

**SISTEMAS CON DINÁMICA ACOPLADA (SCDs)  
- UN ENFOQUE METODOLÓGICO DESDE EL ANÁLISIS FORMAL DE  
CONCEPTOS PARA LA INTEGRACIÓN DE TEORÍAS MÚLTIPLES AGENTES,  
REDES Y JUEGOS -**

**OSMAN ORTEGA PARADA**



**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
2019**

**SISTEMAS CON DINÁMICA ACOPLADA (SCDs)  
- UN ENFOQUE METODOLÓGICO DESDE EL ANÁLISIS FORMAL DE  
CONCEPTOS PARA LA INTEGRACIÓN DE TEORÍAS MÚLTIPLES AGENTES,  
REDES Y JUEGOS -**

**OSMAN ORTEGA PARADA  
Cod. 1 119 185 031**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas**

**DIRECTOR  
PH.D NELSON FERNÁNDEZ PARADA  
CO-DIRECTOR  
ING. YESID MADRID CARRILLO**



**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**2019**

## Dedicatoria

A mi Mamá y mi Papá por su trabajo y sacrificio durante mi proceso de formación como profesional, son el amor de toda una vida. A mis Hermanos gracias al apoyo de cada uno de ustedes he logrado cumplir un sueño más. Mi Familia son el impulso de mi camino día a día.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente al todopoderoso por las bendiciones recibidas en mi vida, por mantenerme con fe y fortaleza en los momentos de dificultad.

Gracias a mi Familia, Papá, Mamá, Hermanos por apoyarme en el cumplimiento de mis metas y sueños quienes con esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar este proceso de formación profesional.

Agradecimientos a mi director de tesis y amigo, Nelson Fernández, por el apoyo fundamental, agradezco sus consejos y el haberme abierto el camino al mundo de la investigación donde he aprendido y vivido grandes experiencias, por la orientación en este proceso para concluir una etapa de mi vida y lograr ser un profesional.

También agradezco a mi codirector y amigo, Yesid Madrid, por su aporte en mi investigación y siempre ayudarme a resolver mis inquietudes y dificultades en cada etapa, por todas sus sugerencias y por el valioso apoyo en los resultados y sus respectivos análisis.

Gracias al cuerpo docente de la Universidad de Pamplona por impartir el conocimiento y las experiencias para la formación de profesionales idóneos para la sociedad.

A todas aquellas personas que de una manera u otra me colaboraron en este proceso de manera desinteresada, en especial a los compañeros y amigos del grupo de investigación (Daniel, Diego, Victor, James).

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
3.1 Objetivo General .....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
<b>4 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
4.1 Teoría de los Sistema Dinámicos <i>TDS</i> .....	13
4.2 Teoría de Redes .....	13
4.3 Teoría de Juegos .....	15
4.4 Teoría de Agentes y Sistemas Multi-Agentes ( <i>SMA</i> ) .....	16
4.5 Complejidad .....	17
4.6 Minería de Textos .....	18
4.7 Redes de Co-ocurrencia .....	19
4.8 Análisis Formal de Conceptos ( <i>AFC</i> ).....	21
4.9 Python.....	22
<b>5 METODOLOGÍA</b> .....	<b>24</b>
5.1 Creación de Corpus .....	25
5.2 Obtención de Conceptos.....	26
5.3 Creación de Matriz Objetos - Atributos.....	26
5.4 Aplicación Análisis Formal de Conceptos <i>AFC</i> .....	27
5.5 Representación del Prototipo de Sistemas con Dinamica Acoplada <i>SCDs</i> .....	28
<b>6 RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
6.1 Conceptos Co-ocurrentes .....	29
6.2 Matriz Objetos - Atributos.....	31
6.3 Análisis Formal de Conceptos <i>AFC</i> .....	32
<b>7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>

7.1	Conceptos Co-ocurrentes .....	34
7.2	Matriz Objetos – Atributos .....	36
7.3	Análisis Formal de Conceptos <i>AFC</i> .....	39
7.4	Representación Multicapa.....	42
<b>8</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA (PROTOTIPO).....</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>46</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Grafo no Dirigido (Izquierda) y Grafo Dirigido (Derecha). Tomado de Leal (2009), Citado por (Madrid, 2016).....	14
Figura 4.2 Actividades del Proceso Minería de Textos. Tomado de (Salamanca, 2018). .....	19
Figura 4.3 Red de Co-ocurrencia Creada en KH-Coder. Tomado de (Universidad Nacional del Sur, 2016) .....	20
Figura 4.4 Logo de la Organización Python. Tomado de (Python.org, s.f.). .....	23
Figura 5.1 Diagrama de la Metodología para <i>SCDs</i> .....	24
Figura 6.1 Frecuencia de Términos de la Teoría de Redes. ....	29
Figura 6.2 Frecuencia de Términos de la Teoría de Juegos. ....	30
Figura 6.3 Frecuencia de Términos Sistemas Multi-Agentes.....	30
Figura 6.4 Matriz de Relación Teorías - Elementos. ....	31
Figura 6.5 Diagrama Celosía Obtenido del AFC.....	32
Figura 7.1 Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Teoría de Redes. ....	34
Figura 7.2 Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Teoría de Juegos. ....	35
Figura 7.3 Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Múltiples Agentes. ....	36
Figura 7.4 Diccionario Acrónimos de Atributos. ....	37
Figura 7.5 Implicaciones por Concepto a Nuevos Elementos Iniciales.....	40
Figura 7.6 Conjunto de Elementos que Posee cada Concepto Final.....	41
Figura 7.7 Red Multicapa Interacciones entre Elementos y Teorías. ....	42
Figura 8.1 Herramienta Desarrollada para Formalismo <i>SWFOP</i> .....	43
Figura 11.1 Abstract Postulado Congreso Internacional CSS. ....	47

Figura 11.2 Certificado Congreso Internacional CSS.....48

## LISTA DE TABLAS

Tabla 7.1 Matriz Objetos - Atributos .....	38
--	----

## RESUMEN EXTENDIDO

### **Sistemas con Dinámica Acoplada (SCDs) - Un Enfoque Metodológico desde el Análisis Formal de Conceptos para la Integración de Teorías Múltiples Agentes, Redes y Juegos - Ortega Parada Osman<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Pamplona University, Km 1 Via B/manga, Pamplona, Colombia*

---

#### **Resumen**

Este trabajo presenta una nueva propuesta de modelado de sistemas con dinámica acoplada (*SCDs*). Se desarrolla un enfoque metodológico de modelado híbrido desde las teorías de redes, juegos y multi-agentes, para representar y evaluar las interacciones entre y dentro de los *SCDs*. Esta investigación, brinda una visión general de los desarrollos en la literatura científica sobre teoría de redes, juegos y sistemas multiagente. A partir de la minería de texto, se realiza un análisis de redes de co-ocurrencia de palabras para la determinación de conceptos claves y comunes. A partir de ellas, se establecieron matrices de atributos y objetos, con los que se llevó a cabo un análisis formal de conceptos *AFC*, que permitió establecer las implicaciones de los términos incluidos de las tres teorías. Los resultados obtenidos, permitieron explorar nuevas nociones de las tres teorías, a partir de lo que se llegó a una nueva construcción de una definición más apropiada de Sistemas con Dinámica Acoplada (*SCDs*).

**Palabras Claves:** Sistemas Dinámicos, Teoría de Redes, Teoría de Juegos, Teoría de Agentes, Sistemas Multi-Agentes, Complejidad, Minería de Textos, Redes de Co-ocurrencia, Análisis Formal de Conceptos.

---

**Abstract**

This paper presents a new proposal for modeling systems with coupled dynamics (SCDs). A methodological approach of hybrid modeling is developed from the theories of networks, games and multi-agents, to represent and evaluate the interactions between and within the SCDs. This research provides an overview of the developments in the scientific literature on network theory, games and multi-agent systems. From text mining, an analysis of word co-occurrence networks is carried out to determine key and common concepts. From them, matrices of attributes and objects were established, with which a formal analysis of AFC concepts was carried out, which allowed to establish the implications of the included terms of the three theories. The obtained results, allowed to explore new notions of the three theories, from what was arrived at a new construction of a more appropriate definition of Systems with Coupled Dynamics (SCDs).

**Keywords:** Dynamic systems, Network Theory, Games theory, Agent Theory, Multi Agent Systems, Complexity, Text Mining, Co-occurrence networks, Formal Analysis of Concepts.

# 1 INTRODUCCIÓN

Esta investigación surge como necesidad de representar la dinámica en los sistemas competitivos. Donde según los análisis estos sistemas presentan interacciones entre sí, por eso el estudio de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*. Como lo menciona Carlos Gershenson investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México *UNAM* “*Los sistemas dinámicos han sido estudiados desde la perspectiva de topologías (teoría de redes), y desde las interacciones (teoría de agentes). Es interesante tomar la unión de estas dos teorías junto con la de juegos donde aportaría elementos importantes como estrategias y proponer un nuevo estudio sobre sistemas con dinámica acoplada SCDs*”.

Este trabajo muestra una metodología que permite integrar las teorías (agentes, redes y juegos) a través de técnicas de inteligencia artificial como minería de textos, donde se realiza un análisis de frecuencias, redes de co-ocurrencia de palabras para la determinación de conceptos claves y comunes. A partir de ellas, se establecen matrices de atributos y objetos, con los que se lleva a cabo un análisis formal de conceptos *AFC*, que permite establecer implicaciones de los términos incluidos de las tres teorías. Los resultados obtenidos, permitieron explorar nuevas nociones de las tres teorías, a partir de lo que se llegó a una nueva construcción de una definición más apropiada de Sistemas con Dinámica Acoplada (*SCDs*).

Esta metodología se valida computacionalmente por una herramienta desarrollada en python que integra las tres teorías mediante las técnicas planteadas para la formulación de sistemas con dinámica acoplada *SCDs* como nueva construcción.

## 2 JUSTIFICACIÓN

La pregunta de investigación a resolver es ¿Cómo modelar sistemas integrados con dinámica y estructuras acopladas?

Teorías disponibles:

- Redes: nodos y enlaces.
- Juegos: jugadores, pagos y estrategias.
- Agentes: ambiente y acción.

El acoplamiento y la coordinación de elementos competitivos en un sistema han sido estudiados. Nociones como el equilibrio de Nash de estrategia mixta (*MSNE*) es una solución comúnmente utilizada en los modelos de teoría de juegos (Barry R. Cobb, 2014). Además, se ha establecido que las dinámicas naturales conducen a un equilibrio o coordinación particular del sistema, de acuerdo con las interacciones de los jugadores. En este sentido, la investigación sobre la conectividad e interdependencia de los sistemas acoplados es un tema crucial para comprender las interacciones entre dos o más sistemas, en los que la dinámica e incluso la estructura de un sistema pueden depender de otro (Nicolas Wider, 2015). En cuanto a los sistemas con dinámica acoplada, es bien sabido que la interacción entre sistemas puede exhibir propiedades dinámicas y emergentes. Sin embargo, representar y modelar estos aspectos no es trivial.

Un punto de partida para la aplicación de este enfoque es la representación de la dinámica de los deportes competitivos. Los resultados preliminares de los deportes generaran una motivación a estudiar aplicaciones en sistemas biológicos, como las redes regulatorias de proteínas analizadas como *SCDs*.

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo General

Crear una metodología para determinar el modelo de Sistemas con Dinámica Acoplada *SCDs*, utilizando herramientas que permitan la integración de teorías de redes, juegos y agente multiples.

### 3.2 Objetivos Específicos

Con soporte en nociones formales de teoría de redes, juegos y agentes multiples este estudio pretende para sistemas con dinámicas acopladas *SCDs* específicamente:

- Analizar la co-ocurrencia de nociones de teorías de redes, juegos y agentes multiples.
- Determinar los objetos y atributos a diferentes escalas de importancia.
- Realizar el análisis formal de conceptos *AFC* y establecer las implicaciones para sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.
- Crear el prototipo de sistemas con dinámica acoplada *SCDs* y representarlo mediante herramientas de programación aplicando *AFC*.

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 Teoría de los Sistema Dinámicos *TDS*

La teoría de sistemas dinámicos (*TSD*), concierne con la descripción y predicción de sistemas que exhiben un comportamiento complejo en un nivel macroscópico, que emerge desde las acciones colectivas de interacciones de sus componentes. La palabra dinámica es referida al cambio, y los sistemas dinámicos (*SD*), efectivamente, cambian en el tiempo de alguna forma. Existen variados ejemplos de *SD*, como lo son: el sistema solar, el corazón y el cerebro de las criaturas vivas, la población mundial, o el cambio climático. No obstante, ejemplos como las rocas también son un tipo de *SD*, nada más que sus cambios se dan a escalas de tiempo geológico.

La *TSD* describe en términos generales las formas en las que el sistema puede cambiar, qué tipo de comportamientos macroscópicos son posibles, y qué tipos de predicciones se pueden hacer acerca de estos comportamientos. Actualmente esta teoría está en boga debido a los fascinantes resultados obtenidos de uno de sus productos intelectuales, el estudio del caos (Fernandez, 2015).

### 4.2 Teoría de Redes

El estudio de la teoría de redes tiene sus inicios en la teoría de grafos. Los grafos fueron utilizados para resolver acertijos y problemas. Entre los problemas resueltos con grafos, se destaca el problema del puente de Königsberg, abordado por el matemático Leonard Euler, para interpretar (Kleinberg, 2010).

**Definición 4.1** Según Brandes (2005) ...Un grafo  $G$  consiste de un conjunto  $V$  de vértices y un conjunto  $E$  de pares de vértices llamados aristas, usualmente denotamos al conjunto de vértices y aristas por  $V(G)$  y  $E(G)$  y sus cardinales por  $n$  y  $m$  respectivamente....

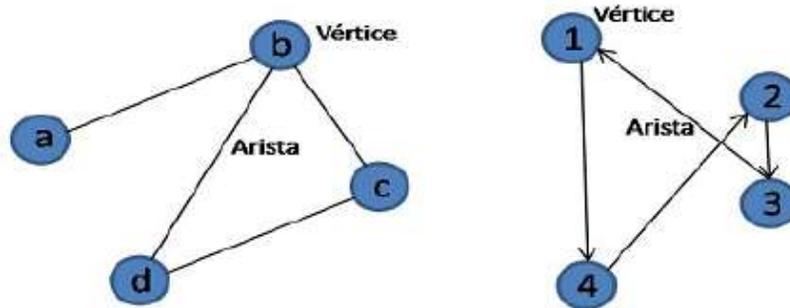


Figura 4.1 Grafo no Dirigido (Izquierda) y Grafo Dirigido (Derecha). Tomado de Leal (2009), Citado por (Madrid, 2016).

Con soporte en la anterior definición, se puede estimar que una red es una estructura matemática formal que representa a los elementos y sus relaciones. Las redes, particularmente, se han convertido en una herramienta central en el estudio de sistemas complejos, (Gershenson C. G., 2011) donde los nodos son considerados como “agentes”.

Las redes han tenido mucha importancia debido a su desempeño al momento de ser aplicadas a diferentes tipos de sistemas, entre ellos destacamos sistemas tales como, biológico, ecológicos, sociales e informáticos (Mar Newman, 2009).

### 4.3 Teoría de Juegos

La teoría de juegos podría definirse como el estudio de modelos matemáticos sobre el conflicto y la cooperación entre agentes racionales e inteligentes. Usando otras palabras, puede caracterizarse el objeto de esta rama de la matemática como el análisis de modelos formales de "comportamiento estratégico", lo que obviamente sugiere la existencia de intencionalidad (Accinelli, 2018).

La Teoría de Juegos consiste en razonamientos circulares, los cuales no pueden ser evitados al considerar cuestiones estratégicas. Por naturaleza, a los humanos no se les va muy bien al pensar sobre los problemas de las relaciones estratégicas, pues generalmente la solución es la lógica a la inversa. En la teoría de juegos la intuición no es muy fiable en situaciones estratégicas, razón por la que se debe entrenar tomando en consideración ejemplos instructivos, sin necesidad que los mismos sean reales (Contreras Fernando, 2002).

En un juego, los resultados posibles pueden ser determinados de antemano y dependerán de las acciones que elijan los individuos que participan, quienes deben ceñirse a un conjunto estricto de reglas. Los individuos escogerán el curso de acción de modo de maximizar la utilidad esperada de su decisión, teniendo en cuenta que los otros individuos proceden del mismo modo sabiendo lo mismo.

El rol de la teoría no es examinar todos y cada uno de los cursos de la acción que eventualmente puede tomar cada sujeto y todos y cada uno de los resultados que puedan sucitarse. Su objeto es determinar, cuando sea posible, el resultado "más probable" del juego. Cuando ello no es posible. Procura determinar el conjunto de resultados que "a priori" resultan más probables dados los

supuestos establecidos. Esto es el conjunto de los **equilibrios** posibles, entendiendo por tales aquellas elecciones que no impliquen un arrepentimiento, es decir aquellas acciones que fueron racionalmente elegidas, en el sentido que dada la situación, maximizan la utilidad esperada (Accinelli, 2018).

#### **4.4 Teoría de Agentes y Sistemas Multi-Agentes (SMA)**

Desde una base general, un agente puede describirse como una entidad que actúa sobre su ambiente o entorno (Gershenson C. , 2007) Sobre esta base, y en términos de un sistema dinámico complejo *SDC*, se estima que los agentes *Ag* son entidades que perciben su ambiente (entradas) y actúan (cambio de estado) en concordancia, deliberando sobre las posibilidades de sus acciones (salidas). Igualmente, se ha considerado que los *Ags* pueden tener rasgos inspirados en el comportamiento humano como: autonomía, reactividad, iniciativa, habilidad social. Estos rasgos le permiten al *Ag* compartir el entorno o ambiente, recursos y conocimiento, además de comunicarse y coordinar sus actividades con otros (Aguilar, 2014).

Desde la perspectiva de la teoría de *Ags* los *SMA*, como sistemas compuestos por diversos *Ags*, presentan características como la redundancia, modularidad, descentralización, comportamiento emergente, y especialmente, coordinación. Esta última, basada en la compartimentalización de información y resultados, la optimización de acciones y recursos, y el trabajo conjunto independiente de los objetivos individuales. Los mecanismos propios para lograr una coordinación efectiva se sustentan en la sincronización de acciones, vista como la simultaneidad de las mismas; en la planificación, es decir en la subdivisión y distribución de tareas; y en la coordinación reactiva,

a partir de la definición de marcas o reglas de comportamiento reactivo general. Bases como éstas, permiten el desarrollo de *SMA* auto-organizantes emergentes cuyo sustento son mecanismos que consideran las interacciones directas, la estigmergia, el refuerzo, la cooperación y la definición de arquitecturas genéricas (Fernandez, 2015).

Operacionalmente, a cada *Ag* le puede ser asignado uno o más roles para la consecución de los objetivos del *SDC*, y ser responsable tanto de coordinar sus interacciones con otros *Ags*, como de ejecutar las actividades bajo su cargo. En este aspecto, un *Ag* inteligente es un “tomador de decisiones interactivo”, capaz de alcanzar de manera pro-activa sus objetivos, mientras que se adapta a un ambiente dinámico. De allí que los *SMA* son vistos como sistemas computacionales auto-organizantes con un grado apropiado de autonomía, dada la inexistencia de un control central (Aguilar, 2014).

#### **4.5 Complejidad**

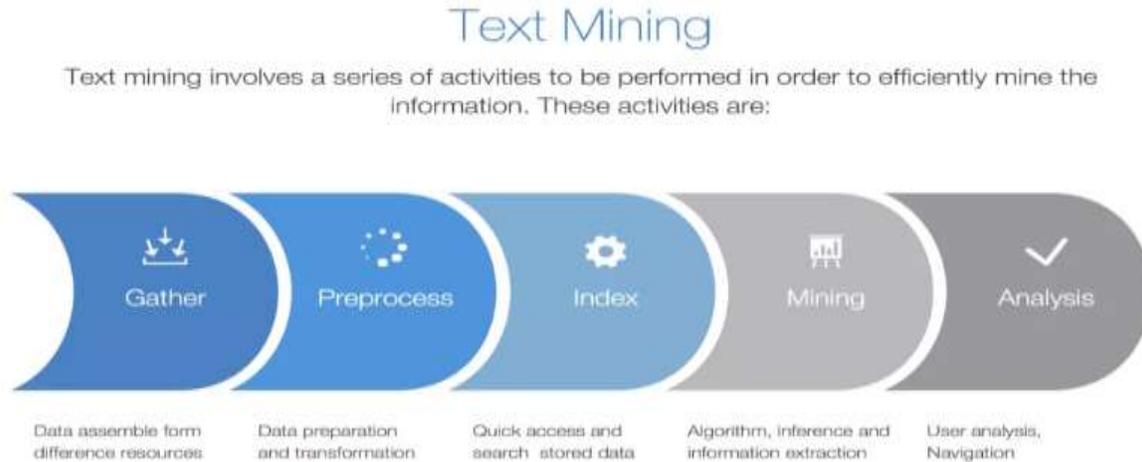
Etimológicamente, complejidad viene del latín *plexus*, lo cual significa *entrelazado*. Algo complejo es algo difícil de separar. Esto significa que los componentes del sistema son interdependientes, de manera que su futuro está parcialmente determinado por sus interacciones (Gershenson C. , 2011). Dado el caso conocido de que lo complejo viene dado a través de las interacciones de los componentes de un sistema, por tanto, la complejidad puede estar asociada a los aspectos emergentes y auto-organizantes que presenta el sistema (Fernandez, 2015).

Tradicionalmente se ha pensado que la complejidad se refiere a aquella condición que limita al modelista para formular el comportamiento completo de los sistemas dinámicos *SD*, en un lenguaje dado. En realidad, lo complejo se debe a las interacciones en el *SD* que generan información nueva y relevante no presente en las condiciones iniciales ni de frontera y que influyen en el desarrollo del *SD*. La complejidad, por tanto, puede estar asociada a los aspectos emergentes y auto-organizantes del *SD*. (Fernandez, 2015).

Un ejemplo de complejidad clásico se halla en el conocido “Juego de la Vida” de Jhon Conway, en el cual, 4 reglas simples generan dinámicas ricas como estructuras estables, móviles y/u oscilatorias, que son difíciles de predecir. En base a (Fernandez, 2015) se afirma que la complejidad está dada por el balance entre la emergencia y la auto-organización existente en el sistema. (Madrid, 2016).

#### **4.6 Minería de Textos**

La minería de textos es el proceso de analizar colecciones de materiales de texto con el objeto de capturar los temas, conceptos claves y comunes. Descubrir las relaciones ocultas y las tendencias existentes sin necesidad de conocer las palabras o los términos exactos que los autores han utilizado para expresar dichos conceptos. La minería de textos y la acción de recuperar información son conceptos que a veces se confunden, aunque son bastante diferentes. Una recuperación precisa de la información y su almacenamiento supone un reto importante, pero la extracción y administración de contenido de calidad, de terminología y de las relaciones contenidas en la información son procesos cruciales y determinantes (IBM, s.f.)



**Figura 4.2 Actividades del Proceso Minería de Textos. Tomado de (Salamanca, 2018).**

La Minería de textos basada en lingüística, por otro lado, aplica los principios de procesamiento de lenguaje natural *NLP*, análisis asistido por sistema de lenguajes humanos, al análisis de palabras, frases y sintaxis, o estructura, del texto. Un sistema que incorpora tecnología *NLP* puede extraer conceptos de forma inteligente (incluidas frases compuestas). Además, el conocimiento del lenguaje subyacente permite la clasificación de conceptos en grupos relacionados (como por ejemplo, productos, organizaciones o personas) utilizando el significado y el contexto (IBM, s.f.).

#### 4.7 Redes de Co-ocurrencia

Las redes de co-ocurrencia son la interconexión colectiva de términos basados en su presencia emparejada dentro de una unidad de texto especificada. Las redes se generan conectando pares de términos usando un conjunto de criterios que definen la co-ocurrencia. Por ejemplo, se puede decir que los términos *A* y *B* “co-ocurren” si ambos aparecen en un artículo particular. Otro artículo puede contener términos *B* y *C*. Vincular *A* a *B* y *B* a *C* crea una red de co-ocurrencia de estos tres



ocurrencia de un término individual se establece mediante la búsqueda de cada representación simbólica conocida del término. El proceso puede ser aumentado a través de algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (*NLP*) que interrogan segmentos de texto para posibles alternativas como orden de palabras, espaciado y separación de palabras. El *NLP* también se puede usar para identificar la estructura de oraciones y categorizar las cadenas de texto de acuerdo con la gramática.

La representación gráfica de las redes de co-ocurrencia permite visualizar las inferencias sobre las relaciones entre entidades en el dominio representado por el diccionario de términos aplicados al corpus de texto. Una visualización significativa requiere normalmente simplificaciones de la red. Por ejemplo, las redes pueden ser dibujadas de manera que el número de vecinos que se conectan a cada término sea limitado. Los criterios para limitar los vecinos podrían basarse en el número absoluto de co-ocurrencias o criterios más sutiles como la “probabilidad” o “frecuencias” de co-ocurrencia o la presencia de un término descriptivo intermedio (Universidad Nacional del Sur, 2016).

#### **4.8 Análisis Formal de Conceptos (*AFC*)**

El Análisis Formal de Conceptos (*AFC*), introducido en 1982 por Rudolf Wille, es una técnica de aprendizaje capaz de extraer estructuras conceptuales de un conjunto de datos. Está basada en la idea filosófica de que un “concepto” consta de dos partes: su extensión, formada por todos los objetos que pertenecen a dicho concepto; y su intención, que comprende todos los atributos compartidos por dichos objetos.

El marco en el que se establecen los conceptos se conoce como contexto formal. Consta de un conjunto de objetos, un conjunto de atributos o propiedades, y una relación que informa sobre los atributos que posee cada objeto. El conjunto de los conceptos de un contexto formal tiene estructura de retículo completo, lo que permite representarlos gráficamente como jerarquías conceptuales, posibilitando el análisis de estructuras complejas y descubriendo dependencias entre los datos (José A. Alonso).

**Definición 4.6** *Un contexto formal  $C$  es una terna  $(O,A,I)$  donde  $O$  es un conjunto de objetos,  $A$  es un conjunto de atributos e  $I \subseteq O \times A$ . si  $(d,a) \in I$  significa que el objeto  $d$  posee el atributo  $a$  (también se puede denotar  $dIa$ ).*

El método se utiliza principalmente para el análisis de datos y la representación de la información. Como técnica permite descubrir relaciones latentes que se encuentra en bases con grandes volúmenes de datos, que el experto no alcanza a identificar. Los datos describen la correspondencia entre un conjunto particular de objetos y un conjunto particular de atributos (BÉLOHLÁVEK, 2008). A partir de los datos el AFC se emplea para procesar, analizar, construir y representar matemáticamente estructuras conceptuales (Gaviria, 2015).

## 4.9 Python

Python es un lenguaje de programación interpretado, multiparadigma, usa tipado dinámico y es multiplataforma. Python fue creado a finales de los 80 por Guido Van Rossum en el centro para las matemáticas y la informática (CWI, Centrum Wiskunde e Informatica), en los países bajos,

como sucesor del lenguaje de programación ABC, capaz de manejar excepciones e interactuar con el sistema operativo Amoeba.

Este lenguaje gracias a sus potentes librerías ha logrado inmiscuirse en el mundo de *Data Science*, gracias a estas atribuciones es posible la resolución de los problemas con una eficiencia clara, y eficaz en el manejo de los datos (Madrid, 2016).



**Figura 4.4** Logo de la Organización Python. Tomado de (Python.org, s.f.).

## 5 METODOLOGÍA

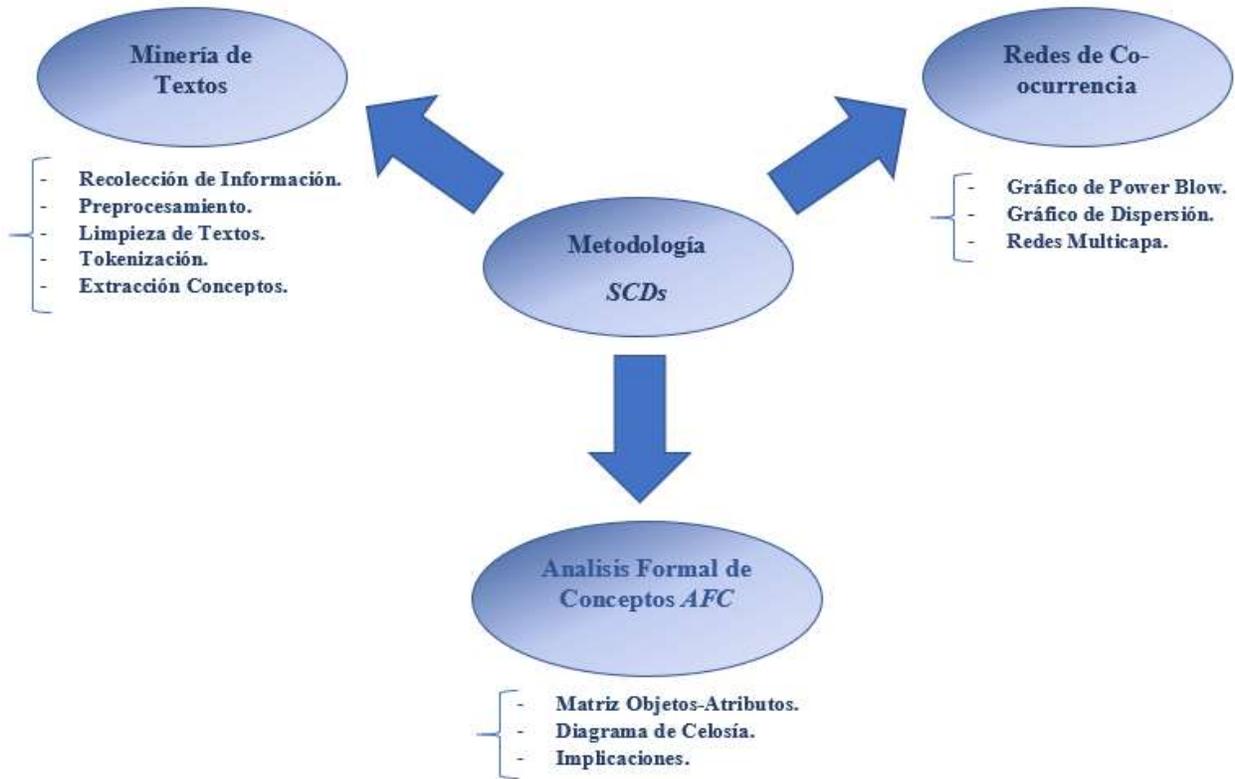


Figura 5.1 Diagrama de la Metodología para SCDs

La (Figura 5.1) Nos muestra la metodología planteada para los SCDs, en esta se muestran las técnicas utilizadas con las series de procesos que se deben cumplir en cada una de ellas. Siguiendo esta metodología se llega al formalismo de conceptos mediante corpus de textos establecidos.

En ovalo minería de textos es la primera técnica que se implementa, donde siguiendo cada uno de los procesos que esta técnica tiene, se realiza la recolección de información, preprocesamiento, limpieza del texto, tokenización y la extracción de conceptos.

El ovalo redes de co-ocurrencia es la segunda técnica que se aplica. Con esta se obtienen los conceptos más co-ocurrentes a partir de un gráfico de Power Blow, también se visualizan mediante gráfico de dispersión, que nos muestra de forma más clara la frecuencia con la que estos términos se encuentran en el texto. de igual manera representarlos mediante redes multicapa, donde nos permite visualizar las interacciones de los términos a través de capas.

El ovalo de análisis formal de conceptos *AFC*, es la técnica de la cual se establece la matriz objetos- atributos, donde a partir de esta matriz, se obtiene el diagrama de celosía que nos determina el formalismo de conceptos en relación con atributos dentro de un contexto determinado. A partir de la relación objeto-atributo en el diagrama de celosía de establecen las implicaciones que definen a a cada concepto.

## **5.1 Creación de Corpus**

Para el cumplimiento de nuestros objetivos, era necesario tener un corpus robusto de cada una de las teorías utilizadas: agentes multiples, redes y juegos, por ello la necesidad de realizar un estado del arte profundo de artículos científicos y tomar el contenido que hiciera mayor aporte al tema de investigación abordado sobre sistemas con dinámica acoplada *SCDs* y construir el corpus de cada una de las teorías.

## **5.2 Obtención de Conceptos**

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los propósitos de este trabajo es analizar la co-ocurrencia y/o frecuencias de nociones de cada una de las teorías, para ello es necesario realizar el método de minería de textos, donde por medio de las técnicas que emplea dicho método mencionadas por (Salamanca, 2018), se lleva a cabo la recopilación de datos (información) de diferentes recursos, tales como sitios web, artículos, archivos de documentos, entre otros. Seguidamente se hace la identificación del contenido, que nos permite la extracción de las características representativas (conceptos). La limpieza del texto, consiste en eliminar cualquier información innecesaria o no deseada, como es anuncios de páginas, caracteres especiales y conceptos que no aportan al contexto. Para tener una mejor identificación se divide el texto en entidades significativas (palabras u oraciones) dados los espacios en blanco y las puntuaciones. Esto permitirá realizar la extracción de las características o selección de atributos. Donde finalmente se obtienen el texto con los conceptos, claves y comunes más frecuentes de cada una de las teorías.

## **5.3 Creación de Matriz Objetos - Atributos**

A partir de los conceptos claves y comunes obtenidos de cada una de las teorías se establece la matriz objetos (conceptos) – atributos (elementos). Se define como conceptos cada una de las teorías utilizadas en la investigación (múltiples agentes, redes y juegos), se incluye también el concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs* como nuevo concepto propuesto. Los elementos se definen de acuerdo a la frecuencia de términos obtenidos en la minería de textos. Este valor (frecuencia) establecido indica las palabras más co-ocurrentes que aporta cada una de las

teorías ya mencionadas a en el concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs* como nueva construcción.

#### **5.4 Aplicación Análisis Formal de Conceptos AFC**

Un concepto formal se define como un par formado por un conjunto de objetos (*extensión*) y un conjunto de atributos (*intensión*). De modo que la extensión está formada por todos los objetos que comparten los atributos dados, y la intención la forman todos los atributos compartidos por los objetos dados. De este modo, el *AFC* formaliza matemáticamente las nociones de extensión e intención (Caparrini, 2017).

A partir de la matriz objetos – atributos mencionada anteriormente, y tomando el contexto de (Caparrini, 2017) se realiza el análisis formal de conceptos por *extensión* donde se identifican los objetos que comparten los atributos dados, de igual forma se realiza el análisis formal de conceptos por *intención* donde se identifican todos los atributos compartidos por los objetos dados. Con los conceptos identificados por extensión e intención respectivamente a partir de la matriz objetos – atributos se construye el *diagrama de celosía*, donde se representan los conceptos formales como círculos, por medio de las líneas del árbol de jerarquización se obtiene los *subconceptos* y *superconceptos*, de allí se establece que cada atributo que corresponde a un subconcepto implica y/o está contenido en los demás atributos correspondientes a los superconceptos. Cada objeto y nombre de atributo se usa como una etiqueta exactamente una vez en el diagrama de celosía, con objetos por debajo y por encima de los atributos círculos concepto.

Esto se hace de una manera que un atributo se puede llegar desde un objeto a través de un camino ascendente si y sólo si el objeto tiene el atributo.

## **5.5 Representación del Prototipo de Sistemas con Dinamica Acoplada *SCDs***

El prototipo de sistemas con dinamica acoplada *SCDs* se representa mediante el lenguaje de programación Python, donde se desarrollo una herramienta (prototipo) que integra cada una de las técnicas utilizadas en la investigación, y realiza toda la metodologia computacionalmente.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Conceptos Co-ocurrentes

Para los conceptos co-ocurrentes se estableció un parámetro de valor de frecuencia, de esta manera se determinan las palabras más co-ocurrentes en cada una de las teorías, representadas mediante gráfico de *Power Blow*.

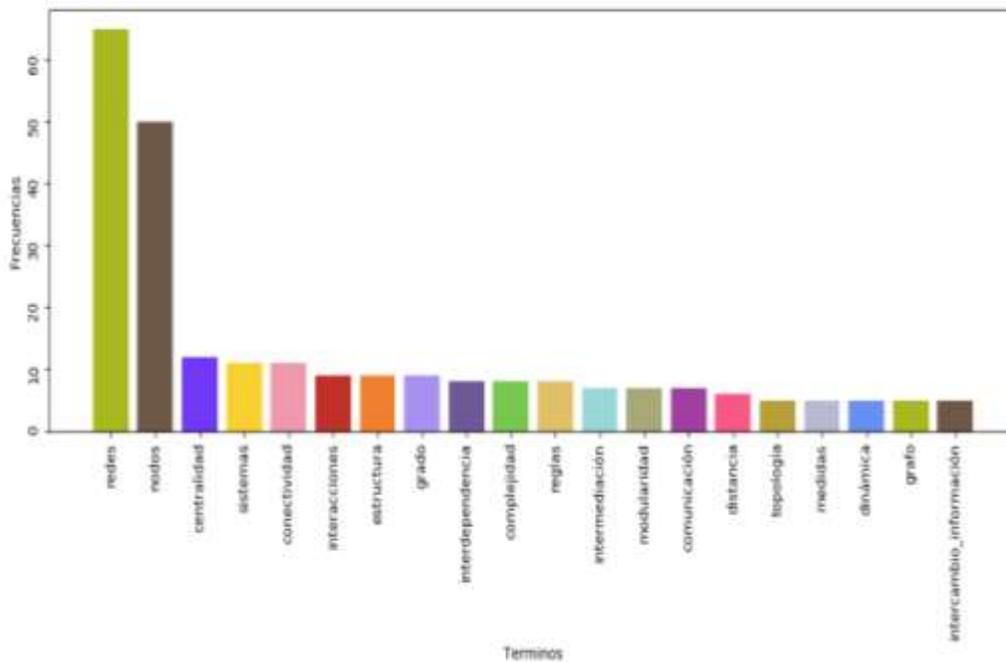


Figura 6.1 Frecuencia de Términos de la Teoría de Redes.

La (Figura 6.1) muestran los términos mas co-ocurrentes de la teoría de redes, donde el valor de frecuencia establecido fue de 20. En este rango se determinan los elementos mas estables que aporta esta teoría al concepto propuesto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.

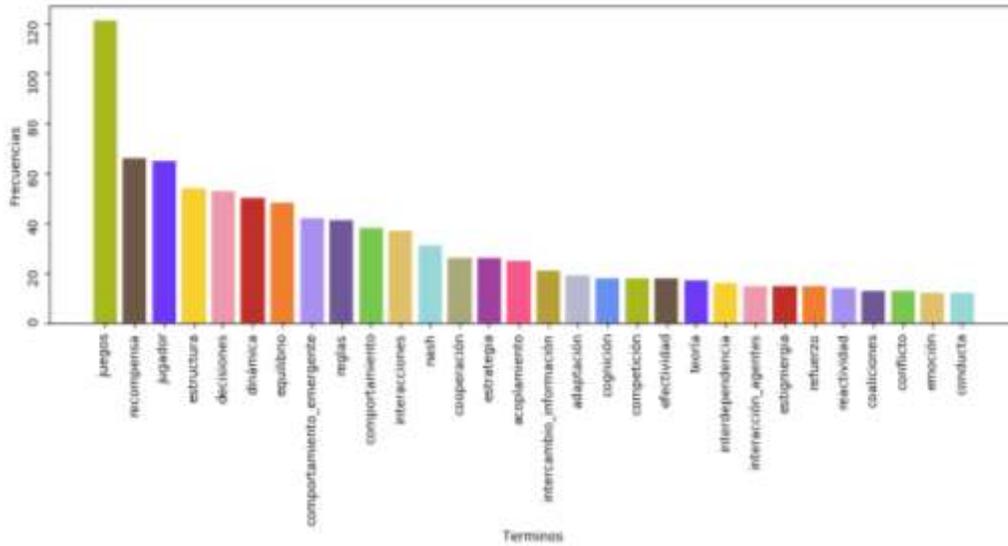


Figura 6.2 Frecuencia de Términos de la Teoría de Juegos.

Mediante (La figura 6.2) se pueden evidenciar los términos mas co-ocurrentes de la teoría de juegos, donde el valor de frecuencia establecido fue de 30. En este rango se determinan los elementos mas estables que aporta esta teoría al concepto propuesto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.

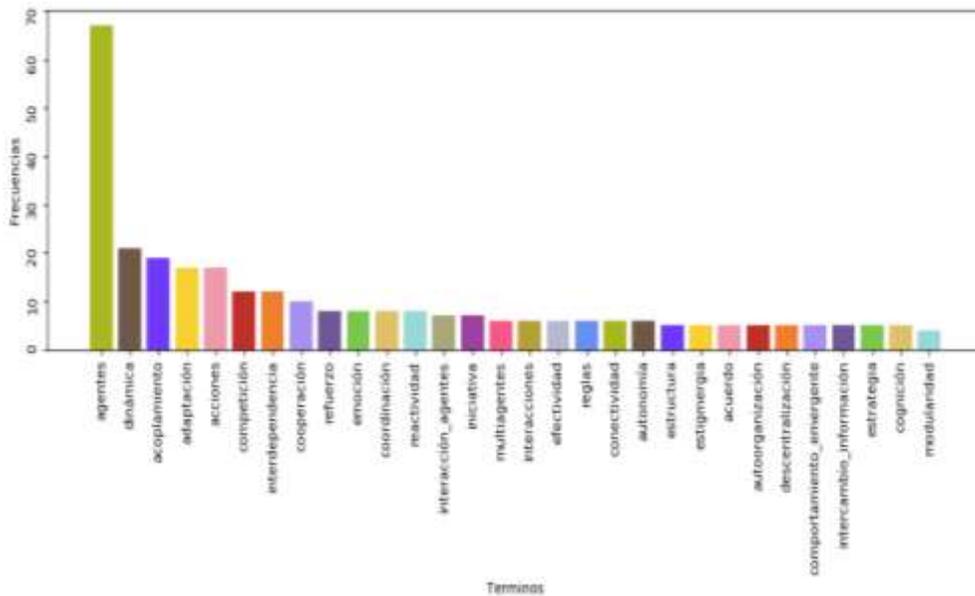


Figura 6.3 Frecuencia de Términos Sistemas Multi-Agentes.



En el análisis de la matriz se observan las columnas de color rojo, este muestra los elementos que son compartidos por las tres teorías sistemas multi-agentes, redes y juegos. En color azul aparecen los elementos que comparte la teoría de juegos con sistemas multiples agentes. El color morado los elementos que comparte la teoría de redes con sistemas multiples agentes. Y los que poseen el color verde claro son los elementos propios de cada una de las teorías.

### 6.3 Análisis Formal de Conceptos AFC

A partir de la matriz de relación entre teorías y elementos, se creó un diccionario de acrónimos de los atributos (Figura 7.4) donde se aplica la técnica de análisis formal de conceptos. Y se obtiene el diagrama de celosía.

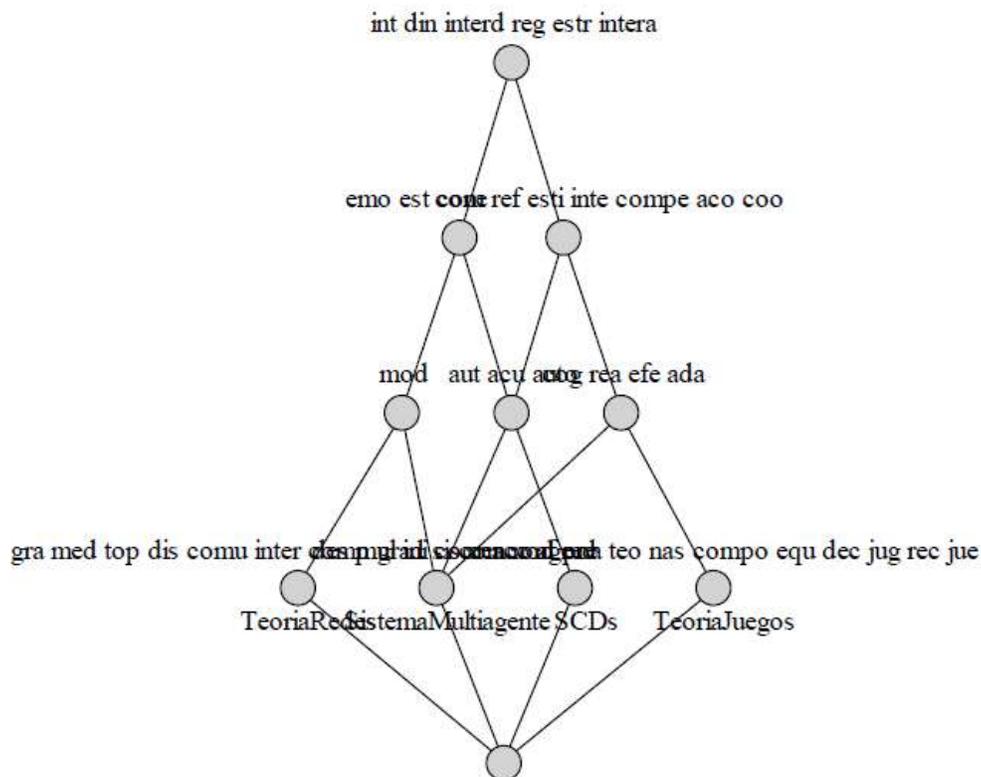


Figura 6.5 Diagrama Celosía Obtenido del AFC.

De este diagrama como nueva construcción se obtienen 11 conceptos. Los conceptos se muestran como círculos a partir de los cuatro conceptos iniciales (átomos) que inicialmente se formularon (múltiples agentes, redes, juegos y *SCDs*).

Se identifica que cada concepto posee relación con una cantidad de atributos (elementos), siguiendo de manera ascendente los enlaces del diagrama de celosía nos muestra que los conceptos están ubicados por niveles, significa que, si un concepto se encuentra en nivel inferior a otro, este se denomina *subconcepto*, por lo tanto, todos los elementos pertenecientes al subconcepto implican estar contenidos en el concepto de mayor nivel denominado *superconcepto*.

## 7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 Conceptos Co-ocurrentes

Una forma más esencial de representar los términos más co-ocurrentes es por medio de una gráfica de dispersión, en donde se representan las posiciones en la que se encuentra cada uno de los términos obtenidos en el valor de frecuencia establecido dentro del corpus perteneciente a cada teoría. De esta forma se corroboró por que los términos más frecuentes eran los necesarios para incluir en el nuevo concepto propuesto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.

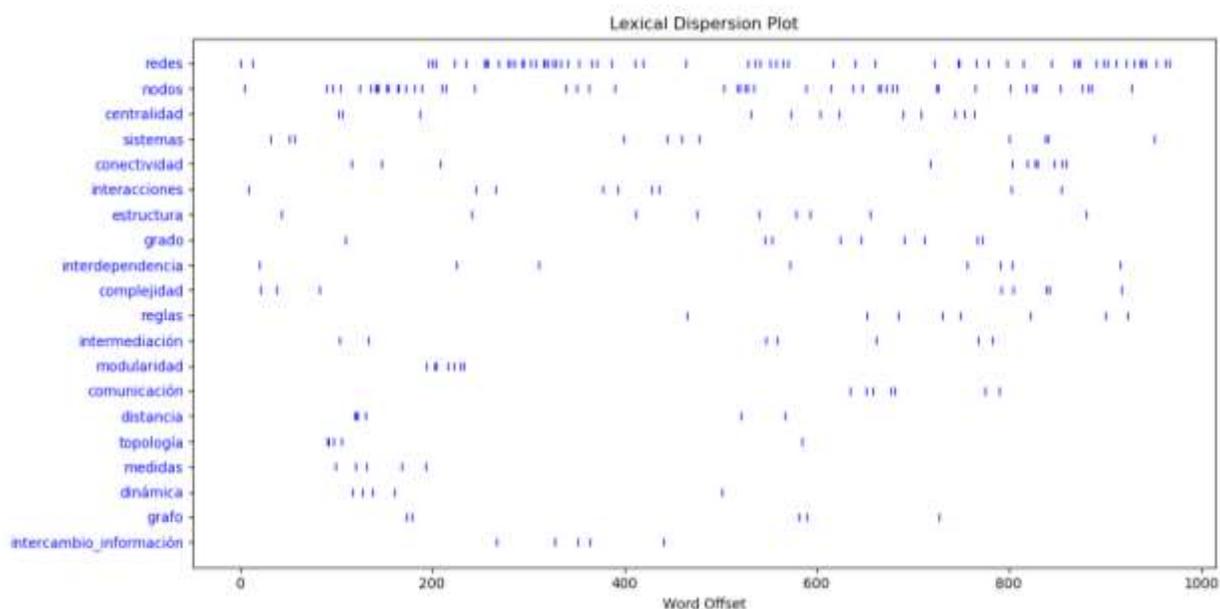
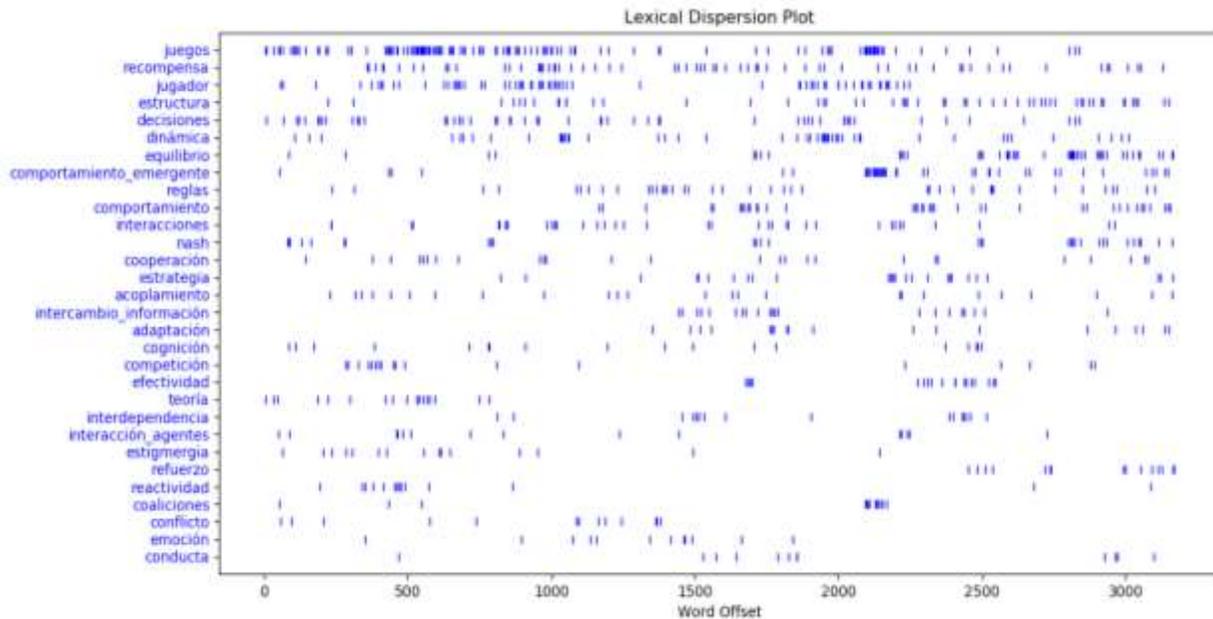


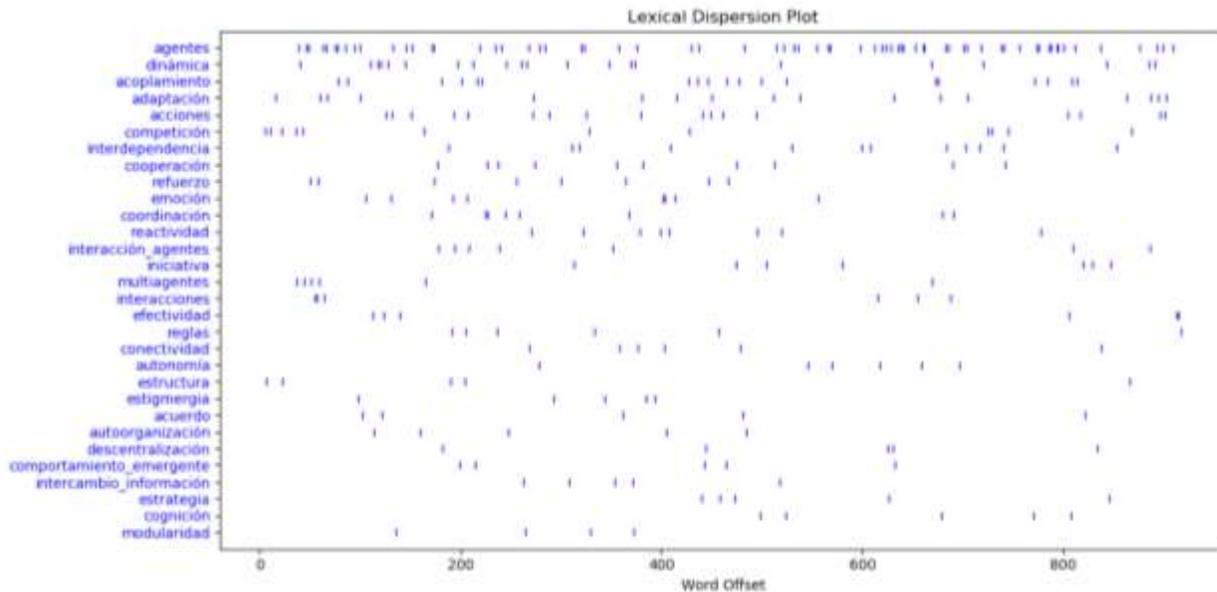
Figura 7.1 Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Teoría de Redes.

En la (Figura 7.1) se muestran las posiciones en la que se encuentra cada uno de los términos obtenidos a partir de la frecuencia establecida en el corpus de la teoría de redes. Lo que hace que sean los 20 términos más estables que aporte a nuestro concepto de *SCDs*.



**Figura 7.2** Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Teoría de Juegos.

La (Figura 7.2) muestra las posiciones en la que se encuentra cada uno de los términos obtenidos a partir de la frecuencia establecida en el corpus de la teoría de juegos. Se puede evidenciar a comparación de las (Figura 7.1) y (Figura 7.3) que es el gráfico con mayor densidad en las posiciones de los términos del corpus. Lo que permite obtener los términos más estables que aportan al concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.



**Figura 7.3 Grafico Dispersión de las Posiciones de Conceptos Múltiples Agentes.**

La (Figura 7.3) muestra la frecuencia de dispersión de las posiciones en la que se encuentra cada uno de los términos obtenidos a partir del valor de frecuencia establecida en el corpus de la teoría de múltiples agentes.

## 7.2 Matriz Objetos – Atributos

En la matriz objetos – atributos se obtienen los elementos que aporta cada una de las teorías estudiadas en su relación con el concepto propuesto de *SCDs*. Los elementos (atributos) se reescribieron a partir de un diccionario de acrónimos creado, para reducir el contexto de celosía (Figura 6.5) al momento de aplicar el análisis formal de conceptos, esto debido a que un concepto posee varios atributos lo cual se hace extenso y permite que los elementos se superpongan unos sobre otros.

<b>int</b> = intercambio_información	<b>comp</b> = complejidad
<b>con</b> = conducta	<b>efe</b> = efectividad
<b>mod</b> = modularidad	<b>auto</b> = autoorganización
<b>gra</b> = grafo	<b>compe</b> = competición
<b>emo</b> = emoción	<b>cone</b> = conectividad
<b>cog</b> = cognición	<b>grad</b> = grado
<b>din</b> = dinámica	<b>ada</b> = adaptación
<b>conf</b> = conflicto	<b>intera</b> = interacciones
<b>est</b> = estrategia	<b>aco</b> = acoplamiento
<b>med</b> = medidas	<b>mul</b> = multiagentes
<b>coa</b> = coaliciones	<b>sis</b> = sistemas
<b>top</b> = topología	<b>ini</b> = iniciativa
<b>rea</b> = reactividad	<b>cen</b> = centralidad
<b>com</b> = comportamiento_emergente	<b>coo</b> = cooperación
<b>dis</b> = distancia	<b>nod</b> = nodos
<b>ref</b> = refuerzo	<b>nas</b> = nash
<b>des</b> = descentralización	<b>red</b> = redes
<b>comu</b> = comunicación	<b>coor</b> = coordinación
<b>esti</b> = estigmergia	<b>compo</b> = comportamiento
<b>aut</b> = autonomía	<b>equ</b> = equilibrio
<b>inte</b> = interacción_agentes	<b>dec</b> = decisiones
<b>acu</b> = acuerdo	<b>acc</b> = acciones
<b>inter</b> = intermediación	<b>jug</b> = jugador
<b>interd</b> = interdependencia	<b>rec</b> = recompensa
<b>reg</b> = reglas	<b>jue</b> = juegos
<b>teo</b> = teoría	<b>age</b> = agentes
<b>estr</b> = estructura	<b>pre</b> = predicción

Figura 7.4 Diccionario Acrónimos de Atributos.

La (Figura 7.4) nos muestra el diccionario de acrónimos creado para la lista de atributos, donde se tomaron las tres primeras letras del nombre de cada atributo, para establecer su acrónimo. Si un atributo comparte las mismas primeras tres letras con otro, se toma la siguiente letra para establecer el acrónimo de correspondiente a dicho atributo.

Tabla 7.1 Matriz Objetos - Atributos

	Int	Con	Mod	Gra	Emo	Cog	Din	Conf	Est	Med	Coa	Top	Rea	Com	Dis	Ref	Des
TeoriaRedes	X		X	X			X			X		X			X		
TeoriaJuegos	X	X			X	X	X	X	X		X		X	X		X	
SistemaMultiAgente	X		X		X	X	X		X				X	X		X	X
SCDs	X				X		X		X					X		X	

Se muestra la matriz Objetos – Atributos. La primera fila corresponde a los atributos (elementos), escritos de acuerdo al diccionario de acrónimos (Figura 7.4). La primera columna contiene los objetos (conceptos) estudiados, sistemas multi-agentes, redes y juegos, también el concepto propuesto *SCDs*. A partir de tener fila y columna de la matriz establecidas, se relaciona cada uno de los conceptos con su respectivo atributo mediante una “X”.

### **7.3 Análisis Formal de Conceptos AFC**

Aplicado el análisis formal de conceptos y obteniendo el diagrama de celosía (Figura 6.3.). Se establecen las implicaciones, donde se determina como un elemento del concepto inicial, implica tener a demás elementos asociados al mismo concepto dentro del mismo contexto.

A partir del análisis de las implicaciones, se determinan cuales elementos de los que están en el contexto posee cada uno de los conceptos (sistemas multi-agentes, redes y juegos). Principalmente el concepto propuesto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*.

```

{TeoríaRedes} <-> [redes nodos dinámica centralidad sistemas estructura conectividad interacciones interdependencia grado reglas complejidad intermediación modular
idad comunicación distancia topología intercambio información medidas grafo] <-> {TeoríaRedes} <=> redes nodos centralidad sistemas grado complejidad intermediación como
nicación distancia topología medidas grafo
{TeoríaJuegos} <-> [juegos recompensa dinámica jugador acoplamiento estructura adaptación decisiones interacciones competición equilibrio interdependencia comporta
miento emergente cooperación reglas refuerzo comportamiento emoción nash reactividad interacción agentes estrategia intercambio información efectividad cognición teoría
a estigmergia coaliciones conflicto conducta] <=> {TeoríaJuegos} <=> juegos recompensa jugador decisiones equilibrio comportamiento nash teoría coaliciones conflicto con
ducta
{SistemaMultiagente} <-> [agentes dinámica acoplamiento estructura adaptación conectividad interacciones competición interdependencia comportamiento reglas refuerzo emoción i
nteracción agentes estrategia intercambio información autonomía estigmergia acuerdo autoorganización predicción] <=> {SCDs} <=> predicción
{TeoríaRedes, SistemaMultiagente} <-> [dinámica estructura conectividad interacciones interdependencia reglas modularidad intercambio información] <=> modularidad
{TeoríaJuegos, SistemaMultiagente} <-> [dinámica acoplamiento estructura adaptación interacciones competición interdependencia comportamiento emergente cooperación
reglas refuerzo emoción reactividad interacción agentes estrategia intercambio información efectividad cognición estigmergia] <=> adaptación reactividad efectividad co
gnición
{SistemaMultiagente, SCDs} <-> [dinámica acoplamiento estructura conectividad interacciones competición interdependencia comportamiento emergente cooperación regla
s refuerzo emoción interacción agentes estrategia intercambio información autonomía estigmergia acuerdo autoorganización] <=> autonomía acuerdo autoorganización
{TeoríaRedes, SistemaMultiagente, SCDs} <-> [dinámica estructura conectividad interacciones interdependencia reglas intercambio información] <=> conectividad
{TeoríaJuegos, SistemaMultiagente, SCDs} <-> [dinámica acoplamiento estructura adaptación interacciones competición interdependencia comportamiento emergente cooperación regl
as refuerzo emoción interacción agentes estrategia intercambio información estigmergia] <=> acoplamiento competición comportamiento emergente cooperación refuerzo emoti
ón interacción agentes estrategia estigmergia
{TeoríaRedes, TeoríaJuegos, SistemaMultiagente, SCDs} <-> [dinámica estructura interacciones interdependencia reglas intercambio información] <=> dinámica estructu
ra interacciones interdependencia reglas intercambio información

```

Figura 7.5 Implicaciones por Concepto a Nuevos Elementos Iniciales.

Se definen el conjunto de implicaciones por concepto (teorías) donde se muestra como los elementos (atributos) establecidos inicialmente a cada uno de los conceptos implican a más elementos estar contenidos al mismo concepto dentro del contexto.

```

('TeoríaRedes',)<-> ('redes', 'nodos', 'dinámica', 'centralidad', 'sistemas', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'interdependencia', 'grado', 'reglas', 'co
mplejidad', 'intermediación', 'modularidad', 'comunicación', 'distancia', 'topología', 'intercambio_información', 'medidas', 'grafo')
-----
('TeoríaJuegos',)<-> ('juegos', 'recompensa', 'dinámica', 'jugador', 'acoplamiento', 'estructura', 'adaptación', 'decisiones', 'interacciones', 'competición', 'equilib
rio', 'interdependencia', 'comportamiento_emergente', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'comportamiento', 'emoción', 'nash', 'reactividad', 'interacción_agentes', '
estrategia', 'intercambio_información', 'efectividad', 'cognición', 'teoría', 'estigmergia', 'coaliciones', 'conflicto', 'conducta')
-----
('SistemaMultiagente',)<-> ('agentes', 'dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'adaptación', 'conectividad', 'acciones', 'interacciones', 'competición', 'interdepend
encia', 'comportamiento_emergente', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'coordinación', 'reactividad', 'modularidad', 'interacción_agentes', 'estrategia', '
iniciativa', 'multiagentes', 'intercambio_información', 'efectividad', 'cognición', 'autonomía', 'estigmergia', 'acuerdo', 'autoorganización', 'descentralización')
-----
('SCDs',)<-> ('dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'competición', 'interdependencia', 'comportamiento_emergente', 'cooperación', '
reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'interacción_agentes', 'estrategia', 'intercambio_información', 'autonomía', 'estigmergia', 'acuerdo', 'autoorganización', 'predicción'
)
-----
('TeoríaRedes', 'SistemaMultiagente',)<-> ('dinámica', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'interdependencia', 'reglas', 'modularidad', 'intercambio_informac
ión')
-----
('TeoríaJuegos', 'SistemaMultiagente',)<-> ('dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'adaptación', 'interacciones', 'competición', 'interdependencia', 'comportamiento_
emergente', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'reactividad', 'interacción_agentes', 'estrategia', 'intercambio_información', 'efectividad', 'cognición', '
estigmergia')
-----
('SistemaMultiagente', 'SCDs',)<-> ('dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'competición', 'interdependencia', 'comportamiento_emerge
nte', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'interacción_agentes', 'estrategia', 'intercambio_información', 'autonomía', 'estigmergia', 'acuerdo', 'autoorgan
ización')
-----
('TeoríaRedes', 'SistemaMultiagente', 'SCDs',)<-> ('dinámica', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'interdependencia', 'reglas', 'intercambio_información')
-----
('TeoríaJuegos', 'SistemaMultiagente', 'SCDs',)<-> ('dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'interacciones', 'competición', 'interdependencia', 'comportamiento_emerge
nte', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'interacción_agentes', 'estrategia', 'intercambio_información', 'estigmergia')
-----
('TeoríaRedes', 'TeoríaJuegos', 'SistemaMultiagente', 'SCDs',)<-> ('dinámica', 'estructura', 'interacciones', 'interdependencia', 'reglas', 'intercambio_información')

```

Figura 7.6 Conjunto de Elementos que Posee cada Concepto Final.

Se muestra cada concepto con el conjunto de elementos finales que posee en el contexto. Para nuestro estudio se define un sistema con dinámica acoplada *SCDs*, como un sistema que posee elementos como ('dinámica', 'acoplamiento', 'estructura', 'conectividad', 'interacciones', 'competición', 'interdependencia', 'comportamiento\_emergente', 'cooperación', 'reglas', 'refuerzo', 'emoción', 'interacción\_agentes', 'estrategia', 'intercambio\_información', 'autonomía', 'estigmergia', 'acuerdo', 'autoorganización', 'predicción').



## 8 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA (PROTOTIPO)

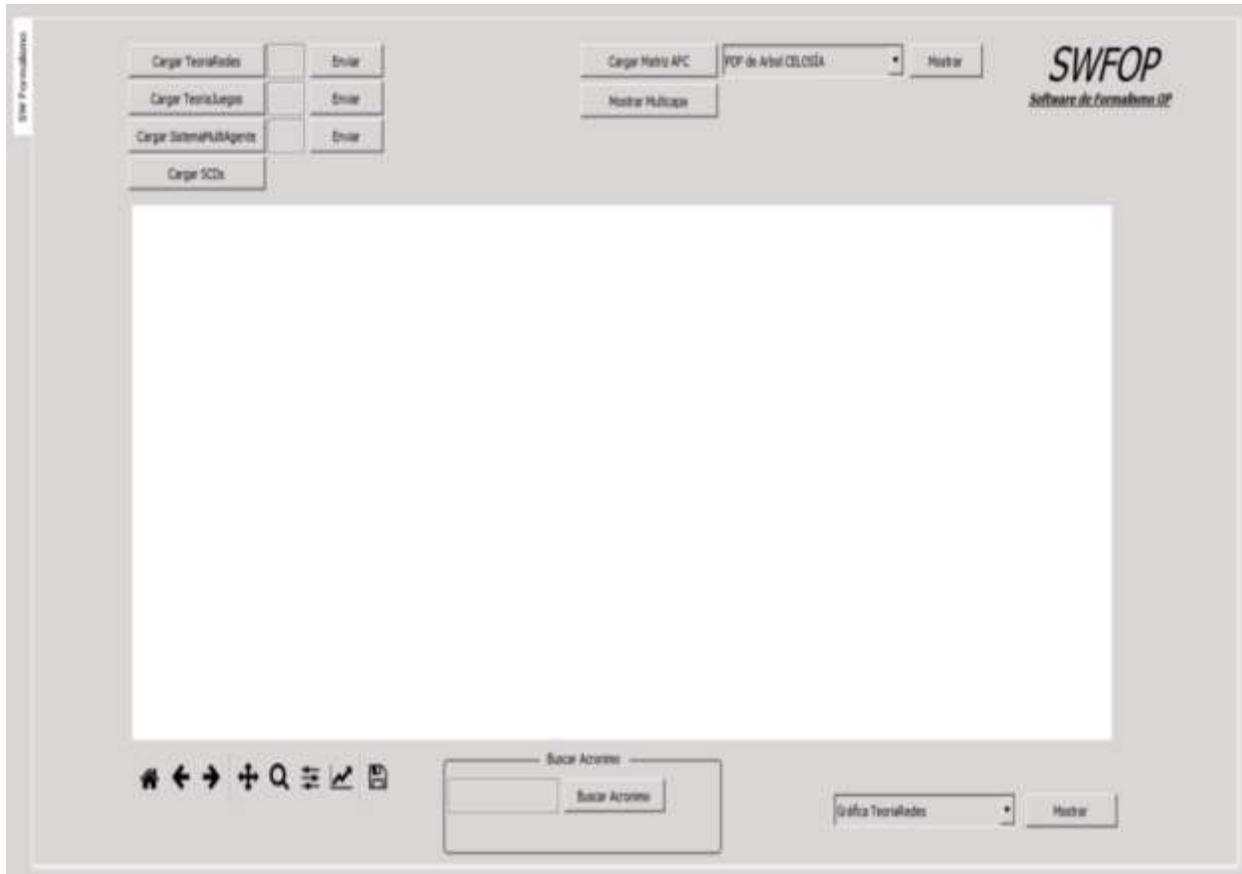


Figura 8.1 Herramienta Desarrollada para Formalismo SWFOP

El desarrollo del prototipo fue realizado en el lenguaje de programación Python. Esta herramienta incluye librerías necesarias para cada una de las técnicas implementadas.

Para la técnica de minería de textos se utilizó la librería *NLTK* (Natural Language ToolKit), es un conjunto de bibliotecas que permite el procesamiento del lenguaje natural. Con esta librería se realizaron cada una de los procesos de la minería de textos mencionados por (Salamanca, 2018), donde como resultado final se obtiene el texto limpio tokenizado por palabras.

Para la obtención de los términos más co-ocurrentes se utilizó la librería *FreqDist* y *Matplotlib*. Con la primera se obtuvieron los términos más co-ocurrentes con su respectiva frecuencia, la segunda librería permitió representar mediante gráfico de *Power Blow* los términos más co-ocurrentes.

Para la creación de la matriz se tomó cada uno de los vectores con los términos más co-ocurrentes obtenidos por teoría, y se comenzó a llenar la matriz, teniendo en cuenta que si el elemento se encontraba repetido no se volviera ingresar a la columna correspondiente. La relación objeto – atributo se hizo marcando con una ‘X’ de acuerdo a que teoría pertenece el elemento.

Para la aplicación de análisis formal de conceptos se utilizó la librería *Concepts*, esta recibe la matriz objetos – atributos y aplica la técnica de análisis formal de conceptos, que nos muestra el diagrama de celosía (Figura 6.5). Con la librería *Graphviz* se muestra el diagrama de celosía, que me permite identificar los subconceptos y superconceptos dentro del contexto, también identificar los atributos contenidos que implica un subconcepto dentro de un superconcepto.

Para la representación en multicapas se utilizó la librería *Pymnet* y *Matplotlib*. La primera permite representar las interconexiones entre los elementos de diferentes capas. Y la segunda se visualiza la red identificando las diferentes capas (teorías).

La parte gráfica de la herramienta se desarrolló con la librería *QT5*, que nos permite realizar la interacción con el software de forma visual. El entorno de trabajo se desarrolló agregando un *canvas* en el que se van a mostrar todos los resultados (gráficas). Los demás son *labels* (etiquetas) que nos permite cargar los archivos requeridos. La visualización de cada una de los gráficos de teorías, se almacena en un *combobox* donde podemos elegir el gráfico de la teoría que se desee.

## 9 CONCLUSIONES

- Se logró establecer una metodología que permite integrar las teorías de agentes, redes y juegos, a partir del análisis formal de conceptos por medio de técnicas de inteligencia artificial como, por ejemplo, minería de texto, procesamiento de lenguaje natural, redes complejas. Por medio de esta metodología fue posible validar la construcción del concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs* a partir de los conceptos base estudiados.
- Mediante el lenguaje de programación Python se logró desarrollar un prototipo que integra todas las herramientas utilizadas (minería de textos, redes de co-ocurrencia, análisis formal de conceptos) para representar el concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*, y con esto fue posible validar la metodología de manera computacional.
- A través de las implicaciones obtenidas, se definió el concepto *SCDs*. Como sistemas que presentan propiedades como dinámica, acoplamiento, interdependencia, cooperación, estrategia, autonomía, autoorganización. A partir de interacciones con otros sistemas, lo cual hace que estas propiedades hagan de un sistema acoplado ante situaciones emergentes de que un sistema dependa o no de otro.

## 10 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Mediante la metodología planteada se recomienda para trabajos futuros realizar el modelo matemáticamente formal para el concepto de sistemas con dinámica acoplada *SCDs*. Y así determinar dicho sistema como teoría propuesta.
- Aplicar el modelo a diferentes sistemas competitivos como deportivos, biológicos. Analizar las interacciones y describir las propiedades que puede llegar a presentar cada uno de estos sistemas.

## 11 ANEXOS

### Modeling Systems with Coupled Dynamics (SCDs): A Multi-Agent, Networks, and Game Theory-based Approach

Nelson Fernández <sup>1, 2</sup>, Osman Ortega <sup>1, 3</sup>, Yesid Madrid <sup>1, 3, 4</sup>, Guillermo Restrepo <sup>5, 6</sup>,  
Wilmer Leal <sup>6</sup>, Carlos Gershenson <sup>7, 8</sup>.

- <sup>1</sup> Laboratorio de Investigaciones en Hidroinformática, Universidad de Pamplona, Colombia.  
<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía, Universidad de Pamplona, Colombia.  
<sup>3</sup> Grupo de Investigación en Ciencias Computacionales, Universidad de Pamplona, Colombia.  
<sup>4</sup> Programa de Física, Universidad de Pamplona, Colombia.  
<sup>5</sup> Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences, Leipzig, Germany.  
<sup>6</sup> Interdisciplinary Center of Bioinformatics, Leipzig University, Germany.  
<sup>7</sup> Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México.  
<sup>8</sup> Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA  
nfernandez@unipamplona.edu.co

#### Abstract

The coupling and coordination of competing elements in a system have been studied. Notions such as the Mixed-strategy Nash equilibrium (MSNE) is a commonly-used solution in game theoretic models (Cobb and Sen, 2014). Also, it has been established that natural dynamics are leading to a particular system equilibrium or coordination, according to the players' interactions.

In this regard, research on the connectivity and interdependence of coupled systems is a crucial subject to understand the interactions between two or more systems, in which the dynamics and even the structure, of one system, can depend on another (?).

Concerning systems with coupled dynamics, it is well-recognized that interaction among systems can exhibit dynamical and emergent properties. Nevertheless, representing and modeling these aspects is not trivial.

In this context, this work develops an abstract modeling proposal of Systems with Coupled Dynamics (SCDs). Our objective is to present a viewpoint on how network, game, and multi-agent theories can be used to represent and assess the interactions between and within SCDs. We provide an overview of knowledge and gaps in the literature regarding networks (?), game theory (?), and multi-agent systems (??), as well as instances where they have been combined successfully, e.g. ?. We generalize an approach for the assessment of multi-system interactions and flows. We also provide a design framework and the evaluation of an SCD.

Based on our notions and formalizations, the study of several dynamics of natural systems can be possible.

A starting point for the application of our approach is the representation of the dynamics of competitive sports. In this way, we consider soccer as an example of SCDs that by means our approach can be studied. Preliminary results from sports motivate us to study applications in biological systems, such as regulatory protein networks analyzed as SCDs.

#### References

- Cobb, B. R. and Sen, T. (2014). Finding mixed strategy Nash equilibria with decision trees. *International Review of Economics Education*, 15:43–50.
- Wider, N., Garza, A., Scholtes, I., and Schweitzer, F. (2015). An ensemble perspective on multi-layer networks.

Figura 11.1 Abstract Postulado Congreso Internacional CSS.



CONFERENCE of COMPLEX SYSTEMS - CCS2018  
September 23-28, 2018  
Thessaloniki, Greece

---

## CERTIFICATE OF ATTENDANCE

**Osman Ortega Parada**

has attended the Conference of Complex Systems  
that was held in Thessaloniki, Greece in period  
September 23 – 28, 2018.

Additionally, during this Conference he presented a research paper titled:  
“Modeling systems with coupled dynamics (SCD): A Multiple agents, networks  
and approaches based on game theory”

The Conference Chairman

Prof. Panos Argyrakis



Figura 11.2 Certificado Congreso Internacional CSS.

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Accinelli, D. V. (2018). *Introducción a la Teoría de Juegos*.
- [2] Aguilar, J. (2014). *Introducción a los Sistemas Emergentes*.
- [3] Barry R. Cobb, T. S. (2014). *Finding mixed strategy Nash equilibria with decision trees*.
- [4] BÉLOHLÁVEK, R. (2008). *INTRODUCTION TO FORMAL CONCEPT ANALYSIS*.
- [5] Bernhard Ganter, G. S. (s.f.). *Formal Concepts Analysis Foundations and Applications*.
- [6] Caparrini, F. S. (2017). *Análisis Formal de Conceptos*. Obtenido de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=78>
- [7] Contreras Fernando, N. A. (2002). *Teoría de Juegos*.
- [8] Fernandez, N. F. (2015). *Modelado Multi-agentes de Sistemas Dinámicos*.
- [9] Gaviria, J. R. (2015). *Aspectos topológicos en el Análisis de Conceptos Formales*.
- [10] Gershenson, C. (2007). *Design and Control of Self-organizing Systems*.
- [11] Gershenson, C. (2011). *The Implications of Interactions for Science and Philosophy*.
- [12] Gershenson, C. G. (2011). *Redes Complejas*. Obtenido de [https://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/artl\\_e\\_00037](https://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/artl_e_00037).
- [13] IBM. (s.f.). *IBM Knowledge Center*. Obtenido de [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7\\_18.1.1/ta\\_guide\\_ddit\\_a/textmining/shared\\_entities/tm\\_intro\\_tm\\_defined.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7_18.1.1/ta_guide_ddit_a/textmining/shared_entities/tm_intro_tm_defined.html)

- [14] José A. Alonso, J. B. (s.f.). *Una Introducción al Análisis Formal de Conceptos en PVS \**.
- [15] Kleinberg, D. E. (2010). *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*.
- [16] Madrid, Y. A. (2016). *Complejidad Estructural y Dinámica en Redes Libres de Escala y Pequeño Mundo*. Pamplona - Colombia.
- [17] Mar Newman, A.-L. B. (2009). *The Structure and Dynamical of Networks* .
- [18] Nicolas Wider, A. G. (2015). *An ensemble perspective on multi-layer networks*.
- [19] Python.org. (s.f.). *Python*. Obtenido de <https://www.python.org/>
- [20] Salamanca, U. d. (2018). *Universo Abierto*. Obtenido de Blog de la biblioteca de Traducción y Documentación de la Universidad de Salamanca: <https://universoabierto.org/2018/02/22/que-es-la-mineria-de-textos-como-funciona-y-por-que-es-util/>
- [21] Universidad Nacional del Sur, (. (2016). <http://ars-uns.blogspot.com/2016/11/ars-101-redes-de-co-ocurrencia.html>. Obtenido de Curso de postgrado "Análisis de redes sociales ".