636-13641.
- Tan, L. P., y Wong, K. Y. 2015. Linkage between knowledge management and manufacturing performance: a structural equation modelling approach. *Journal of Knowledge Management*, 19(4), 814–835. <https://doi.org/10.1108/JKM-11-2014-0487>
- Tanenbaum y Wetherall. (2011). *Computer Networks*. 5Th Edition . Pearson.
- Teja, R., Almaguer, G., Rendón, R., y López, N. (2014). Redes y análisis organizacional: roles, posiciones y poder de fragmentación de las relaciones sociales y comerciales *Revista global de negocios*, volumen 2(1), 11-39.
- Tham, K.D. (1999). *Representation and Reasoning About Costs Using Enterprise Models and ABC*, PhD Dissertation, Enterprise Integration Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto.
- Thomas, J., y Treviño, L. (1993). Information processing in strategic alliance building: A multiplecase approach. *Journal of Management Studies*, volume 3(5), 779-814.
- Tom Sawyer Software. 1999. *Graph Layout Toolkit*.
- Trujillo, H., Mañas, F., y González-Cabrera, J. (2010). Evaluación de la potencia explicativa de los grafos de redes sociales clandestinas con UciNet y Net-Draw. *Universitas Psychologica*, volumen 9(1), 67-78.
- Tsypin, M., y Röder, H. (2007). On the Reliability of kNN Classification. In *proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2007: WCECS 2007, 24-26 October 2007, San Francisco, USA*.
- Tufte, E. (1997). *Visual explanations. Images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.
- Tuomela, T. (2005). The interplay of different levers of control: A case study of introducing a new performance measurement system. *Management Accounting Research*, volume 16, 293-320.
- Valente, T. (1996). Social network threshold in the diffusion of innovations. *Social Networks*, volume 18(1), 69-89.

- Valente, T. (2012). Network Interventions. *Science*, volume 337, 49-53.
- Valente, T. W. 1995. *Network Models of the Diffusion of Innovations*. Hampton Press, Inc., Cresskill, NJ.
- Valente, T., y Fujimoto, K. (2010). Bridging, Locating critical connectors in a social network. *Soc Networks*, volume 32(3), 212-220.
- Van der Aalst, W., ter Hofstede, A., Kiepuszewski, B., y Barros, A.P. (2003). Workflow patterns. *Distributed and Parallel Databases*, 14(3), 5–51.
- Van der Meer-Kooistra, J., y Scapens, R. (2008). The governance of lateral relations between and within organisations. *Management Accounting Research*, volume 19(4), 365-384.
- Van der Meer-Kooistra, J., y Vosselman, G. (2000). Management control of interfirm transactional relationships: The case of industrial renovation and maintenance, *Accounting, Organizations and Society*, volume 25, 51-77.
- Van Zandt, T. 1996b. Organizations with an endogenous number of information processing agents. M. Majumdar, ed. *Organizations with Incomplete Information*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. Forthcoming.
- Van Zandt, T. 1996a. Decentralized information processing in the theory of organizations. M. Sertel, ed. *Contemporary Economic Development Reviewed, Volume 4: The Enterprise and its Environment*. MacMillan Press Ltd, London, U.K. Forthcoming.
- Vasudevan y JunSon .(2011). Concurrent consideration of evacuation safety and productivity in manufacturing facility planning using multi-paradigm simulations *Computers & Industrial Engineering* Volume 61, Issue 4
- Vega-Redondo, F. (2007). *Complex Social Networks*. USA: Cambridge University Press.
- Verd, J., y Martí, O. (1999). Muestreo y recogida de datos en el análisis de redes sociales. *Questiio*, volumen 23(3), 507-524.
- Wasserman, S., y Faust, K. (1997). *Social network analysis: Methods and applications*. Structural analysis in the social sciences. Cambridge University Press.
- Wasserman, S., y Galaskiewicz, J. (1994). *Advances in social network analysis: Research in the social and behavioral sciences*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Wasserman, S., K. Faust. 1994. *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, and Melbourne.

- Wasserman, S., y Faust, K. (2013). *Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones*. Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Watkins, G. Mitchell, K. Amir-Atefi, C. Dibble. 2000. Complexity in organizations: Consequences for climate policy analysis. R. B. Howarth, D. C. Hall, eds. *Advances in the Economics of Environmental Resources*, Vol. 3. JAI Press, Elsevier Science, New York and Amsterdam. Forthcoming.
- Watts, D. (1999). *Small Worlds: The dynamics of networks between order and randomness*. Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Watts, D. (2006). *Seis grados de separación la ciencia de las redes en la era del acceso*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Watts, D. J., S. H. Strogatz. 1998. Collective dynamics of “small world” networks. *Nature* 393 440–442.
- Watts, D., y Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of small-world networks. *Nature*, volume 393, 440-442.
- Weaver, W. (1948). Science and Complexity. *American Scientist*, volume 36, 536-544.
- Weinberg, D. H. 1996. A brief look at postwar U.S. income inequality. *Current Population Reports*. U.S. Census Bureau P60-191, <http://www.census.gov/hhes/www/p60191.html>
- Wellman, B., y Berkowitz, S. (1998). *Social structures: A network approach*. Cambridge University Press.
- Wendel, M., Prochaska, J., Clark, H., Sackett, S., y Perkins, K. (2010). Interorganizational network changes among health organizations in the Brazos Valley, Texas. *The Journal of Primary Prevention*, volume 31(1-2), 59-68.
- White, D., Schnegg, M., y Brudner, L. (1999). Conectividad y descentralización en componentes. *Sistemas descentralizados y el estado invisible: Cohesión multiconectada de baja densidad en redes sociales de gran escala en Tlaxcala, México*. National Science Foundation con la subvención número 9978282.
- Wilson, R. 1985. *Introduction to Graph Theory*, 3rd ed., Longman Group Limited, Harlow, U.K.
- Woulfe, J., Oliver, T., Zahner, S., y Siemering, K. (2010). Multisector partnerships in population health improvement. *Prev. Chronic Dis*, volume 7(6)

Wu, S., y Liu, S. 2010. The performance measurement perspectives and causal relationship for ISO-certified companies: A case of opto-electronic industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(1), 27–47. <https://doi.org/10.1108/02656711011009290>

Yang, L., y Deuse, J. (2012). Multiple-attribute decision making for an energy efficient facility layout design. *Proceedings of the XLV CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Athens, Greece.

Yellen y Gross. (1998). *Graph Theory and Its Applications- Discrete Mathematical and Applications Series*. CRC Press.

Zambonelli, F., Jennings, N.R., y Wooldridge, M. (2003). Developing multiagent systems: the Gaia Methodology. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 12 (3): 317-370.

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Antecedentes sobre la importancia de las estructuras organizacionales.....	1
1.2.- Antecedentes de uso de la teoría de Grafos para estudiar las estructuras organizacionales.....	4
1.3.- Otros enfoques. Métodos de análisis formal	5
2.- REVISIÓN DE CONCEPTOS QUE SE HAN APLICADO	7
2.1.- Teoría de grafos o redes	7
2.2. Grafos de Red y las ciencias de la complejidad.....	10
2.3. Ciencia de redes y la conectividad.....	11
2.4.- Caracterización y Análisis de los grafos de Redes.....	12
2.5. Análisis de redes.....	23
2.6. Postulados y principios del análisis de redes.	28
2.7. Terminología del Análisis de Redes.....	30
2.8. Matrices, Grafos y la Sociometría en el Análisis de Redes.....	37
3.- SISTEMAS DE ANÁLISIS Y MÉTRICAS UTILIZADAS POR LAS TÉCNICAS BASADAS EN GRAFOS QUE MODELIZAN ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES	42
3.1.- Introducción	42
3.2.- Clasificación de los métodos de análisis de estructuras organizacionales mediante grafos.....	44
3.3.- Métricas e indicadores para el análisis de grafos.....	53
4.- VALIDACIÓN DEL USO DE GRAFOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LAS EMPRESAS. EL CASO DEL CLÚSTER ECONÓMICO DE BAHÍA BLANCA.....	88
4.1. Introducción.....	88
4.2.- Formulación analítica del Modelo de Grafos en red	91
4.3.- Relevamiento de Estructuras Organizacionales en el Clúster de Bahía Blanca	93
4.4.- Aplicación del modelo analítico de grafos a algunas estructuras del clúster de Bahía Blanca	95
4.5.- Análisis de los resultados obtenidos	101
4.6.- Conclusiones de los resultados obtenidos.....	103

5.- UNA VISIÓN ALTERNATIVA, USO DE UN MARCO FORMAL PARA EL MODELADO Y ANÁLISIS DE ORGANIZACIONES	104
5.1.- Introducción	104
5.2.- Revisión de la literatura relacionada	106
5.3.- Fundamentos formales del marco propuesto	111
5.4.- Modelado	114
5.5.- Aspectos metodológicos.....	128
5.6.- Análisis de estructuras y dinámicas organizativas	131
6.- CONCLUSIONES.....	133
7.- BIBLIOGRAFÍA	136
ÍNDICE	159

Uso de grafos para el análisis de estructuras organizacionales empresarias.

Una visión desde el Clúster económico de Bahía Blanca

Alejandro Molina

Fernando Andrés Buffone

Ernesto Castagnet

German Fernandez Madarieta

En este libro se presenta el estudio de la aplicación de teoría de grafos para el desarrollo de métodos y técnicas de modelización y análisis de las estructuras organizacionales del clúster económico de la ciudad de Bahía Blanca, ubicada en la región del Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Para ello se han volcado trabajos realizados en el marco de las tareas del proyecto de investigación PID UTN 5833 "EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES PRODUCTIVAS EN EL CLÚSTER DE BAHÍA BLANCA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS", investigación desarrollada en la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional.

La perspectiva que este trabajo aporta es el desarrollo de instrumentos que vinculen características de las empresas del clúster con sus estructuras organizacionales y, mediante estas, analizar las relaciones entre los individuos que las integran, buscando fortalezas y debilidades de dichas relaciones.

