



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Compromiso y Simpatía: Emotividad en la toma de decisiones cooperativas en redes estocásticas de siguiente generación

**Julian Felipe Latorre Ochoa**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación  
Bogotá, Colombia  
2017



# Compromiso y Simpatía: Emotividad en la toma de decisiones cooperativas en redes de siguiente generación

**Julian Felipe Latorre Ochoa**

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería - Telecomunicaciones**

Director(a):

Ph.D. Jorge Eduardo Ortiz Triviño

Línea de Investigación:

Redes y sistemas distribuidos de telecomunicaciones

Grupo de Investigación:

TLÖN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación

Bogotá, Colombia

2017



*Para Elisa,*

-Es posible- proyectar de nuevo las instituciones de un gobierno de acuerdo a los principios y prácticas de la cibernética, lo cual consistirá en transferir al individuo la decisión de decidir; que el pueblo por sí mismo tome el control de la ciencia por medio de procesos democráticos; suministrando a aquel o a los gobiernos, nuevos canales de comunicación, nuevos sistemas de educación y nuevos sistemas de difusión

Stafford Beer



# Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia.

A las coaliciones y grupos estudiantiles, académicos, de investigación, de producción y reproducción técnica, científica y colectiva del conocimiento.

Al grupo de investigación en redes de telecomunicaciones dinámicas y lenguajes de programación distribuidos, TLÖN.

Al grupo de investigación: Sociedad, Economía y Productividad, SEPRO.

A las organizaciones sociales, grupos productivos y logísticos que llevan la comida a la mesa de cada trabajador, estudiante e investigador colombiano.

A todos mis amigos, amigas, familiares y educadores.

...Al Dios de la Historia...



## Resumen

Los resultados empíricos en las ciencias sociales muestran que los tomadores de decisiones no siempre toman decisiones racionales y el concepto de racionalidad limitada [68] se usa para explicar dicho comportamiento. En este documento se utiliza esta idea y junto a las categorías de compromiso y simpatía provistas por Amartya Sen en su crítica al *homo economicus* [61, 62, 60, 59], se ha diseñado una aplicación específica para la conformación de conjuntos cooperativos a través de un proceso coalicionista en el tiempo que, se espera, brinde al diseño de sistemas complejos descentralizados, entre ellos al diseño de redes *ad hoc*, soluciones superiores a las provistas por el sólo equilibrio de Nash.

**Palabras clave:** Sistema multiagente, coalición, cooperación, racionalidad limitada, individualismo metodológico, redes *ad hoc*, egoísmo.

## Abstract

The empirical results in the social sciences show that decision makers do not always make rational decisions and the concept of limited rationality [68] is used to explain such behavior. In this document, this idea is used, and together with the categories of commitment and sympathy provided by Amartya Sen in his criticism of *homo economicus* [61, 62, 60, 59], a specific application has been designed for the conformation of cooperative groups through a coalition process in time that is expected to provide to the design of complex decentralized systems, as *ad hoc* networks, superior solutions to those provided by the only Nash equilibrium

**Keywords:** Multiagent system, coalition, cooperation, limited rationality, methodological individualism, *ad hoc* networks, egoism.

# Contenido

|   |            |
|---|------------|
| <b>Agradecimientos</b>  | <b>vii</b> |
| <b>Resumen</b>  | <b>ix</b>  |
| <b>Introducción</b>   | <b>1</b>   |
| <b>Identificación del problema</b>  | <b>3</b>   |
| Antecedentes . . . . .  | 4          |
| Justificación . . . . .   | 5          |
| <b>Objetivos</b>  | <b>6</b>   |
| Objetivo general . . . . .  | 6          |
| Objetivos específicos . . . . .   | 6          |
| <b>1. Marco Teórico</b>   | <b>7</b>   |
| 1.1. El individualismo metodológico y la teoría de la elección racional . . . . .                 | 7          |
| 1.1.1. La axiomática racional de Luce y Raiffa . . . . .  | 8          |
| 1.2. El pensamiento sistémico y la teoría de la racionalidad limitada . . . . .                   | 9          |
| 1.2.1. La axiomática social de Amartya Sen . . . . .  | 10         |
| 1.3. El enfoque coalicionista en la teoría de juegos . . . . .                                    | 11         |
| <b>2. Modelamiento</b>  | <b>13</b>  |
| 2.1. Modelamiento conceptual . . . . .  | 13         |
| 2.1.1. El espacio de control autónomo: la separación de las naturalezas en el individuo . . . . . | 14         |
| 2.1.2. Confianza en sí mismo y la construcción de comunidad . . . . .                             | 17         |
| 2.1.3. El modelo del agente social . . . . .  | 18         |
| 2.1.4. La interacción del agente social en el juego de estrategia . . . . .                       | 21         |
| 2.2. Modelamiento computacional de un servicio cooperativo . . . . .                              | 24         |
| 2.2.1. La definición del ambiente . . . . .   | 25         |
| 2.2.2. La definición de agente social coalicionista . . . . .                                     | 28         |
| 2.2.3. Esquema de verificación de confianza y compromiso . . . . .                                | 30         |
| 2.2.4. La definición de agente racional no coalicionista . . . . .                                | 32         |
| 2.2.5. Estrategias y torneos . . . . .  | 33         |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. Adaptación e integración de los modelos elaborados en el proyecto TLÖN</b> | <b>35</b> |
| 3.0.1. Preparación y presentación de los datos generados en TLÖN . . . . .       | 36        |
| <b>4. Experimentación</b>  | <b>40</b> |
| 4.0.1. Resultados y validación . . . . .   | 43        |
| <b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>   | <b>55</b> |
| 5.1. Conclusiones . . . . .  | 55        |
| 5.2. Recomendaciones . . . . .   | 57        |
| <b>A. Anexo: Resultados detallados de los torneos</b>                            | <b>59</b> |
| <b>Bibliografía</b>  | <b>67</b> |

# Introducción

Todo sistema complejo requiere de la comunicación e interacción de múltiples saberes, conocimientos, disciplinas y subsistemas descentralizados [46]. En particular los diseños complejos en la ingeniería se avocan a interactuar con las ciencias sociales cada día en mayor proporción, para lo cual es necesario resolver cuestiones teóricas fundamentales como el problema de la incomensurabilidad entre los modelos de una u otra disciplina así como la aplicabilidad de los conceptos de manera interdisciplinar [36]. La teoría de juegos se ha utilizado para modelar estas interacciones y predecir soluciones de convergencia y equilibrio, suponiendo un principio de racionalidad perfecta el cual permite a los jugadores, en problemas de diseño descentralizado, converger en un equilibrio de Nash. Sin embargo, esta solución resulta subóptima para el equilibrio en juegos cooperativos. Por otra parte, los resultados empíricos en las ciencias sociales muestran que los tomadores de decisiones no siempre toman decisiones racionales y el concepto de racionalidad limitada [68] se usa para explicar dicho comportamiento.

En este documento, se utiliza esta última idea que junto con las afirmaciones de Amartya Sen en su crítica al *homo economicus* [61, 62, 60, 59] (donde anuncia la simpatía y el compromiso como valores esenciales en la conformación social y económica), nos han permitido diseñar una aplicación específica de la conformación de conjuntos cooperativos que, se espera, brinde al diseño de problemas complejos descentralizados, soluciones superiores a las provistas por el sólo equilibrio de Nash.

Describimos una visión de la teoría de juegos sobre el problema de la distribución que surge al interior de las redes móviles *ad hoc* (MANET). En particular, consideramos dos clases de juegos iterados: tradicionales y dinámicos coalicionistas. Para tales juegos, se incorporó un entorno de modelado del Dilema del Prisionero (DP) en el análisis de las diferentes estrategias de los jugadores. Más allá, en el segundo tipo de juego, se elaboró un protocolo de carácter temporal para la definición de una “meta-estrategia” cooperativa que involucra las nociones de simpatía y compromiso en la definición de entidades coalicionistas que cooperan entre sí y ejecutan sus estrategias primarias frente a nodos ajenos a su entidad. Se exhiben, en los comportamientos de uno y otro tipo de juego, diferentes tasas de diversidad en sus poblaciones, que para el caso del juego coalicionista, muestran una alta diversidad poblacional en juegos repetidos y pueden abrir la puerta a encontrar nuevas soluciones al problema de la cooperación en las redes de telecomunicaciones en presencia de nodos egoístas que crean

problemas tipo dilema social como el DP.

A continuación, se plasmarán las diferentes perspectivas que se encuentran en la literatura y que pueden aportar a la solución de la problemática identificada, de cara a limitar la investigación, hacia el planteamiento de una propuesta metodológica que permita implementar una representación computacional de los conceptos sociales de compromiso y simpatía. Los cuales se presumen relevantes en la conformación de multitudes o grupos de interés como se advierte en el primer capítulo del presente trabajo. A través de la conceptualización entorno al individualismo metodológico y su relación con la teoría holista (de contraposición aparente) se procede a desarrollar los modelos conceptuales que se enuncian en el capítulo 2, involucrando en ello las herramientas provistas por la teoría de juegos y su forma coalicionista. Se capacita al juego para afrontar escenarios de competencia, donde la cooperación emerge de forma autóoma y descentralizada. El capítulo 3 describe su adaptabilidad al modelo propuesto por el proyecto TLÖN, donde una capa computacional multiagente gobierna la comunicación y por tanto la asignación lógica de los recursos virtuales a las aplicaciones que les consumen sobre una red *ad hoc*. Finalmente, se validan los resultados del proceso de negociación modelado mediante la herramienta para la investigación del DP iterado de Axelrod [35], donde se observan resultados consistentes con las premisas inicialmente consideradas, de tal manera que este trabajo abre el camino para nuevos trabajos investigativos en formas extensivas del juego que tengan en cuenta la forma tanto estratégica como coalicionista en un sistema descentralizado.

# Identificación del problema

En las llamadas “redes de siguiente generación” (NGN), caracterizadas por una alta movilidad de los dispositivos que las componen, bajas capacidades de cómputo en sus nodos, topologías comúnmente indeterminadas o estocásticamente modeladas, se ha encontrado una fuente de inspiración para incrementar las capacidades de las redes en la prestación de servicios [16]. Así, se presentan una serie de ventajas comparativas frente a las redes de infraestructura fija tradicionales, tales como mayor ancho de banda para el usuario, mayor eficiencia en el uso espectral y mayor cobertura de red [23]. Entre este tipo de redes, encontramos como un caso particular, las de tipo *ad hoc*.

Tales redes describen las características anteriormente mencionadas y por definición son sistemas auto-organizativos que como mecanismos de conformación y supervivencia, presentan atractivas propiedades de robustez, adaptabilidad y escalabilidad [45]. Características a su vez comúnmente observadas en sistemas complejos tanto de carácter biológico como no-biológico, entre los cuales encontramos a los sistemas económicos, sociales, culturales, políticos, etcétera. Teniendo esto en cuenta, en [17] se observa un modelo de red D2D cooperativa, utilizando tres artilugios matemáticos representados en grafos dirigidos que terminan por superponer el contexto físico de operación de los dispositivos inalámbricos, con su contexto social intrínseco. Partiendo del hecho argumentativo que dichos dispositivos operan en entornos con variadas condiciones y relaciones sociales presentes entre quienes les operan. Esto último permite la inclusión de categorías sociales en el transcurrir de las actividades operativas de la red, en particular, los conceptos de confianza y reciprocidad social le permiten a una red prestarse para la implementación de un modelo cooperativo en la prestación de un servicio cualquiera, como puede ser el de enrutamiento y retransmisión (*relay*) de la información. Se evidencia en la investigación que, tal como se menciona en [37], el análisis de la situación mediante el planteamiento de juegos coalicionistas resulta una herramienta preponderante en el desarrollo efectivo de la cooperación en medio de escenarios de negociación. Al respecto, [17] y [2] concuerdan en emplear la confianza como eje rector de situaciones en las que se observan ganancias de hasta un 122% en el desempeño de la red frente a otras en situaciones no cooperativas [17].

## Antecedentes

Es natural en este punto preguntarse por el modelo de racionalidad que circunscribe al accionar de los nodos que conforman tales sistemas cooperativos, advirtiendo al paso que tal accionar puede ser, en ocasiones, producto de una racionalidad modelada de forma egoísta e individualista, para lo cual varios mecanismos de incentivo a la cooperación entre nodos-terminales egoístas han sido propuestos. Entre estos podemos encontrar aquellos basados en reputación [32], en incentivos [40] (o pagos virtuales, que han sido incluso modelados como créditos [76]), en vínculos emergentes [27], en mecanismos mixtos [12] o en castigo [37].

Dichos modelos de racionalidad egoísta se fundamentan en bases axiomáticas construidas desde el individualismo metodológico y, junto a la propuesta utilitarista de Jeremy Bentham han dado lugar a vastos modelos para la toma de decisiones en agentes racionales. Modelos que a la luz del problema de la distribución pura han olvidado, sin embargo, algunas cuestiones esenciales para su resolución tal como se evidencia en las discusiones del Dr. Amartya Sen [58], dada la tendencia de cada agente a realizar un análisis personal antes de un análisis interpersonal del juego; en este marco encontramos el conocido modelo utilitarista propuesto por Von Neumann-Morgenstern [47].

Como respuesta a ello y desde diferentes perspectivas, se ha buscado entonces detectar con el fin de prevenir lo que puede ser entendido a través del conocido problema de mal funcionamiento de un nodo en el enrutamiento (“*routing misbehavior problem*”) [44], como el comportamiento egoísta de un nodo. Al respecto, [10] y [40] proponen soluciones basadas en la justicia como mecanismo de control frente a la posible no cooperación en una red inalámbrica *ad hoc*, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el modelo de racionalidad utilitarista parece no estar suficientemente preparado para su implementación.

El problema de la racionalidad en la toma de decisiones es abordado desde múltiples perspectivas modeladas a partir del conjunto de atributos concedidos a las entidades que las ejecutan y los preceptos filosóficos que les soportan. Ambos, producto de bases axiomáticas formalmente definidas y concretadas a través de modelos estrictamente matemáticos en la economía, la ingeniería y los estudios de la inteligencia artificial, entre otros campos del conocimiento. Es decir, existen varios estudios que buscan resolver la naturaleza de la racionalidad humana como artificial. El matemático Von Newman, junto a su colega Morgenster, propuso un modelo de racionalidad estricta para jugadores bajo un contexto de juego de suma cero y una estructura de toma de decisiones basada en el individualismo metodológico como herramienta para abordar el problema de la elección racional [3].

## Justificación

Desde el punto de vista anteriormente abordado, se esperan modelos social-inspirados para la definición de un agente decisor artificial que incluyan categorías no racionales (como se observa con el uso de la confianza y la colaboración en [17]) como conceptos para la definición de una capa de alta abstracción en las NGN que promueva la ejecución de juegos coalicionistas y cooperativos entre los nodos pertenecientes a ellas con el fin de permitir el adecuado funcionamiento en su tiempo de vida bajo el paradigma de las comunicaciones cooperativas [16]. Es aquí donde se observa una posibilidad de incluir las redes *ad hoc* cooperativas como un promisorio soporte para la computación ubicua en la prestación y goce de los servicios de una red, manteniendo en ella grados satisfactorios de calidad de los servicios prestados [33]. Aún se esperan de manera extensiva modelos complejos de prestación cooperativa de servicios en las telecomunicaciones que logren dar cuenta de sus capacidades reales, puesto que como mencionó el Dr. José Pérez Ríos<sup>1</sup>: “Lo importante es ahora identificar las diferentes “visiones del mundo” (*Weltanschauungen*) o los “sistemas apreciativos” que usan las personas para comprender y construir la realidad social. Se trata de buscar la “acomodación” entre diferentes grupos en la coalición que es una organización” [21].

Para incluir esta última reflexión en la construcción de una inteligencia artificial coalicionista se requiere modelar un agente artificial que cuente con el soporte adecuado en términos de las estructuras de información que definan su naturaleza (racional, social y limitada) para la toma de decisiones. Ésto, siguiendo los postulados del Dr. Amartya Sen [61], nos lleva a identificar dos estructuras básicas para la implementación de una racionalidad limitada por el contexto social del agente-jugador:

- Estructura de simpatía (confianza).
- Estructura de compromiso (reciprocidad).

De esta manera, la pregunta de investigación a resolver en este trabajo investigativo será:

**¿Pueden el compromiso y la simpatía social ser conceptos rectores en la ejecución de juegos coalicionistas entre agentes artificiales?**

---

<sup>1</sup>Discurso de investidura del profesor Dr. Stafford Beer como “Doctor Honoris Causa” por la universidad de Valladolid

# Objetivos

## Objetivo general

Implementar computacionalmente los conceptos de compromiso y simpatía en el marco de la construcción de una comunidad (coalición) de agentes artificiales social-inspirados.

## Objetivos específicos

- Diseñar un juego de negociación entre agentes artificiales para una red *ad hoc*.
- Construir un módulo de toma de decisiones para el agente, basado en la axiomática de Luce y Raiffa para la toma de decisiones.
- Construir un módulo de toma de decisiones para el agente, basado en la axiomática de Amartya Sen para el problema de la distribución pura.
- Evaluar el desempeño y utilidad de cada módulo construido en la prestación cooperativa de un servicio en una red *ad hoc*.

# 1. Marco Teórico

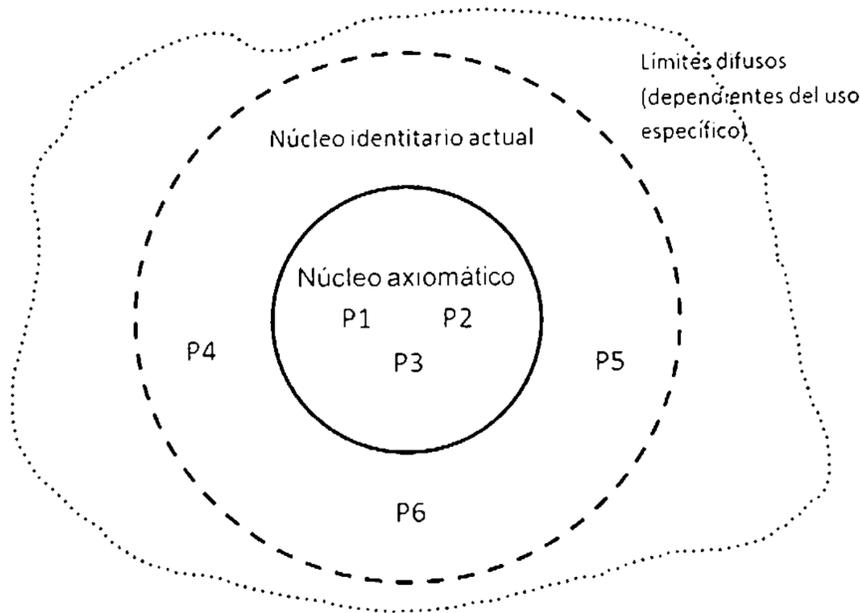
## 1.1. El individualismo metodológico y la teoría de la elección racional

El método propuesto por Kunh [36] interpela la visión, unificada hasta entonces, sobre la aplicabilidad del paradigma positivista en todas las fases de investigación científica. Particularmente en el análisis de un grupo social o, en sí, una realidad dada. Por otra parte, subsiste en el análisis y formalización de los sistemas agentivos, múltiples propuestas que toman como base las proposiciones dadas por el individualismo metodológico y de la mano de la teoría de la elección racional [57] llevan su desarrollo hacia la implementación de esquemas de decisión resultantes a *posteriori* de la interacción de múltiples individuos.

Este último es caso de [56], donde las estaciones de retransmisión de una red celular son modeladas como agentes racionales en un juego no cooperativo. En [74] se combina la optimalidad de Pareto con conceptos como la maximización del bienestar social y la justicia absoluta y proporcional, para buscar explotar el comportamiento egoísta de un nodo y conseguir así un único equilibrio de Nash, en el juego de retransmisión de paquetes donde usualmente existe un infinito número de equilibrios de Nash, acercándose así a una forma coalicionista del juego. En [38], se realiza una aproximación a través de la teoría contractualista en un sistema multiagente dentro de una red no cooperativa. Así son múltiples las soluciones que se han propuesto a partir del modelamiento del individuo como un agente racional y del comportamiento global de un sistema como el producto de sus interacciones individuales.

Teniendo esto en cuenta, el estudio en torno al individualismo como problema epistemológico, ontológico, político y técnico se debate en un amplio espectro del conocimiento. El profesor Lars Udehn, divide al individualismo metodológico en seis tipos básicos [70]:

- (a) El vinculado al contractualismo de fines de la baja Edad Media.
- (b) El implícito en la teoría económica clásica.
- (c) El explicitado en la teoría económica neoclásica asociada a la escuela marginalista.
- (d) La variante explicitada en la economía neoclásica, específicamente en la escuela austriaca de economía.



**Figura 1-1.:** Delimitación conceptual del núcleo axiomático. Fuente:[3].

- (e) El individualismo asociado a la lógica situacional de Karl R. Popper. que a su vez se divide en dos enfoques: el psicologista de John W. N. Watkins y el institucional de Joseph Agassi.
- (f) El individualismo estructuralista de James S. Coleman

Al seguir el análisis del profesor Udehn es posible realizar un recorrido a través de los diferentes enfoques asumidos en el individualismo metodológico, a fin de reconciliar su compatibilidad con esquemas analíticos holistas y colectivistas como los propuestos en [72] y [9]. Para ello, [3] introduce a la teoría de juegos una perspectiva racional, presentándole como herramienta idónea para el análisis microsocioal y extendiendo su uso más allá de la Teoría de la Elección Racional y de las ciencias sociales, a través de un esquema axiomático de varios niveles (Figura 1-1).

### 1.1.1. La axiomática racional de Luce y Raiffa

Ahora bien, si se admite de forma inductiva que el resultado global de un juego es producto de las decisiones individuales y se procede mediante el individualismo metodológico, es posible establecer un marco axiomático para un decisor racional quien, desde la teoría utilitarista usa el valor esperado (esperanza matemática) como criterio racional por excelencia para tomar decisiones. La axiomática propuesta por Luce y Raiffa [39] en este sentido establece los siguientes axiomas:

#### 1. Axioma de preferencia pura:

Todo decisor racional es capaz de definir, sobre el conjunto de premios, una relación de preorden completo que dota al conjunto de una estructura de preferencia indiferencia.

**2. Axioma de reducción:**

A todo decisor racional le resultan indiferentes una lotería simple de una lotería compuesta en las que los premios son los mismo y tienen la misma probabilidad de ocurrencia.

**3. Axioma de continuidad:**

Dada la ordenación establecida en el conjunto de premios garantizada por el Axioma 1, y dados tres premios ordenados, tal que dos de ellos son respectivamente el mejor y el peor del conjunto, y el tercero es uno situado entre ambos en la escala de preferencias, el decisor está en condiciones de establecer la probabilidad de acaecimiento del mejor, en la lotería formada exclusivamente por el mejor y el peor, de forma que esta lotería le resulte indiferente al premio intermedio. Este premio recibe el nombre de equivalente cierto de la lotería, y tiene la misma probabilidad de acaecimiento del mejor premio, en la lotería formada por el mejor y el peor, utilidad de la lotería.

**4. Axioma de sustitución:**

A todo decisor racional le resulta indiferente participar en una lotería simple o en una lotería compuesta en la que se han sustituido algunos de sus premios por sus loterías equivalentes definidas en el axioma 3.

**5. Axioma de preferencia extendida:**

Todo decisor racional es capaz de ordenar el conjunto de loterías, es decir, el conjunto de loterías tiene estructura de preorden completo.

**6. Axioma de monotonía:**

Dadas las loterías  $l$  y  $l'$  con los dos mismos premios, decimos que  $l$  será preferida a  $l'$  si la probabilidad de obtener mejor premio en  $l$  es mayor que la probabilidad de obtener mejor premio en  $l'$ .

## **1.2. El pensamiento sistémico y la teoría de la racionalidad limitada**

La respuesta del modelo de elección racional anterior es discutida a la luz del problema de la distribución pura planteado por Amartya Sen [58], a través del cual realiza un examen axiomático de las reglas de decisión dadas bajo el concepto de justicia de Rawls [55] y le enfrenta contra el utilitarismo clásico representado en el pensamiento Benthamiano[6, 7]. Se permite observar cómo bajo las dos teorías se evidencian faltantes en el modelo de toma

de decisiones al perseguir resolver el problema propuesto, el cual podría ser guía para las telecomunicaciones cuando se desean diseñar sistemas complejos con recursos distribuidos de manera similar a como ocurre en la teoría de la elección social[52].

### 1.2.1. La axiomática social de Amartya Sen

Para ello, en [58] se proponen tres axiomas rectores que son capaces de modelar dinámicamente el comportamiento del tomador de decisiones a partir de las condiciones del grupo en juego y estos son:

1. **Axioma de preferencia simétrica (SPA):**

Si todo el mundo tiene la misma función de bienestar, a continuación, cualquier transferencia de una persona rica a una persona pobre, que no revierta la desigualdad, es siempre preferible.

2. **Axioma de la equidad débil (WEA):**

Si la persona  $i$  está en peores condiciones que la persona  $j$  siempre que  $i$  y  $j$  tengan el mismo nivel de ingresos, entonces el pago de  $i$  no puede ser en ningún caso menor al pago de  $j$  en la solución óptima del problema la distribución pura.

3. **Axioma de transferencia articulada (JTA):**

Es posible especificar una situación en la que  $j$  esta [en algo] en mejores condiciones que  $k$  (la persona en peores condiciones), y [firmemente] peor que  $i$ , de modo que alguna transferencia de  $i$  a  $j$  [suficientemente grande], combinada con una transferencia simultánea [suficientemente pequeña] de  $k$  a  $j$ , conduce a un estado preferible frente a la ausencia de las dos transferencias.

Como se propuso inicialmente, las categorías sociales sirven de inspiración para sistemas de cómputo inalámbrico de alto desempeño los cuales, a partir de un correcto razonamiento entorno a la naturaleza (axiomática) del tomador de decisiones escogido, sean capaces de configurar entornos de red cooperativos [69], complejos [75], justos[10, 67], adaptables [20] e inmanentes; donde modelos de capas jerárquicas con divisiones funcionales a distintos niveles de abstracción han suscitado gran interés en el campo de la cibernética y se dan con naturalidad dentro del análisis topológico de una red *ad hoc*, dado entre otros, el carácter multisalto de las mismas y la necesidad de transparencia en los mecanismos de encaminamiento de la información hacia el usuario final.

La inteligencia artificial cumple una labor primordial como mecanismo de adaptabilidad de la red y tiene su directa manifestación en la implementación del paradigma agentivo [73] para la gestión de redes computacionales, el cual permite establecer modelos altamente flexibles e interoperables bajo condiciones de red indeterministas.

### 1.3. El enfoque coalicionista en la teoría de juegos

En palabras de Monsalve,

*“La teoría de juegos, o “teoría de las decisiones interactivas” como actualmente se le conoce, provee un lenguaje para describir la estructura de la toma de decisiones por muchos agentes. Tres estructuras básicas de construcción en este lenguaje son la forma extensiva, la forma estratégica y la forma coalicional. Algunos autores sugieren (erróneamente, a nuestro parecer) que la forma coalicional se abstrae completamente de consideraciones dinámicas y de comportamiento. Ellos consideran que allí está implícitamente asumido que todos los individuos saben lo que quieren, saben el poder de los grupos a que pertenecen, y que pueden, sin costo y sin medidas de tiempo, disolver las coaliciones. Por lo tanto, argumentan que el uso principal de la forma coalicional está en las investigaciones normativas a menudo asociadas con axiomas de simetría, equidad, eficiencia y otras “características deseables”. A consecuencia de esto, una mayoría amplia de las discusiones en teoría de juegos se limita a las formas estratégica y extensiva, en donde sí se pueden considerar ciertos procesos y “dinámicas”. Sin embargo, se cree en general que el papel protagónico de las formas coalicionales debe perdurar dentro del estudio de los comportamientos estratégicos, paralelamente al desarrollo de las formas extensiva y estratégica.”[63]*

Resulta entonces difícil de comprender una teoría de juegos aplicada que esté alejada del estudio del comportamiento de multitudes y en general de las relaciones que emergen de la interacción entre agentes con estructuras de preferencia, utilidad y creencias dinámicas que determinan su propio modelo de toma de decisiones al interior de sistemas complejos como son el Internet y las redes de telecomunicaciones inalámbricas [49].

Así pues, en el problema de la construcción de agentes artificiales capaces de gestionar los recursos distribuidos en las NGN, estas discusiones deben ser abordadas para permitirse el análisis de su comportamiento en diferentes entornos de operación y, en particular, en aquellos donde la cooperación y/o la interacción altruista se hacen necesarias. Dando lugar a estudios de carácter deductivo de la situación que parten del estado actual del grupo hacia el comportamiento individual. Monsalve nos recuerda en este sentido que:

*“El trabajo de Arthur AA.VV. (1997) en donde simula individuos que escogen entre una colección de reglas heurísticas en la medida en que van “aprendiendo” del mercado, ofrece una aproximación al problema de cómo una masa aprende a elegir expectativas y precios en el mercado de acciones. Esto es un indicativo*

*de nuevas direcciones que los más puristas no considerarían “teoría de juegos”, pero que apuntan al corazón del problema: competencia y colaboración, sólo que desde una perspectiva distinta.”[63]*

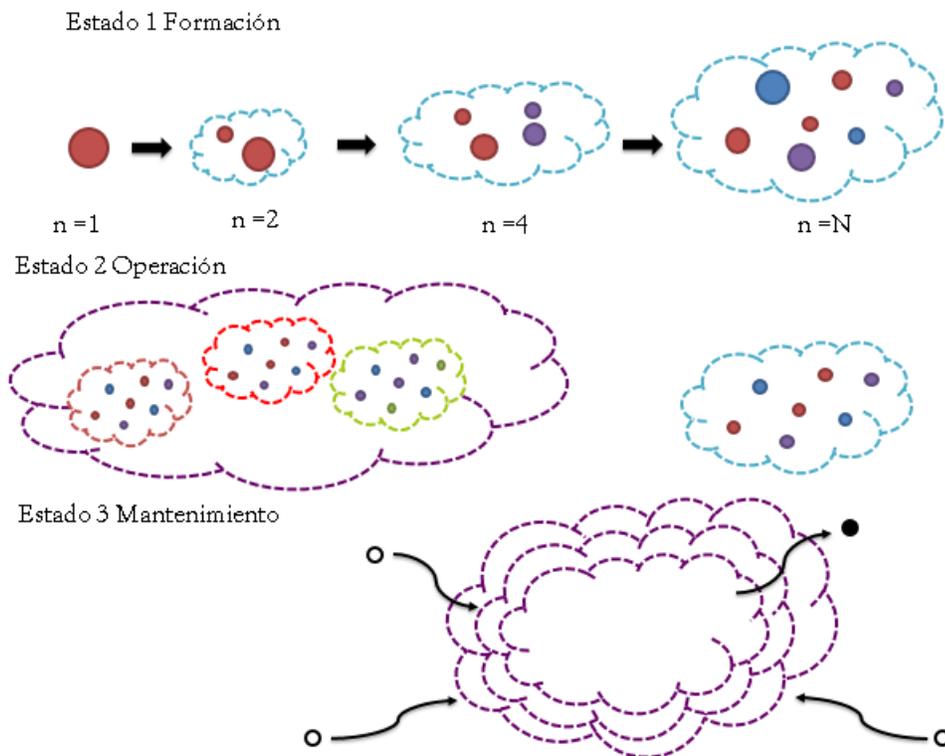
Adicionalmente, el mismo autor -en otra de sus obras [64]-, enuncia cómo una estructura protagónica la forma coalicionista en el estudio de la teoría de juegos, en la cual involucra preceptos de ponderación para el pago de los jugadores que componen tales coaliciones, en virtud de su “aporte” a las mismas. Para ello se estudian los postulados de Gillies [24] y Shapley [66], donde es posible encontrar algunos para los juegos cooperativos, introduciendo así el análisis complejo de las interacciones entre jugadores a partir de una serie de condiciones que se imponen sobre el comportamiento del grupo, entre ellas: la eficiencia, la simetría, la invarianza y la independencia de alternativas irrelevantes.

Tal como concluye el profesor Arrow [4], el individualismo metodológico tiene de hecho una implicación importante para la adquisición de información, irónicamente no es muy compatible con los paradigmas neoclásicos, particularmente no con la elección racional. La información puede ser suministrada socialmente, pero para ser utilizada debe ser absorbida individualmente. Los límites en la capacidad de adquirir información son una barrera importante para su difusión. Esta línea de argumentación conduce al concepto de racionalidad limitada de Herbert Simon y al énfasis en el aprendizaje como un proceso temporal que es la base para [34] y [15] en sus investigaciones o, bien, a un proceso coalicionista en el tiempo que se propondrá a continuación.

## 2. Modelamiento

### 2.1. Modelamiento conceptual

Por su naturaleza, las interacciones al interior de la red son dinámicas [18], esto supone un escenario co-creativo para la misma. Tal escenario resulta del producto de la instanciación de la red en un instante  $n = 0$  (donde el individuo/nodo que la crea, supone una coalición consigo mismo y tiene lugar un instante creador de la red, en el que los recursos distribuidos hacen parte todos de un mismo nodo físico), su operación y transformación (mantenimiento) en instantes subsecuentes (Figura 2-1).



**Figura 2-1.:** Estados de formación, operación y mantenimiento de una red *ad hoc*.  
Fuente:[53].

Es en el transcurrir de estos estados, donde se da vida a la red *ad hoc* vista como un juego de negociación dinámico y cooperativo en el tiempo, pues tanto para su formación como

para su crecimiento, de la misma manera que se realiza en una organización social, se han de distribuir correcta, simétrica, invariante, equitativa y eficientemente los recursos de la misma [24, 55, 62, 66] a fin de evitar congestiones en la red [65], negaciones del servicio, acaparamiento de recursos [8] y demás problemas producto de la deformación en su función de escalabilidad o crecimiento, para lo que la emergencia de la cooperación al interior de la misma es necesaria [69].

El nodo creador deberá establecer sus prioridades en el uso de los recursos, según dictamine su sistema operativo en ausencia de cualquier otra señal de existencia de la red y, a continuación, estar siempre (con una predisposición cooperativa) a la escucha de nuevos nodos que harán parte de la red e iniciarán el proceso de solicitud de servicios y distribución de recursos.

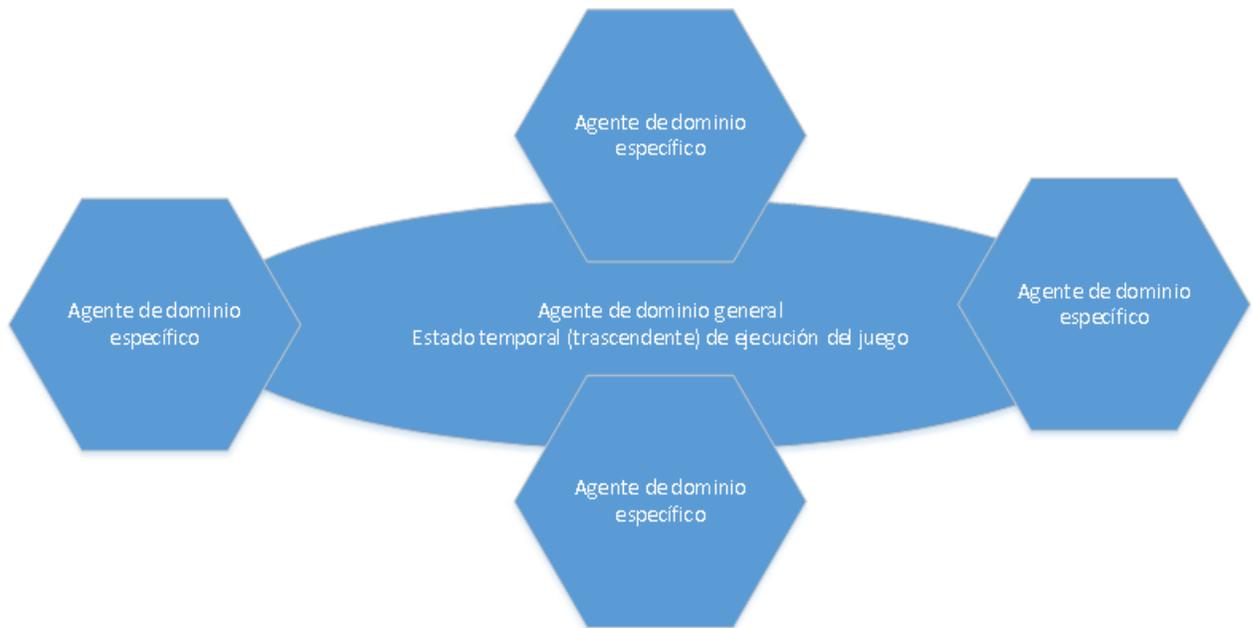
En el trabajo de [48] se demuestra que debe existir una proporcionalidad en la función de crecimiento de la red, a fin de mantenerla como un sistema escalable. Se permite ver cómo mediante un modelo de crecimiento de la red que responda al crecimiento de una función auto-similar, es viable la red. Dicho esquema de crecimiento, deberá ser alcanzado mediante un proceso aleatorio de control distribuido en el interior de la red [14].

### **2.1.1. El espacio de control autónomo: la separación de las naturalezas en el individuo**

Cuando un nuevo nodo hace su aparición dentro de la red sus recursos son reportados e incluidos lógicamente en la capacidad de cómputo total de la red, estos a su vez, puestos a disposición de los diferentes agentes que les requieran u obtengan su titularidad. Así pues, en el instante de creación [14], la titularidad del *pool* completo de recursos será de los diferentes agentes que compongan el nodo creador en particular. Estos pueden ser de ontología específica o de propósito común para la red, para los cuales se proponen dos roles como requisitos mínimos para la existencia de un sistema coalicionista multiagente en la red:

- Agente registrador
- Agente coordinador

Los agentes registradores serán los encargados de correr el protocolo distribuido a lo largo y ancho de la red para obtener el conocimiento sobre las capacidades totales de la red sincronizando su información con los demás registradores presentes en la red. Esto es posible mediante la utilización de las tablas de enrutamiento en la capa 2 del protocolo de enrutamiento *ad hoc* B.A.T.M.A.N-adv [54] o de otros protocolos de enrutamiento pro-activos.



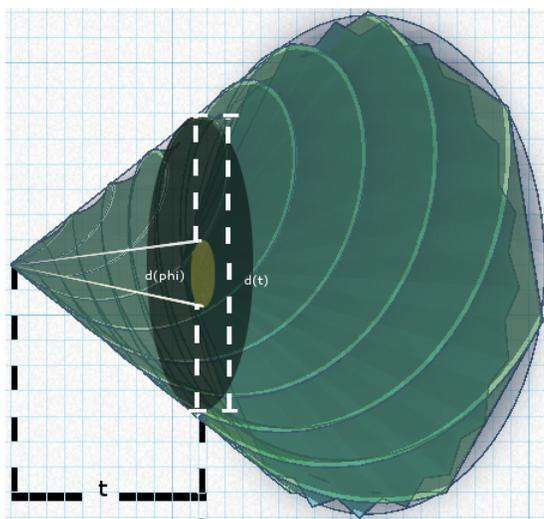
**Figura 2-2.:** Estado temporal de coordinación. Fuente: Elaboración propia.

El agente coordinador general se instalará en cada uno de los nodos a forma de servidor axiomático distribuido, el cual mantendrá las bases ontológicas actuales de toda la red y se comunicará con el sistema de registro para la orquestación de la red aguas abajo, a través de la asignación/solicitud de peticiones a otros agentes coordinadores locales.

El agente coordinador local servirá las veces de cliente ontológico distribuido, descargando las peticiones del coordinador general de la red junto a su ontología correspondiente actualizada y permitirá la negociación de recursos entre agentes de dominio específico.

Cada uno de los agentes de dominio específico entrará en un marco común, donde los recursos que gestiona se ponen a disposición de la tarea en común que solicite su propia coalición. Haciendo de éste un escenario de establecimiento de un estado trascendente de carácter temporal (Figura 2-2) que perderá su contexto en la siguiente ejecución de una actividad conjunta, pero que aportará o menguará los recursos que tiene a su disposición el estado inmanente de los recursos para dicha ejecución.

El diámetro de la red tendrá para su definición el sistema de registro estocástico, que conectaría a cada agente y nodo con el sistema multiagente y el sistema físico de la red (Figura 2-3). Formando en ella un modelo de red borde-centro con una distribución armónica entre el sistema de control y la capa de servicios de la red según la función de crecimiento. El núcleo crecerá en la proporción indicada cada vez que genere una nueva relación de confianza con otro sistema de justa magnitud para su negociación y así avanzar al siguiente estado



**Figura 2-3.:** Modelo de crecimiento de la red. Fuente: Elaboración propia.

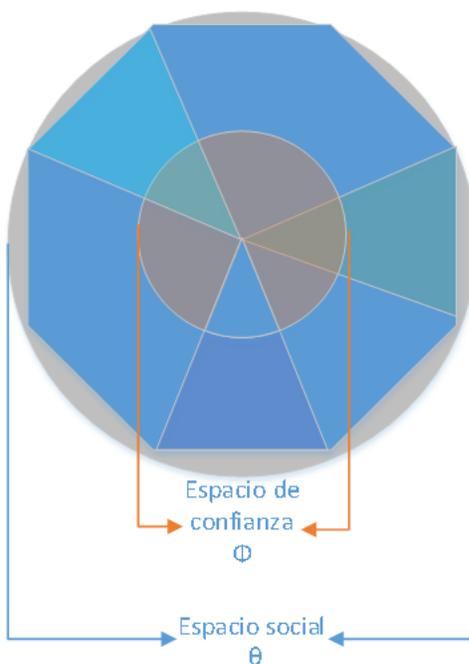
mediante una nueva formación coalicionista.

Los mecanismos de confianza juegan entonces un papel primordial en el desarrollo de la red, pues permiten establecer una comunicación entre dos nodos de manera transparente y controlar descentralizadamente, a su vez, el juego que representa la red [1].

La capa de control descentralizada en la red tendrá como finalidad enfrentar desde el sistema computacional el problema de la coordinación que se comparte por múltiples disciplinas [42] y en este caso se corresponderá con las estructuras de confianza y reciprocidad de cada una de las coaliciones (o súper coalición) y representará en todo momento el estado actual de participación de cada nodo al interior de la red. Tanto de aquellos que hacen parte de la función de coordinación general como de los que no pero que establecen relaciones de confianza a través de procesos de coordinación local.

Cada uno de los triángulos en la figura 2-4 representa una coalición completa, compuesta por una capa superior de control que, siguiendo la propuesta de sistema viable de Stafford Beer [5], desarrolla las funciones políticas de resolución de conflictos, de regulación, de optimización, de sinergia y aprendizaje y de adaptación y planeación estratégica. Y una segunda capa que desarrolla las actividades primarias o de dominio específico. (Figura 2-5)

La más superior de las capas cumplirá entonces las veces de tomadora de decisiones, en ella deberá estar definido el procedimiento de construcción de confianza para admitir, rechazar, expulsar o vetar un nodo al interior de la coalición y redundar en la construcción social de simpatía y compromiso en los subsecuentes juegos de negociación por los recursos de la red. Este mecanismo será el encargado de entretejer las coaliciones a través de la definición de



**Figura 2-4.:** Estructura de coalición/súper-coalición en el sistema multiagente TLÖN. Fuente: Elaboración propia.

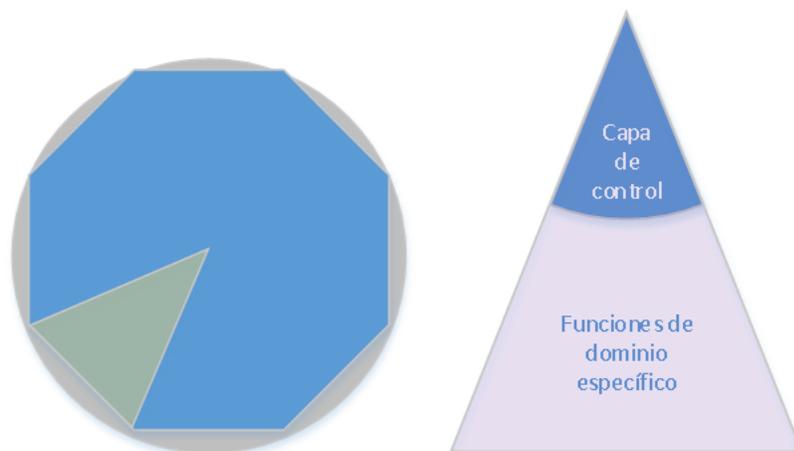
un protocolo que tenga en cuenta el carácter racional y social del agente en la red.

### 2.1.2. Confianza en sí mismo y la construcción de comunidad

Cuando la cantidad de nodos que componen una red es igual a uno ( $S = 0$ ) existe un caso particular para la función de control, donde el diámetro del espacio de control es igual al espacio social ( $\phi = \theta$ ). Al nodo que ejecuta la red, cuando  $n = 0$ , se le denominará el nodo creador o nodo “Dios”. Él mantendrá un reloj atómico para guiar la futura acción coalicionista. En otro caso, la función de control será co-regulada ( $f(t) = \phi + \theta$ ) y establecida a partir de un proceso temporal como el descrito en [30] que es un proceso bayesiano.

Las funciones de dominio específico darán vida al subsistema agente/coalición dentro de un entorno específico. Tendrán a su cargo la materialización de los objetivos mismos de la red, desde tomar un dato del ambiente hasta su procesamiento, reporte y usufructo. Los datos presentes en la red viajarán a través de ellas guiadas bajo una función distribuida de control en el sistema multiagente, que regula localmente el procesamiento de la información al interior de la red.

Dado el caso de existencia de dos o más nodos creadores que hayan permitido grupos de coalición (estructurados a través de comunidades de agentes), al ser advertida la existencia



**Figura 2-5.:** Modelo de capas para el control descentralizado. Fuente: Elaboración propia.

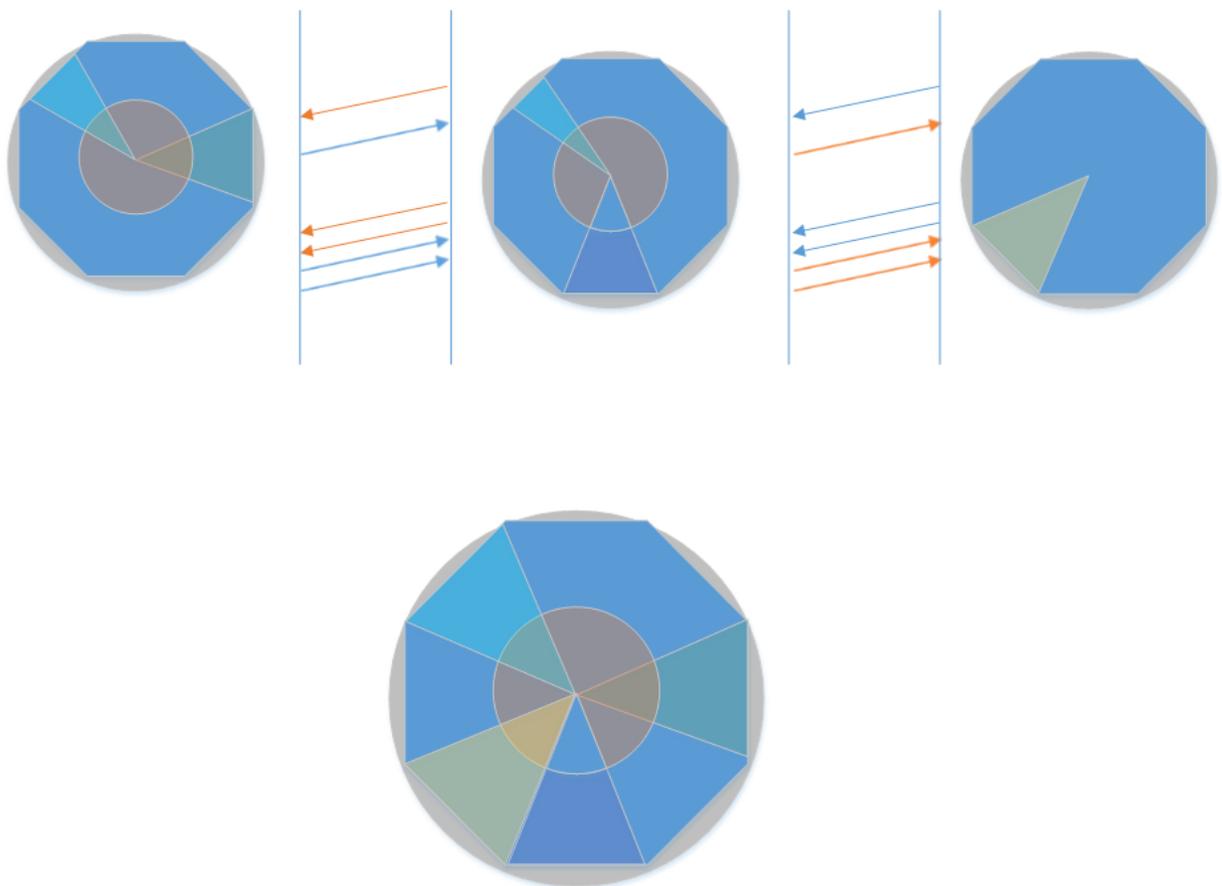
de cualquiera de ellos en un tiempo de ejecución de cualquier otra coalición, esta solicitará una petición de coalición de la red (Figura 2-6). La axiomática propuesta para su derivación en una entidad cooperativa es entonces introducida. Los nodos en el rango de transmisión escucharán la petición y responderán a través de un proceso de autenticación que permitirá la ejecución de los procesos de registro y coordinación general para la ejecución del juego coalicionista. Para ello, cada uno de los agentes coordinadores generales o “*clúster head*” informarán sus recursos disponibles y en uso, así como sus bases ontológicas pendientes de ejecución para la agregación en el juego.

Si la coalición resultase exitosa; los agente coordinadores generales serían “degradados” a la función de coordinación local y un nuevo agente coordinador general (construido con las bases ontológicas propias de la nueva coalición) entrará a orquestrar el proceso.

### 2.1.3. El modelo del agente social

Hasta ahora han sido asumidas una serie de suposiciones sobre el modelo de conceptualización de la lógica coalicionista, por ejempló, se ha considerado la dinámica de crecimiento de la red como condicionante de la operación coalicionista y, más aún, se han propuesto modelar las estructuras de confianza y relacionamiento ontológico de forma temporal. Para ello se debe definir primero el modelo específico para cada agente social, en que tales categorías de carácter ontológico como el trabajo, la estructura y el pensamiento social, sean incluidas para permitir que la acción e inteligencia individual emerja dentro de un mundo o ambiente compartido [11].

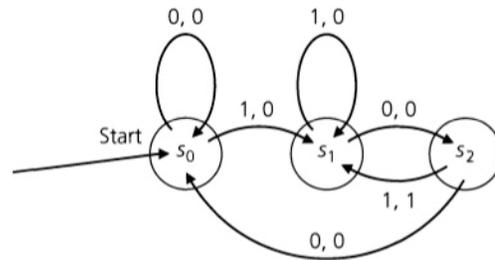
En la conceptualización de un agente-jugador (agente social) en el contexto de la opera-



**Figura 2-6.:** Modelo de desarrollo de un juego coalicionista. Fuente: Elaboración propia.

ción de una red cooperativa *ad hoc*, el mismo deberá estar preparado, por una parte, a gestionar los recursos sobre los que posee titularidad y realizar peticiones de asignación de recursos y, por otra, a cambiar de rol en su capa de control para asumir el procesamiento de las actividades de coordinación general de la red en cada cambio de contexto coalicionista.

Esta última capacidad le permitirá al agente considerar funciones de utilidad de probabilidades modificadas, según sus estructuras sociales, de confianza y reciprocidad, le permitirá presionar el establecimiento de un estado deseado ( $\phi$ ) de manera social o consensuada a través de la acción coordinada de los agentes involucrados como se busca tanto en [41] como en [43].



**Figura 2-7.:** Modelo de agente artificial como máquina de estados finitos. Fuente: [25].

En este sentido, se exploran a continuación las diferentes aproximaciones expuestas en la literatura sobre agencia artificial y se concluye en la propuesta de un modelo de agente disperso definido como una máquina de estados finitos. Esta máquina de estados debe ser capaz de hacer el procesamiento de los datos y realizar las tareas específicas según el estado de las variables del entorno en cual se desenvuelve el agente. Siguiendo el concepto de [25] se tiene que el agente se puede definir como una máquina de estados finitos (Figura 2-7) con un conjunto de estados  $S_1$  a  $S_n$  con dos funciones:

V: función de transición entre los estados

W: función de salida de los estados.

O visto de otra manera como la quintupla  $A=(Q, \epsilon, \delta, q_0, F)$  Donde:

Q es un conjunto finito de estados.

$\epsilon$  es un alfabeto de entrada.

$\delta$  es una aplicación de  $Q \times \epsilon \rightarrow Q$ , que llamamos función de transición.

$q_0 \in Q$  es un estado inicial.

F es un subconjunto de Q no vacío, cuyos elementos llamamos estados finales.

Esta última representación nos permite introducir al agente racional en el juego de estrategia  $G_a = (N, S, \sum_i, \succeq_i, o)$  [26], donde:

- $N$  es un conjunto no vacío de agentes.
- $S$  es un conjunto no vacío de salidas o pagos.
- $\sum_i$  es el conjunto completo de estrategias de cada jugador.
- $\succeq_i$  es un pre orden completo en  $S$  (estructura de preferencias) de cada jugador.
- $o$ : es una función desde el conjunto de los perfiles de estrategia de cada jugador al conjunto de pagos  $S$ .

El cual mediante la acción coalicionista puede ser interpretado como un juego  $C = (N, S, E, \succeq_i)$ , donde:

- $N$  es un conjunto no vacío de agentes
- $S$ , es un conjunto no vacío de salidas o pagos
- $E$  es la función  $E : 2^N \rightarrow 2^{2^S}$  (función de efectividad) del set de jugadores al set de set de pagos
- $\succeq_i$  es un preorden completo en  $S$

Se debe advertir aquí la complejidad computacional que supone la función de efectividad, que ha mostrado ser un problema en el ESPACIO-P [50] incluidos también los juegos de carácter temporal [71].

#### 2.1.4. La interacción del agente social en el juego de estrategia

Se pueden definir estas cuatro diferentes matrices de pago, entre otras, para un juego de estrategia interpretado según el tipo de problema de decisión [26]:

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} L & R \end{array} \\ \begin{array}{c} U \\ D \end{array} & \begin{bmatrix} (3, 3) & (0, 5) \\ (5, 0) & (1, 2) \end{bmatrix} \end{array} \Rightarrow \text{Dilema del prisionero}$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} L & R \end{array} \\ \begin{array}{c} U \\ D \end{array} & \begin{bmatrix} (3, 3) & (2, 2) \\ (2, 2) & (1, 1) \end{bmatrix} \end{array} \Rightarrow \text{Matriz de compromiso parcial}$$

$$\begin{array}{cc} \text{L} & \text{R} \\ \left[ \begin{array}{cc} (3, 3) & (2, 2) \\ (2, 5) & (1, 1) \end{array} \right] & \begin{array}{l} \text{U} \\ \text{D} \end{array} \end{array} \Rightarrow \text{Matriz de compromiso total}$$

$$\begin{array}{cc} \text{L} & \text{R} \\ \left[ \begin{array}{cc} (1, 1) & (0, 0) \\ (0, 0) & (1, 1) \end{array} \right] & \begin{array}{l} \text{U} \\ \text{D} \end{array} \end{array} \Rightarrow \text{Matriz de coordinación}$$

La propuesta de [15] establece un marco de referencia axiomático para el problema de la satisfactibilidad, el cual menciona que, al igual que los problemas de la distribución y asignación de recursos, éste ha demostrado ser np-completo. En ella se prueba y formaliza una axiomática cooperativa mediante una lógica coalicionista completa de conocimiento temporal (CLTK) donde se le otorga de manera sustancial nuevas perspectivas a la lógica coalicionista, proponiéndose representar las “actitudes mentales” o de comportamiento de un agente mediante un marco lógico teórico que le permite aproximarse al agente (en su forma individual o de coalición) a través sus conocimientos, creencias, aspiraciones, redes de confianza, intenciones y demás concepciones individual o socialmente definidas.

Se establece que si se tiene un conjunto  $\theta$  de proposiciones atómicas sobre un conjunto de  $n$  agentes ( $A_g$ ) se puede realizar un sistema interpretado de coalición para la lógica (CLTK) propuesta exponiendo interesantes potencialidades en los sistemas multiagente como que:

- Cualquier agente puede eventualmente propagar su conocimiento  $\phi$  a cualquier otro agente por sí solo.
- Cualquiera puede enseñar a otro su conocimiento  $\psi$  si sabe que en un tiempo futuro ese otro conocerá  $\phi$ .
- Una coalición de agentes  $G$  siempre tiene una estrategia para permitir que cualquier nodo conozca  $\phi$ , si  $\phi$  es un estado deseable o verdadero.
- La coalición puede asegurar  $\psi$ , si es de conocimiento común que  $\phi$  es el estado siguiente.

La base de conocimientos se modelará, en consecuencia, como el estado característico de los recursos para el momento de la negociación, recursos disponibles y recursos esperados en el siguiente estado de la coalición. Los recursos disponibles de una red pueden ser caracterizados a partir de la distribución geométrica truncada [48], siendo así el servicio estocásticamente modelado por una variable aleatoria.

Teniendo en cuenta la definición de “*coalición*” que, según la RAE, es la “unión transitoria de personas, grupos políticos o países con un interés determinado.”<sup>1</sup> y las anteriores capacidades en el establecimiento de un estado en un sistema multiagente, es posible proponer que al interior de una organización coalicionista se establezca un estado de optimalidad diferente a la optimalidad individual y por tanto permita en un juego coalicionista hacer uso de las matrices de pago de compromiso y coordinación como equivalentes para la solución óptima del problema.

Si se define el estado deseable como un estado únicamente accesible mediante la cooperación nos veríamos forzados a grandes dilemas. ¿Qué tanto tarda la cooperación en emerger en un grupo de jugadores potencialmente egoístas? ¿Qué tipo de estrategias podrían usar las coaliciones cooperativas estables para soportar el mal funcionamiento egoísta? ¿Es necesario un estado cooperativo global? ¿Es  $\phi$  un estado cooperativo inmanente?

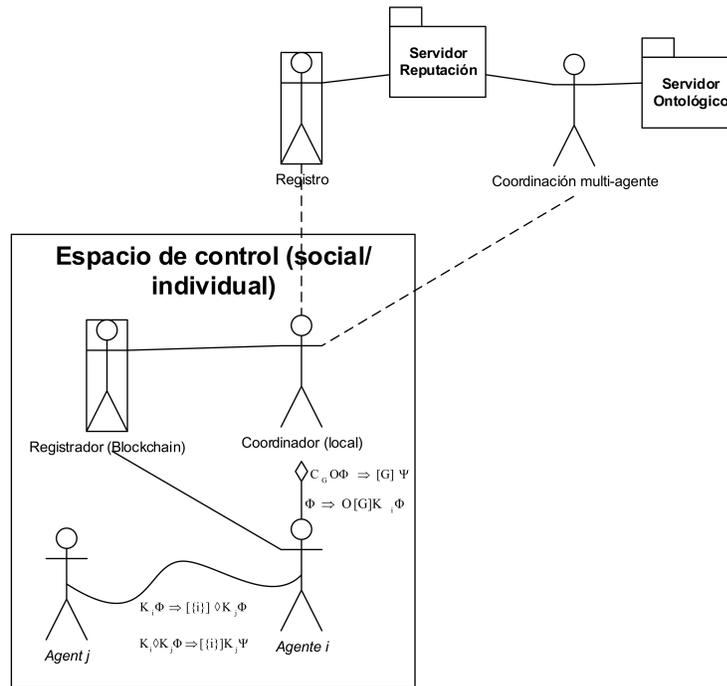
Tal como se sugiere en el capítulo anterior, las ciencias sociales (la economía, sociología, entre otras disciplinas) han propuesto algunos ejercicios metodológicos para resolver estos asuntos que, acompañados con un modelamiento computacional desde la ingeniería, darán lugar a interpretar la información que fluye en una negociación como información completa y relativa a su espacio contextual.

Los agentes racionales al percibir su contexto gozan con la capacidad de interpretarlo y asumir diferentes posturas. Tal como lo advierte Sen [61], se generan decisiones motivadas por los vínculos sociales tendientes a garantizar un desarrollo viable del colectivo y la libertad del individuo para decidir, como ese contexto viable [59]. Cada agente racional puede entonces asumir la postura ontológica que mejor le parezca según su propia estructura de preferencias, más ésta se verá afectada frente a cualquier proceso de negociación (exitoso en particular) o interacción al interior de la comunidad, pues se establecerán vínculos que directa o indirectamente abrirán la posibilidad de cooperar con nodos de diferentes preferencias o estrategias.

A lo anterior se le ha denominado “meta-estrategia” y será la base para emular un comportamiento evolutivo en el juego [18]. Esto es, un proceso análogo al descrito en [22] donde se plantea un proceso “civilizadorio” que a través de la cultura y demás acuerdos sociales, transforma en los individuos sus comportamientos, permitiéndose estudiar mediante este enfoque, las estructuras sociales, la personalidad de los individuos y sus transformaciones simultáneamente [13]. Siguiendo esta línea, es posible establecer que los agentes/jugadores que sufran dicho proceso (transformador de su estrategia original) simulen los conceptos de autotransformación social [29] y transformación ética de la racionalidad [51], construyendo las acciones primarias de su estrategia original, según el estado de coordinación social del sistema, su posición en él y sus interacciones con otros agentes (Figura 2-8). Se pretende así,

---

<sup>1</sup>Real Academia Española. (2014). Coalición. En Diccionario de la lengua española (23.a ed.). Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=9WYr1rv>



**Figura 2-8.:** Establecimiento de un estado en el espacio de control. Fuente: Elaboración propia.

mediante la meta-estrategia coalicionista propuesta, utilizar una matriz de pago equivalente de compromiso total o parcial entre los agentes jugadores de una misma coalición.

## 2.2. Modelamiento computacional de un servicio cooperativo

Para la prestación de un servicio en el interior de una coalición, el agente coordinador tomará posesión aleatoria de los agentes trabajadores requeridos para tal trabajo. De no ser posible la ejecución de dicha tarea (en un tiempo razonable) con la cantidad de agentes trabajadores dispuestos para su coalición, dicho agente procederá a responder informado al nodo sobre la imposibilidad para prestar el servicio disparándose a continuación un proceso de negociación que pretenda la agregación de recursos dentro de su coalición a fin de resolver la solicitud. Este proceso se llevará a cabo como lo muestra la figura 2-9 y se explica a continuación.

En esta nueva corrida, el nodo que solicita el servicio procederá a comprometer temporalmente sus recursos computacionales (representados en un agente o *pool* de agentes trabajadores capaces de disparar cada uno, un hilo de ejecución en el Sistema Operativo)

con el agente (o coalición de agentes) con quien resulte exitoso el proceso de negociación, hasta conseguir los agentes requeridos para la ejecución del servicio, el cual resultará como el pago real obtenido en el juego y será asignado de manera uniforme a cada uno de los agentes participantes en la ejecución de la tarea.

Así se establece, entonces, el protocolo que deberá seguir un nodo dentro de la red TLÖN para ejecutar una tarea cualquiera dentro de la red y se realiza su implementación utilizando el lenguaje de programación *Python3* para probar su comportamiento. El programa se estructura de la siguiente manera:

### 2.2.1. La definición del ambiente

— MAS\_TLON\environment\world.py —

En este archivo se define la clase *Singleton* “*Environment*” que materializa al mundo TLÖN, es decir, el espacio común donde se desarrollan las dinámicas de los agentes que habitan el sistema multiagente. En el momento de su creación el nodo percibe las condiciones actuales de la red buscando cualquier otro nodo que haga parte de la misma con el fin de reconocer la existencia previa de un ambiente, esto es posible mediante la utilización de mensajes tipo broadcast, contenidos en la implementación del protocolo B.A.T.M.A.N-adv a través de las librerías “*Alfred*”.

Al iniciar el sistema, un nodo se adhiere físicamente a la red y busca en ella a través del subsistema *alfred*, un paquete tipo *broadcast* mediante un identificador previamente acordado (*TLÖN\_environment\_alfred\_data\_id*), en él encontrará la dirección física de acceso al mundo TLÖN; de no detectarse la presencia de dicho paquete durante una ventana temporal definida o un número máximo de intentos, se procederá a instanciar la clase *Environment* donde se levantará una capa de control social cómo la definida en el capítulo anterior, a través de la función “*create\_control\_space*” la cual no tendrá una asociación particular con un nodo de la red, sino con el Sistema Multiagente en sí mismo, requiriéndose para ello la generación de un identificador único de red “*TLÖN\_WORLD\_ControlSpace\_UUID*” que identifique al mundo TLÖN de forma inmanente frente a todas las posibles instancias en un momento determinado.

Esta coalición inicial de control se crea con propósitos de desarrollo e investigación y tiene acceso a todas las estructuras de la red, sin participar en los juegos definidos dentro de la misma. Podrá cumplir el papel de orquestador local de ser necesario, con el fin de hacer posible la auto replicación de la red hacia otra sección de la misma que no haya sido reconocida previamente, como puede ser un segmento de red que actúa “en desconectado” o en un área geográficamente definida fuera del alcance de la red.

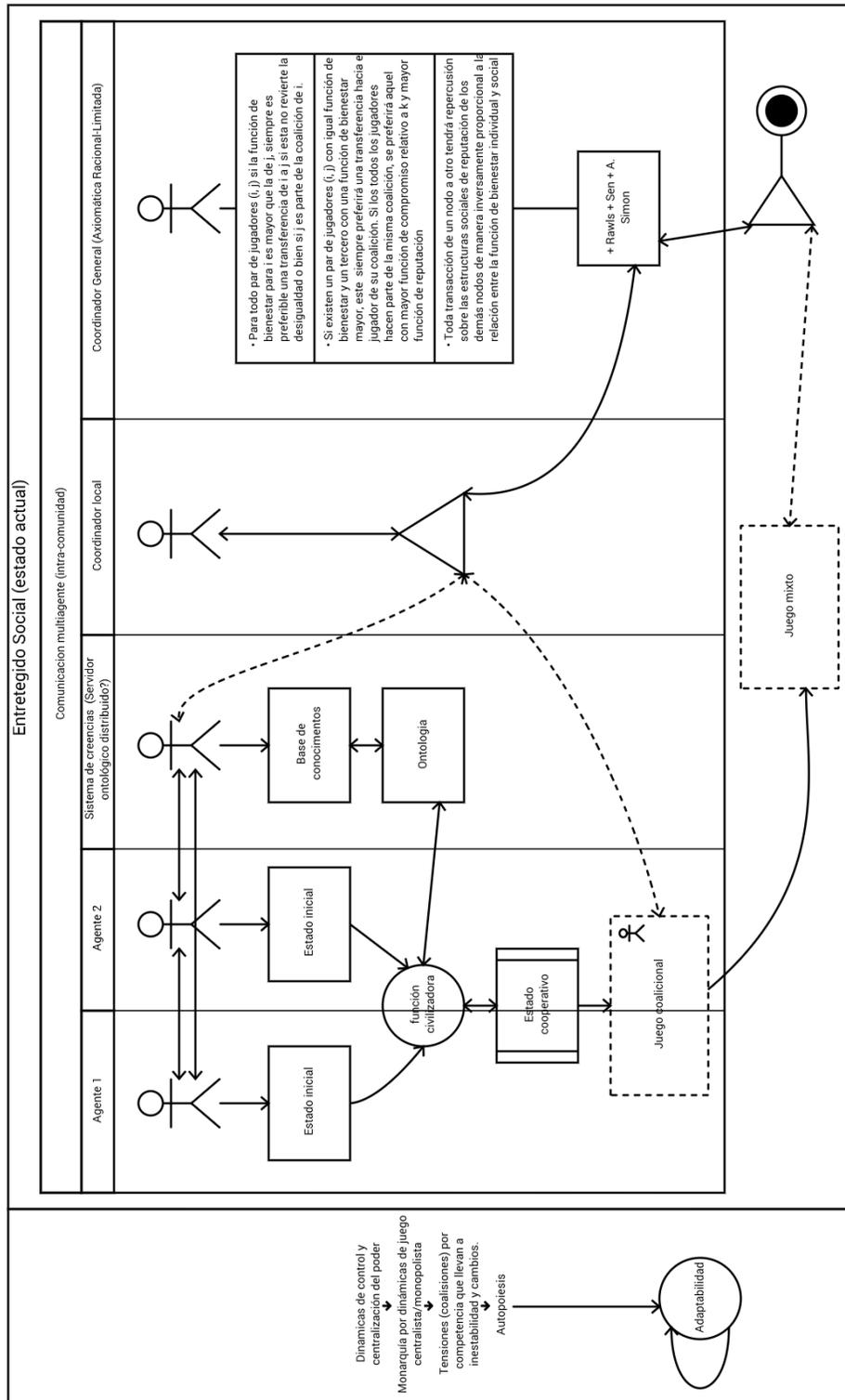


Figura 2-9.: Proceso de negociación entre agentes sociales. Fuente: Elaboración propia.

---

**Algoritmo 1** Inicio del Sistema Multiagente - TLÖN

---

**Require:** *communication.socket\_methods**data*  $\leftarrow$  "TLÖN\_environment\_alfred\_data\_id"**repeat***address*  $\leftarrow$  *GET\_ALFRED\_DATA*(*data*)**until** *address*  $\neq$  **None** **or** *max\_attempts***if** *address* is **None** **then***environment* = *Environment*()*environment.create\_control\_space*(TLÖN\_WORLD\_ControlSpace\_UUID)print('Info-Local Machine : %s' % str(*environment.info\_local\_machine*))

print('Waiting for new requests...')

SET\_ALFRED\_DATA(*environment.info\_local\_machine.Ipv6*,*data*)*address* = *environment.info\_local\_machine.Ipv6***end if**create\_message(*address*, JOIN\_ENVIRONMENT, *MAC\_addr*)

---

En caso contrario, es decir, cuando sí se detecte la presencia del paquete *alfred* tipo *TLÖN\_environment\_alfred\_data\_id*, se procederá a configurar la dirección reportada en la respuesta como la dirección del ambiente dentro del nodo cliente y, con ella, se procederá a solicitar al ambiente la instanciación del espacio de control que le corresponde al nodo físico dentro de la red mediante un mensaje al ambiente bautizado como "*JOIN\_ENVIRONMENT*".

La ejecución del ambiente a través de la clase *Environment* garantiza la creación de directorios públicos descentralizados que mantienen la información de la red actualizada mediante esta ejecución proactiva descrita anteriormente. Cada vez que un nodo se reporta así dentro del SMA utilizando "*JOIN\_ENVIRONMENT*", la estructura de control que le encapsula es registrada en dichos directorios, sirviendo a su vez de puerta para que al interior de cada espacio de control se tengan directorios de segundo nivel de las coaliciones y/o agentes que se relacionan con el nodo en el plano social.

La utilización de estos directorios resulta en un campo tan amplio de posibilidades que superan el sentido de esta tesis, por lo que nos limitaremos a explicar cómo es posible llenar y administrar algunos de estos registros de manera eficaz, mediante la lógica coalicionista y la teoría de juegos con el fin de obtener estructuras lógicamente cooperativas en el tiempo que vida de la red, que permitan acercarse a una solución heurística al problema de la escalabilidad de un sistema de telecomunicaciones descentralizado.

Este archivo contiene principalmente la definición de la clase *ControlSpace*, la cual recibe para su instanciación una dirección física (MAC) a la que se asociará su ejecución y representa el espacio social del que hace parte el nodo en cuestión. En ella se declaran los agentes mínimos para encapsular el comportamiento de cualquier nodo que haga parte de la red a través del modelo social inspirado planteado en el presente trabajo. Contiene por una parte la declaración de dos agentes de control, un agente “Coordinador (local)” y un agente “Registrador (local)” y, por otra, un directorio de agentes trabajadores, herederos de la clase *worker*, la cual contiene la declaración de un hilo computacional que podrá ejecutar cualquier función que se envíe como parámetro.

La definición del tipo de agentes a implementar en el espacio de control se define en función de la axiomática a ejecutar por tal espacio social. De tal forma que, si se elige una axiomática de grupos, la clase se inicializará con agentes de comportamiento *SocialAgent* y para el caso de una axiomática individualista se cargará con agentes de comportamiento tipo *rationalAgent*.

La clase define los métodos para realizar peticiones (sociales) de alto nivel al sistema multiagente que le comuniquen con los demás espacios sociales de la red, con quienes correrá los juegos y eventualmente, coalicionará para ejecutar tareas distribuidas en el sistema operativo. La función *get\_agents (self, agent=None)* recibe como atributo opcional el agente de control que debe ser retornado y la función *get\_workers (self)* devolverá el *pool* de agentes trabajadores asignados a la coalición. La función *play (self, opponent)* recibe como argumento otro espacio social con el que se ejecuta el juego de negociación, ésta debe ser llamada por un agente coordinador de coalición quien observará al coordinador del espacio social opositor como un jugador de la clase *Player* con nombre y estrategia; retornará el resultado del juego decidiendo en consenso una matriz de pagos y una cantidad de rondas para el juego.

Si dicho juego resulta favorable para la coalición que lo ha solicitado y el registrador de la misma, puede verificar unas condiciones de confianza y compromiso suficientes para el oponente, éste procederá a solicitar el proceso de coalición con el registrador oponente, el cual deberá verificar la favorabilidad de dicha acción a la luz de sus estructuras de confianza y compromiso como se explicará a continuación en la definición de la clase *SocialAgent*.

### 2.2.2. La definición de agente social coalicionista

— MAS\_TLON\agent\_factory\behaviors\Social.py —

Aquí, se encuentran las definiciones de la clase *SocialAgent*, la cual es heredera de la

clase “*AbstractAgent*”. Esta define un agente social y dota a la quíntupla computacional de la capacidad de definir objetos de clase “*worker*” y “*ThreadPool*” para ejecutar labores de procesamiento computacional por hilos. Así mismo cuenta con la definición de las estructuras de confianza, compromiso, preferencias, estrategias individuales y ganancias. Tanto el agente coordinador como el agente registrador, son agentes de tipo social, sin embargo, su uso goza de propósitos diferenciados para mantener la coherencia argumentativa.

---

**Algoritmo 2** Esquema de definición de los parámetros del juego
 

---

```

function DEFINEGAMEMATRIX(self, opponent, board)
  if board = None then
    if opponent.community = self.community or self.getConfidence(opponent)
  then
    board  $\leftarrow$  “TotalCoverageMatrix”
  else
    board  $\leftarrow$  “SocialDilemmaMatrix”
  end if
  return opponent.defineGameMatrix(self, board)
else
  if opponent.community = self.community then
    if self.getConfidence(opponent) then
      board  $\leftarrow$  “TotalCoverageMatrix”
    else if not self.getConfidence(opponent) then
      board  $\leftarrow$  “PartialCoverageMatrix”
    end if
  end if
  return board
end if
end function

function DEFINESTRATEGY(self, opponent)
  if self.getConfidence(opponent) or opponent.community = self.community then
    strategy  $\leftarrow$  self.strategylist[randint(0, 1)]       $\triangleright$  Nice or TitforTat rnd choice
  else:
    strategy  $\leftarrow$  self.strategylist[randint(1, 2)]     $\triangleright$  Defector or TitforTat rnd choice
  end if
  return strategy
end function

```

---

El agente coordinador, es quien ejecuta los métodos “*play\_game*”, “*defineStrategy*” y “*defineGameMatrix*”. El primero de ellos recibe como argumentos los espacios sociales tanto

del oponente como el propio, en primer lugar, evalúa si el oponente es miembro de la misma coalición (si se comparte el mismo espacio social), en cuyo caso propondrá un juego de coordinación con estrategias de carácter altruista con un coeficiente de pago que represente las capacidades de la coalición para el instante dado. El esquema para la definición final del juego donde se definirán, a priori, la matriz de pagos y las estrategias a usar en el juego es el siguiente:

- Matriz de pagos: Mediante el método *“defineGameMatrix (self, opponent)”*, el agente registrador de cada coalición revisará las estructuras de confianza y compromiso respecto al oponente, si se satisfacen las condiciones de confianza para el juego actual, procederá a elegir alguna de las matrices simétricas (de coordinación o de compromiso total). En caso contrario, elegirá la matriz no simétrica correspondiente al dilema social. Una vez hecha su elección, preguntará al agente registrador del oponente sobre el mismo particular (si el oponente hace parte de la misma coalición, éste podrá conocer dicha elección); en caso que éste verifique las mismas condiciones, la decisión se mantendrá. En caso que la elección del primer agente haya sido de carácter coalicional (o simétrica) y el oponente no pueda verificar las condiciones de confianza y compromiso, se elegirá aleatoriamente entre la matriz del dilema social y la de compromiso parcial; de la misma manera para el caso opuesto. En caso que se trate de la misma coalición y el segundo agente tenga peores condiciones de ganancia, se elegirá una matriz de pagos de compromiso parcial lo cual repercutirá en la elección de las estrategias.
- Estrategias: Con el uso del método *“defineStrategy (self, oppoent)”*, cada agente registrador definirá la estrategia para su coalición, teniendo en cuenta el resultado del esquema de verificación de confianza y compromiso correspondiente a la axiomática global que defina el sistema multiagente. Para el caso de una axiomática de grupos, si el oponente hace parte de la misma coalición y la matriz a jugar fuese de compromiso parcial, se usará el siguiente esquema de verificación de confianza y compromiso.

### 2.2.3. Esquema de verificación de confianza y compromiso

Cada agente social que cumpla la labor de registro podrá verificar y modificar las condiciones de confianza y compromiso frente a otro espacio social de acuerdo al estado actual de sus estructuras propias de confianza y compromiso de la siguiente manera para el caso de la axiomática de grupos:

1. Cada agente registrador cuenta con dos estructuras de datos tipo diccionario, donde almacenará el estado de compromiso y confianza frente a las demás coaliciones o grupos sociales las cuales antes del primer juego de negociación estarán vacías y se llenarán en función del resultado de cada juego ejecutado.
2. Para verificar el estado actual de la confianza, se dispone del método *“get\_confidence (self, node\_id)”*, el cual devuelve una variable booleana con el estado de confianza

---

**Algoritmo 3** Esquema de verificación de confianza y compromiso

---

```

function GETCONFIDENCE(self, node_id)
  if node_id in self.confidence then
    return self.confidence[node_id]
  end if
  return False
end function

function SET_BY_RECIPROCITY(self, node_id, actual_confidence)
  if actual_confidence then
    if node_id not in self.reciprocity then
      self.reciprocity[node_id]  $\leftarrow$  True
      confidence_by_r  $\leftarrow$  False
    else
      confidence_by_r  $\leftarrow$  self.reciprocity[node_id]
      self.reciprocity[node_id] = True
    end if
  else if node_id not in self.reciprocity then
    self.reciprocity[node_id]  $\leftarrow$  False
    confidence_by_r  $\leftarrow$  False
  else if node_id in self.reciprocity then
    confidence_by_r  $\leftarrow$  self.reciprocity[node_id]
    self.reciprocity[node_id]  $\leftarrow$  False
  end if
  return confidence_by_r
end function

procedure SETCONFIDENCE(self, node_id, profit)
  if profit  $\geq$  0 then
    by_reciprocity  $\leftarrow$  self.set_by_reciprocity(node_id, True)
    self.confidence[node_id]  $\leftarrow$  True
  else
    by_reciprocity  $\leftarrow$  self.set_by_reciprocity(node_id, False)
    self.confidence[node_id]  $\leftarrow$  by_reciprocity
  end if
end procedure

```

---

asignado al espacio social del oponente (simpatía), si se trata de un espacio social con el que no se ha interactuado previamente, el estado de confianza por omisión será falso.

3. Para establecer o modificar la confianza, el agente registrador dispone de la función “*set\_confidence (self, node\_id, profit)*”, la cual recibe como argumentos la diferencia entre las ganancias de un juego realizado y el identificador único del oponente.

Si la relación *profit* es mayor o igual a cero, el agente registrador establecerá un valor temporal verdadero para la confianza asociada al oponente y procederá a validar dicho valor en las estructuras de compromiso mediante la función “*set\_by\_reciprocity (self, node\_id, actual\_confidence)*”, la cual, si el valor temporal de confianza recibido es verdadero, procederá a verificar el estado de compromiso frente al oponente; de no existir ningún compromiso previo, el nuevo valor de la confianza será falso y se establecerá un compromiso verdadero. Si el compromiso existe y es verdadero, se mantendrán tanto la confianza como el compromiso verdaderos y, por tanto, se ejecutará una estrategia cooperativa en la solución óptima de la coalición.

Si en cambio, la relación de ganancias es negativa (transferencia de  $k$  a  $j$  siendo  $G(k) \leq G(j)$ ) y  $k$  esta en peores condiciones que  $j$  (siendo  $k$  un nodo que pertenece a la misma coalición y existe un nodo  $i$  tal que replique el mismo estado frente a  $k$ ), el registrador de  $k$  establecerá un valor temporal falso para la confianza asociada al oponente  $j$  y procederá a validar dicho valor en las estructuras de compromiso. Donde de existir un compromiso verdadero y cumplirse la condición de desigualdad mencionada, desde que el beneficio obtenido no revierta la desigualdad, se mantendrá el estado del compromiso y se retornará un valor verdadero para la confianza. De no satisfacerse la condición de desigualdad ni existir un compromiso previo, el nuevo valor de la confianza será falso y se establecerá un compromiso falso. Si el compromiso existe y es verdadero, pero no se cumple la condición de desigualdad, el valor de la confianza pasará a ser verdadero y se establecerá un compromiso falso. Si el compromiso es falso, se mantendrán tanto la confianza como el compromiso en tal estado.

#### 2.2.4. La definición de agente racional no coalicionista

— MAS\_TLON\agent\_factory\behaviors\rational.py —

Se usará el esquema definido en la clase “*rationalAgent*” para definir el comportamiento de un agente regido por una lógica utilitarista racional. La característica principal de estos agentes reside en el hecho de guiarse por una axiomática no grupal para la definición de la estrategia en el juego, por lo que éstos no tendrán la implementación del método “*collude*”.

### 2.2.5. Estrategias y torneos

— MAS\_TLON\environment\cultural\_laws\strategies.py —

En este archivo, se definen las dos elecciones por excelencia de cualquier decisor (cooperar o traicionar) así como los métodos *swap* y *random* que permiten encontrar la elección contraria a la previamente elegida y escoger una al azar según un umbral de probabilidad para la cooperación, respectivamente. También, define las clases de estrategias que pueden ser usadas en un juego, de la siguiente manera:

- *class Nice(Strategy)*: Cooperar (casi) siempre.
- *class Naive(Strategy)*: Repetir la última elección si el oponente cooperó.
- *class NaiveProber(Strategy)*: Traicionar con el 20% de probabilidad, de lo contrario, repetir la última elección si el oponente cooperó.
- *class Crazy(Strategy)*: Cooperar con el 50% de probabilidad
- *class TitForTat(Strategy)*: Copiar la última jugada del oponente
- *class Selfish(Strategy)*: Cooperar con el 50% de probabilidad solo si el oponente cooperó en su última jugada, de lo contrario traicionar.

Una vez el agente coordinador ejecuta el juego, se realizará una solicitud de coalición entre los jugadores, donde cada agente registrador verifica la condición de confianza correspondiente y, si las dos son exitosas, se creará una nueva coalición que comparte las estructuras de confianza, compromiso y agentes trabajadores de las dos anteriores (Algoritmo 4).

Teniendo cuenta la complejidad del juego, cada agente se compondrá de las mínimas estructuras o funciones posibles para subsistir y cumplir con su función objetivo, así como cada coalición mantendrá sus estados acotados en función de sus capacidades objetivas. Esto es, la combinatoria posible entre los estados observados y los estados esperados desde la capa física hasta cualquier otra capa de abstracción definida para la red *ad hoc*. Para delimitar el problema se modelarán las estructuras correspondientes al estado de cualquier otra capa diferente a la del sistema multiagente como una entrada dada a priori. Así, bastará con definir los estados que se correspondan con las funciones vitales del sistema multiagente, estos son: un estado inicial y un conjunto de estados correspondiente con la dinámica de la red.

---

**Algoritmo 4** Ejecución del juego y proceso coalicionista
 

---

```

function PLAY_GAME(self, opponent, game)
  coalition ← False
  if opponent.community = self.community then
    coalition ← True
    g_score ← self.calculate_difficult()
    self.add_payment(g_score)
    return [{"coalition" : coalition, "coop_score" : g_score}]
  end if ▷ If this opponent is in my coalition just cooperate to gain the most we could,
  calculated as a coalition difficult score. Else, play the game normally with opponent.
  game.play(opponent)
  scores = game.getScores()
  self.setConfidence(opponent, (scores[opponent] – scores[self]))
  opponent.setConfidence(self, (scores[self] – scores[opponent]))
  return [{"coalition" : coalition, "game" : game}]
end function

function COLLUDE(self, opponent, r_fool = False)
  a ← self.getConfidence(opponent)
  b ← opponent.getConfidence(self)
  if (a and b) or r_fool then
    collude_state ← True
    try
      o_collude_state ← opponent.collude(self)
    catch
      collude_state ← False
    end try
    if collude_state and o_collude_state then
      opponent.community ← self.community
      workers ← opponent.get_workers()
      for worker in workers do
        worker.community ← self.community
      end for
      return self.community
    end if
  end if
  return False
end function

```

---

### 3. Adaptación e integración de los modelos elaborados en el proyecto TLÖN

Mediante la abstracción conceptual generada por parte del grupo de investigación en Lenguajes Distribuidos y redes de Telecomunicaciones (TLÖN), desde 2015 se han venido implementado una serie de códigos de programación que permiten, hasta el momento, a dispositivos embebidos con capacidad de correr el núcleo estable de Linux levantar una red en malla tendiente a ser una red *ad hoc*, con la ayuda del protocolo de comunicaciones B.A.T.M.A.N. adv. El cual mediante el enrutamiento de paquetes en la capa 2 permite al usuario configurar su dispositivo para interactuar en la capa física y de red, transmitiendo y retransmitiendo paquetes, unos de tipo “broadcast” (con información del originador únicamente) y otros de información específica con origen y destino. Adicionalmente, es posible organizar sobre esta última capa de la red, la ejecución de diferentes llamados, tales como el de descubrimiento de servicios y auto-configuración de periféricos como nodos sensores y demás dispositivos del borde de la red. El propósito de construir un sistema multiagencial es el de coordinar las peticiones que se realicen en la capa física de la red, con el fin de mantener estables las condiciones y capacidades de la red, esto es, dar una solución viable al problema de la distribución de recursos aún cuando estos recursos aparentemente sean nulos por la desaparición de todos los nodos de la red para un instante dado (función de persistencia de la red).

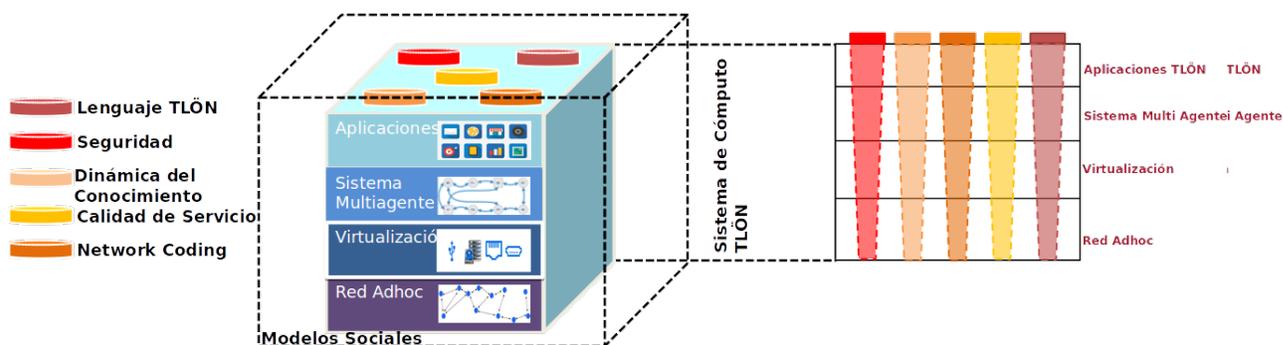


Figura 3-1.: Modelo de capas TLÖN[53].

Para ello, se ha implementado el siguiente modelo que sintetiza la opción en desarrollo a la luz del modelo multicapas ya presentado, el cual mediante el direccionamiento en la capa física, provista por el protocolo batman-adv, solicita la creación de un ambiente (Environment), que en adelante contendrá las referencias lógicas de los nodos que ingresan a la red y proveerá a la red un marco lógico interpretado de ejecución para el sistema operativo. La propuesta consiste en levantar un esquema de direccionamiento IPv6 sobre el que se proveerán los servicios de control de la red, estableciendo sub-espacios de control dentro del ambiente para relacionar la capa de aplicaciones con la capa de virtualización y orquestación del sistema TLÖN, teniendo en cuenta los requisitos a suplir desde cada uno de los pilares estructurantes del sistema, a saber:

**En el lenguaje:** Cada nodo que ingrese a la red hará parte del mecanismo de gestión del lenguaje, aportando no solo mediante su capacidad de cómputo para procesar las instrucciones y seguir las ordenes ya establecidas por la red, sino también mediante el registro de nuevas y diferentes funcionalidades propias de su naturaleza, las cuales tendrán consigo una base epistemológica (incluido su lenguaje específico y palabras reservadas) que permita conocer sus estados de operación y ejecutar acciones en él.

**En las dinámicas del conocimiento:** Según las características particulares de cada instante de la red será necesario determinar los espacios de ejecución específica para el lenguaje construido mediante corridas (juegos) realizadas en la red, éstas estarán mediadas por las estructuras de creencias propias de cada agente y aquellas construidas de manera social (entre ellas la confianza y la reciprocidad).

**En la calidad del servicio:** Cada uno de los juegos deberá asegurar una proporcionalidad para cada uno de los servicios subsecuentes, que permita percibir a todos los agentes de la red un acceso estable a la resolución de sus peticiones, para lo cual se observarán las ganancias por agente de cada ejecución del juego y se buscará corregir a continuación las desproporcionalidades en un porcentaje conveniente para los propósitos del orquestador.

### 3.0.1. Preparación y presentación de los datos generados en TLÖN

Para esta fase del trabajo investigativo se ha elaborado un diseño experimental que busca aclarar las diferencias entre las capacidades observadas por un sistema no coalicionista y uno coalicionista. Para ello, se ha diseñado un escenario donde todo nodo que se registra en el sistema multiagente TLÖN deberá resolver una tarea de alta complejidad computacional, haciendo uso de los recursos que le provea el sistema. Cada nodo participará en éste, como se ha expuesto anteriormente, con una capa lógica de control (con un agente coordinador y un agente registrador) y una capa de actividades primarias (con dos agentes trabajadores,

**Tabla 3-1.** Eficiencia en la ejecución de la tarea.

|      |        |     |        |      |
|------|--------|-----|--------|------|
| Nodo | j=1    | ... | j=m    | E    |
| i=1  | e(i,j) | ... | e(i,m) | E(i) |
| ⋮    | ⋮      | ⋮   | ⋮      | ⋮    |
| i=n  | e(n,j) | ... | e(n,m) | E(n) |

cada uno de ellos con la posibilidad de ejecutar un hilo computacional).

Previo al inicio de la ejecución de la tarea, el sistema multiagente ejecutará un juego basado en el dilema del prisionero para asignar los recursos a cada uno de los nodos. Este juego se realizará mediante la implementación de 3 estrategias básicas: “*Nice o Cooperator*”, “*Selfish o Defector*” y “*TitforTat*”, las cuales, para la primera interacción, son elegidas de manera aleatoria por cada agente coordinador de nodo y en etapas subsecuentes, teniendo en cuenta su participación en una misma coalición, en cuyo caso los nodos tendrán como base una matriz de pagos de compromiso total o parcial, para la cual la estrategia dominante será la cooperación. En cada iteración del juego se incluye como parámetro una variable aleatoria que involucra la probabilidad de errar en la ejecución de la estrategia, de tal modo que se pueda evaluar el desempeño de la meta estrategia en entornos ruidosos de información imperfecta.

Para cada iteración completa del proceso (torneo) se compara el desempeño de los nodos dentro del sistema multiagente según las siguientes matrices de evaluación:

- Eficiencia en la ejecución de la tarea (Tabla **3-1**).

$$e(i, j) = \frac{f_i(w)}{\frac{f_i(w) + f_j(w)}{2}} \rightarrow \text{Eficiencia relativa}$$

$$f_x(w) = \text{tiempo de ejecución de la tarea } w \text{ en el nodo } x$$

$$E(i) \rightarrow \text{Eficiencia total en la ronda del nodo } i$$

- Grafo de conexiones sociales (Tabla **3-2**).

$$g(i, j) = 1 \text{ if } i \in G(j) \text{ else } 0$$

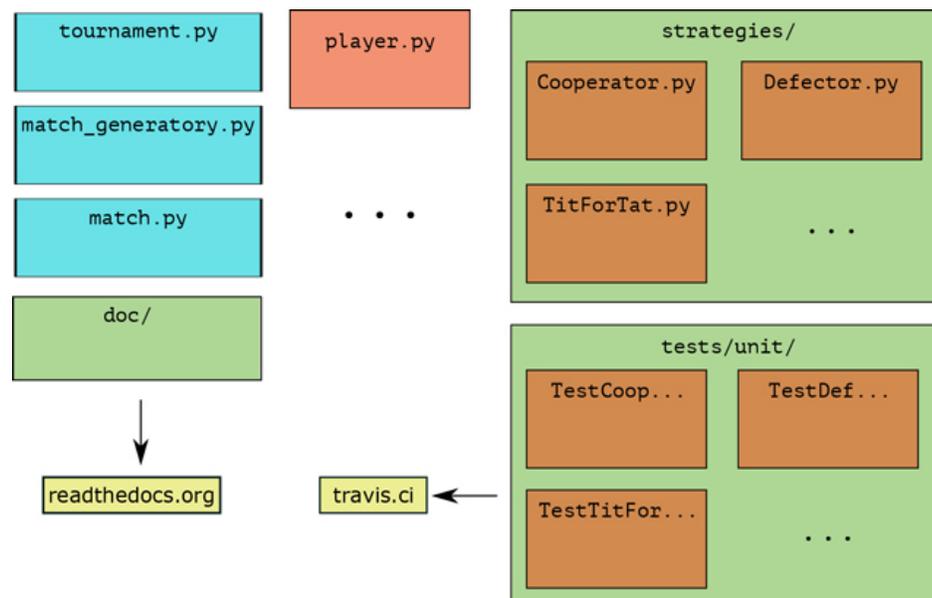
Los resultados que provienen de esta etapa son evaluados mediante una herramienta de simulación con el fin de ser contrastados y evaluado su desempeño en un entorno no coalicionista de tal modo que se evidencien los efectos del esquema coalicionista de forma heurística mediante la comparación de resultados agregados a nivel de sistema. Para este fin, la librería Axelrod-Python/Axelrod: v3.8.1 [35] provee un completo marco de trabajo el cual permite entre otras características:

**Tabla 3-2.:** Grafo de vínculos sociales.

|      |          |     |          |
|------|----------|-----|----------|
| Nodo | j=1      | ... | j=m      |
| i=1  | $g(i,j)$ | ... | $g(i,m)$ |
| ⋮    | ⋮        | ⋮   | ⋮        |
| i=n  | $g(n,j)$ | ... | $g(n,m)$ |

- Contar con más de 100 estrategias reportadas en la literatura y algunas otras contribuciones originales
  - Estrategias clásicas como *TiT-For-Tat*, *WSLS*, y sus variantes
  - Estrategias *Zero-Deterministas* y *Memory-One*
  - Muchas estrategias que pueden ser usadas para definir un arreglo de estrategias populares incluyendo máquinas de estado finitas, estrategias que buscan patrones en otras estrategias, y estrategias que combinan los efectos de muchas otras.
  - Transformadores de estrategia que aumentan las habilidades de cualquier estrategia.
- Encuentros uno-a-uno
- Torneos “*Round Robin*” con una variedad de opciones, incluyendo:
  - Ambientes ruidosos
  - Torneos espaciales
  - Longitud probabilística de los encuentros
- Dinámicas de poblaciones
  - El proceso de Moran
  - Modelo ecológico de dinámica de poblaciones
- Soporte Multi-procesador y generación automática de figuras y estadísticas
- Cada estrategia es categorizada en un número de dimensiones, incluidas:
  - Determinista o estocástica
  - Número de rondas de historia utilizadas
  - Si la estrategia usa o no la matriz de juego, la longitud de la partida, etc.

Adicionalmente, la librería ha sido extensivamente probada con una cobertura del 100%, asegurando su validez y reproducibilidad de los resultados, lo cual la establece como una herramienta adecuada y pertinente para conseguir los objetivos propuestos.



**Figura 3-2.:** Un resumen del código fuente de la librería Axelrod[35]. Fuente:

## 4. Experimentación

A continuación, se incluyen los resultados de la matriz de eficiencia calculada para un torneo de 8 jugadores, cada uno en el estado inicial (sin haber jugado previamente) y con el cálculo de los primeros 200 números de la sucesión de Fibonacci como función de trabajo, ejecutado en un equipo con procesador Intel(R) Core(TM) i5 @ 2.54 GHz y memoria RAM de 4GiB DDR 3 (1067 MHz).

$$E_1 = \begin{pmatrix} 1. & 0,98 & 0,98 & 0,98 & 1. & 0,99 & 0,96 & 1,02 & 0,99 \\ 1,02 & 1. & 1,01 & 1. & 1,02 & 1,01 & 0,98 & 1,04 & 0,99 \\ 1,02 & 0,99 & 1. & 1. & 1,02 & 1. & 0,97 & 1,03 & 0,99 \\ 1,02 & 1. & 1. & 1. & 1,02 & 1. & 0,98 & 1,03 & 0,99 \\ 1. & 0,98 & 0,98 & 0,98 & 1. & 0,99 & 0,96 & 1,02 & 0,99 \\ 1,01 & 0,99 & 1. & 1. & 1,01 & 1. & 0,97 & 1,03 & 0,99 \\ 1,04 & 1,02 & 1,03 & 1,02 & 1,04 & 1,03 & 1. & 1,06 & 1. \\ 0,98 & 0,96 & 0,97 & 0,97 & 0,98 & 0,97 & 0,94 & 1. & 0,98 \end{pmatrix}$$

$$E_2 = \begin{pmatrix} 1. & 1,02 & 1,02 & 1,02 & 1,01 & 1,24 & 1,03 & 1,02 & 1. \\ 0,98 & 1. & 1. & 0,99 & 0,99 & 1,22 & 1. & 1. & 0,98 \\ 0,98 & 1. & 1. & 0,99 & 0,99 & 1,22 & 1. & 1. & 0,98 \\ 0,98 & 1,01 & 1,01 & 1. & 0,99 & 1,23 & 1,01 & 1,01 & 0,99 \\ 0,99 & 1,01 & 1,01 & 1,01 & 1. & 1,23 & 1,02 & 1,01 & 0,99 \\ 0,76 & 0,78 & 0,78 & 0,77 & 0,77 & 1. & 0,78 & 0,78 & \mathbf{0.8} \\ 0,97 & 1. & 1. & 0,99 & 0,98 & 1,22 & 1. & 1. & 0,98 \\ 0,98 & 1. & 1. & 0,99 & 0,99 & 1,22 & 1. & 1. & 0,98 \end{pmatrix}$$

$$E_3 = \begin{pmatrix} 1. & 1,04 & 1,02 & 0,96 & 1,02 & 1,03 & 1,04 & 1,02 & 0,97 \\ 0,96 & 1. & 0,98 & 0,92 & 0,98 & 0,99 & 1. & 0,98 & 0,94 \\ 0,98 & 1,02 & 1. & 0,94 & 1. & 1,01 & 1,01 & 1. & 0,95 \\ 1,04 & 1,08 & 1,06 & 1. & 1,05 & 1,06 & 1,07 & 1,06 & 1. \\ 0,98 & 1,02 & 1. & 0,95 & 1. & 1,01 & 1,02 & 1,01 & 0,95 \\ 0,97 & 1,01 & 0,99 & 0,94 & 0,99 & 1. & 1,01 & 1. & 0,95 \\ 0,96 & 1. & 0,99 & 0,93 & 0,98 & 0,99 & 1. & 0,99 & 0,94 \\ 0,98 & 1,02 & 1. & 0,94 & 0,99 & 1. & 1,01 & 1. & 0,95 \end{pmatrix}$$

$$E_4 = \begin{pmatrix} 1. & 0,99 & 1. & 0,97 & 1,02 & 0,97 & 1. & 0,95 & 0,96 \\ 1,01 & 1. & 1,01 & 0,98 & 1,02 & 0,98 & 1. & 0,96 & 0,96 \\ 1. & 0,99 & 1. & 0,97 & 1,01 & 0,97 & 0,99 & 0,95 & 0,96 \\ 1,03 & 1,02 & 1,03 & 1. & 1,04 & 0,99 & 1,02 & 0,98 & 0,98 \\ 0,98 & 0,98 & 0,99 & 0,96 & 1. & 0,95 & 0,98 & 0,94 & 0,95 \\ 1,03 & 1,02 & 1,03 & 1,01 & 1,05 & 1. & 1,03 & 0,98 & 0,99 \\ 1. & 1. & 1,01 & 0,98 & 1,02 & 0,97 & 1. & 0,96 & 0,96 \\ 1,05 & 1,04 & 1,05 & 1,02 & 1,06 & 1,02 & 1,04 & 1. & 1. \end{pmatrix}$$

$$E_5 = \begin{pmatrix} 1. & 1,01 & 0,99 & 1,01 & 1,01 & 1. & 1,02 & 1,04 & 0,99 \\ 0,99 & 1. & 0,98 & 1,01 & 1. & 0,99 & 1,01 & 1,03 & 0,99 \\ 1,01 & 1,02 & 1. & 1,02 & 1,02 & 1,01 & 1,03 & 1,05 & 1. \\ 0,99 & 0,99 & 0,98 & 1. & 0,99 & 0,99 & 1. & 1,03 & 0,98 \\ 0,99 & 1. & 0,98 & 1,01 & 1. & 0,99 & 1,01 & 1,03 & 0,99 \\ 1. & 1,01 & 0,99 & 1,01 & 1,01 & 1. & 1,02 & 1,04 & 0,99 \\ 0,98 & 0,99 & 0,97 & 1. & 0,99 & 0,98 & 1. & 1,02 & 0,98 \\ 0,96 & 0,97 & 0,95 & 0,97 & 0,97 & 0,96 & 0,98 & 1. & 0,96 \end{pmatrix}$$

Estos resultados se observan homogéneos en su mayoría, teniendo en cuenta que el proceso coalicionista se ejecuta de manera simultánea para todos los nodos y que se ha asumido un supuesto de homogeneidad en las capacidades de cada uno de ellos. Más si se observa en detalle, por ejemplo, en la segunda iteración coalicionista existen nodos que, por no participar de ninguna coalición, muestran una menor eficiencia realizando el trabajo: en particular el sexto nodo muestra una eficiencia del 80 % respecto al nodo más veloz, sin embargo, esta diferencia no es demasiado apreciable. Para observar con mayor precisión lo expuesto anteriormente, basta con ingresar un nuevo nodo a la red donde ya se encuentra la súper-coalición conformada, allí el nuevo nodo actuará con sus recursos propios arrojando siguientes resultados:

$$E_1 = \begin{pmatrix} 1. & 1,02 & 1,02 & 1,04 & 1,03 & 1,01 & 1,02 & 1,04 & \mathbf{1.78} & 1. \\ 0,98 & 1. & 1. & 1,03 & 1,02 & 1. & 1,01 & 1,03 & \mathbf{1.77} & 0,99 \\ 0,98 & 1. & 1. & 1,02 & 1,02 & 0,99 & 1. & 1,02 & \mathbf{1.77} & 0,99 \\ 0,96 & 0,97 & 0,98 & 1. & 0,99 & 0,97 & 0,98 & 1. & \mathbf{1.76} & 0,97 \\ 0,97 & 0,98 & 0,98 & 1,01 & 1. & 0,98 & 0,99 & 1,01 & \mathbf{1.77} & 0,97 \\ 0,99 & 1. & 1,01 & 1,03 & 1,02 & 1. & 1,01 & 1,03 & \mathbf{1.78} & 0,99 \\ 0,98 & 0,99 & 1. & 1,02 & 1,01 & 0,99 & 1. & 1,02 & \mathbf{1.77} & 0,98 \\ 0,96 & 0,97 & 0,98 & 1. & 0,99 & 0,97 & 0,98 & 1. & \mathbf{1.76} & 0,97 \\ \mathbf{0.22} & \mathbf{0.23} & \mathbf{0.23} & \mathbf{0.24} & \mathbf{0.23} & \mathbf{0.22} & \mathbf{0.23} & \mathbf{0.24} & 1. & \mathbf{0.52} \end{pmatrix}$$

La última fila, así como la penúltima columna de la matriz de eficiencia, dan cuenta de la superioridad en la capacidad de procesamiento de cualquier nodo de la coalición frente al nuevo nodo incorporado. Siguiendo con los resultados generados por el sistema multiagente, y su dinámica coalicionista, es posible generar el gráfico de vínculos sociales de los agentes

a lo largo del proceso, el cual se representa mediante la matriz de correlación social, así:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 1. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 1. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 1. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. \end{pmatrix} \quad S_2 = \begin{pmatrix} 1. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 1. & 1. & 1. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 1. & 1. & 1. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 1. & 1. & 1. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 1. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. \\ 0. & 1. & 1. & 1. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. \end{pmatrix}$$

$$S_3 = \begin{pmatrix} 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. \end{pmatrix} \quad S_4 = \begin{pmatrix} 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. & 0. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. & 1. & 1. \end{pmatrix}$$

$$S_5 = \begin{pmatrix} 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. \end{pmatrix}$$

Como se observa, en la quinta iteración, la súper-coalición se ha conformado completamente y el ingreso de un nuevo nodo al sistema es claramente identificable en la matriz:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 1. \end{pmatrix}$$

### 4.0.1. Resultados y validación

A partir de estas matrices es posible, mediante el uso de la librería *Matplotlib*[31], visualizar de forma gráfica la conformación de las coaliciones, así como analizar estadísticamente su comportamiento. La figura 4-1 da cuenta del proceso seguido por los 8 nodos iniciales y en la figura 4-2 se observa el ingreso de un nuevo nodo al sistema donde previamente se ha establecido la súper coalición.

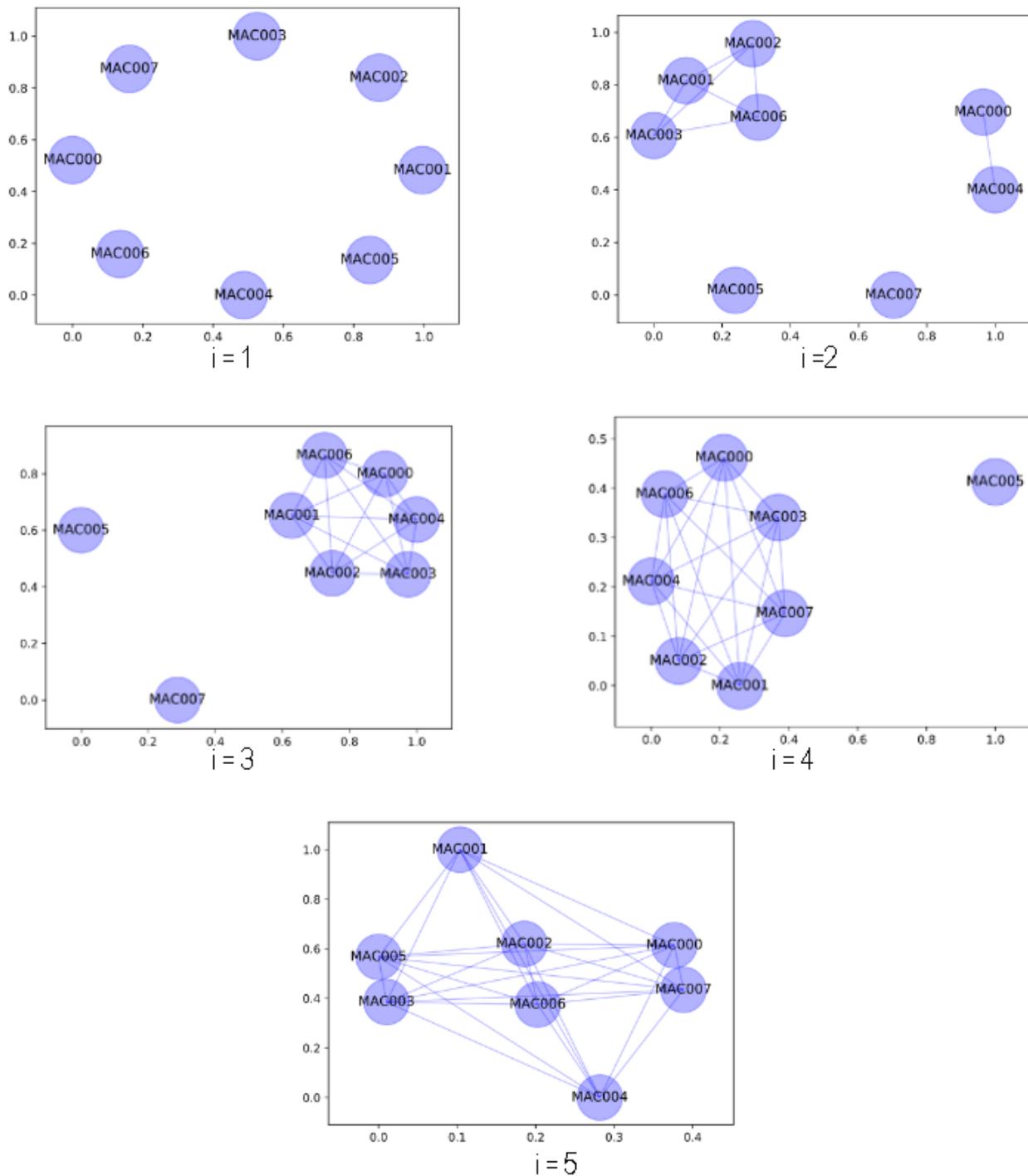
Finalmente, es posible detallar el desempeño de los nodos a lo largo del proceso mediante la interpretación gráfica de los resultados de la matriz de eficiencia asociados al tiempo promedio de ejecución de la rutina de trabajo; lo cual se sintetiza a continuación mediante diagramas tipo violín donde se observan los valores máximo y mínimo, así como su valor medio y las frecuencias asociadas a cada valor (Figura 4-3).

Como se advirtió inicialmente, el desempeño de los nodos es similar teniendo en cuenta que inician su ejecución en el sistema de manera simultánea y, adicionalmente, se han modelado con los mismos recursos computacionales cada uno de ellos. En el momento que un nuevo nodo ingresa, éste computará con sus recursos propios mientras que los demás nodos en el sistema multiagente lo harán con los recursos compartidos de su coalición (Figura 4-4).

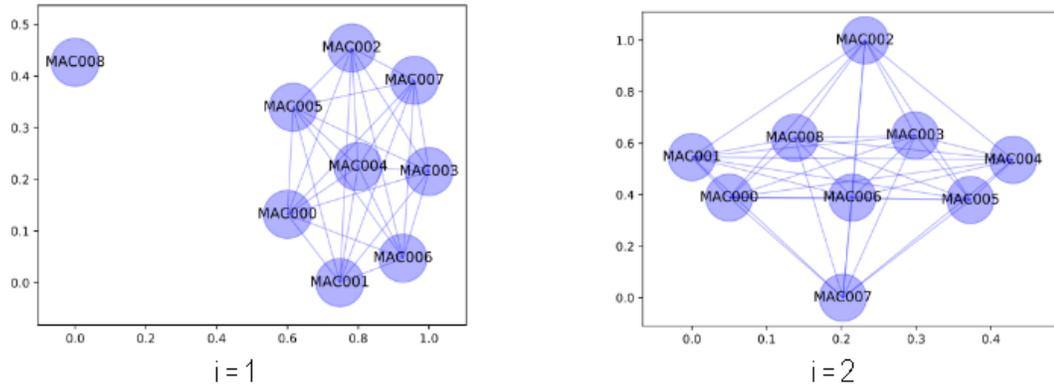
Una vez el nodo ingresa a la súper coalición su desempeño mejorará consecuentemente y alcanzará el mismo nivel de eficiencia de sus pares en la coalición (Figura 4-5).

Hasta el momento se han presentado los resultados generados de forma heurística por el sistema, el cual, mediante los procedimientos descritos en los capítulos anteriores, busca auto-organizarse de tal manera que, luego de múltiples interacciones entre los agentes del sistema, éstos compartan sus recursos y un *pool* común de trabajadores con el fin de optimizar el desempeño global de la red, infiriendo que la axiomática que rige al sistema permitirá la emergencia de la cooperación en el sistema TLÖN.

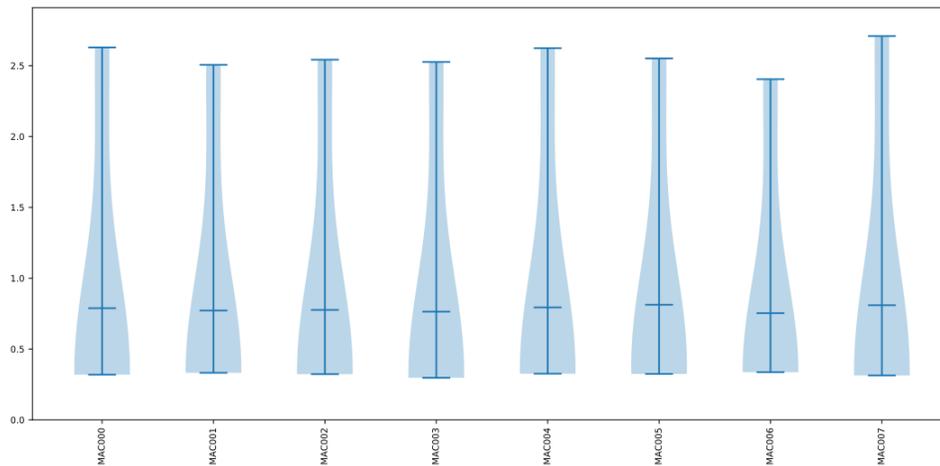
Esto, sin embargo, es necesario probarlo a la luz de la experimentación en sistemas expertos que sirvan de herramienta de evaluación y validación, para lo cual se ha desarrollado un esquema de pruebas en torneos de diferente carácter bajo la matriz de pagos del dilema social, en ellos se busca encontrar el efecto a nivel de sistema que tendrá la meta estrategia desarrollada, en ambientes no controlados por el sistema TLÖN. El primero de los resultados obtenidos es el pago promedio por agente según el tipo de torneo desarrollado, estos se han clasificado en tres categorías: Torneo clásico no coalicionista, torneo puramente coalicionista (TLÖN) y torneo mixto. Los resultados detallados se encuentran en el anexo A y en las gráficas 4-6,4-7, 4-8,4-9,4-10,4-11,4-12,4-13 y 4-14 se observan los resultados y estadísticas para el caso de 40 agentes jugadores.



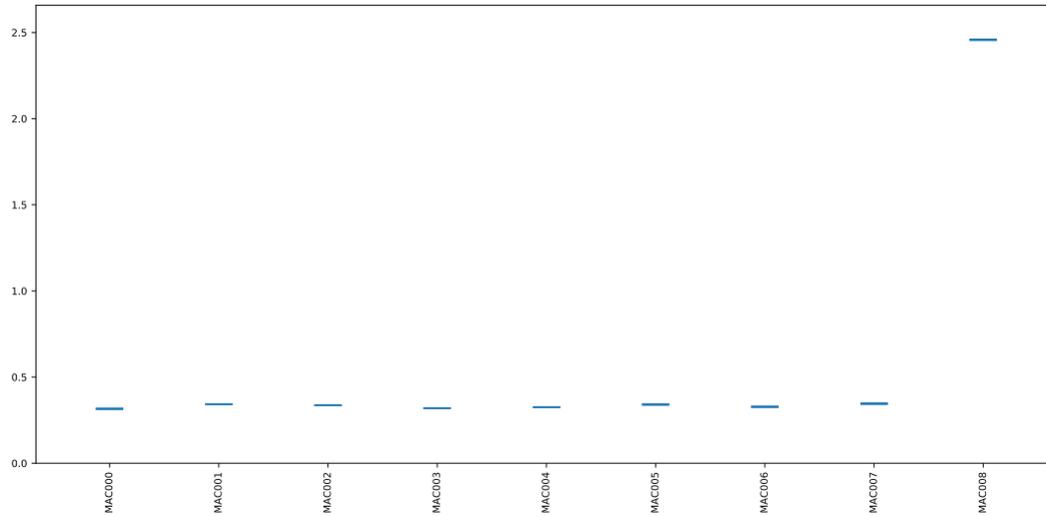
**Figura 4-1.:** Formación de una súper coalición de 8 nodos mediante un proceso de negociación estocástico. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Matplotlib [31].



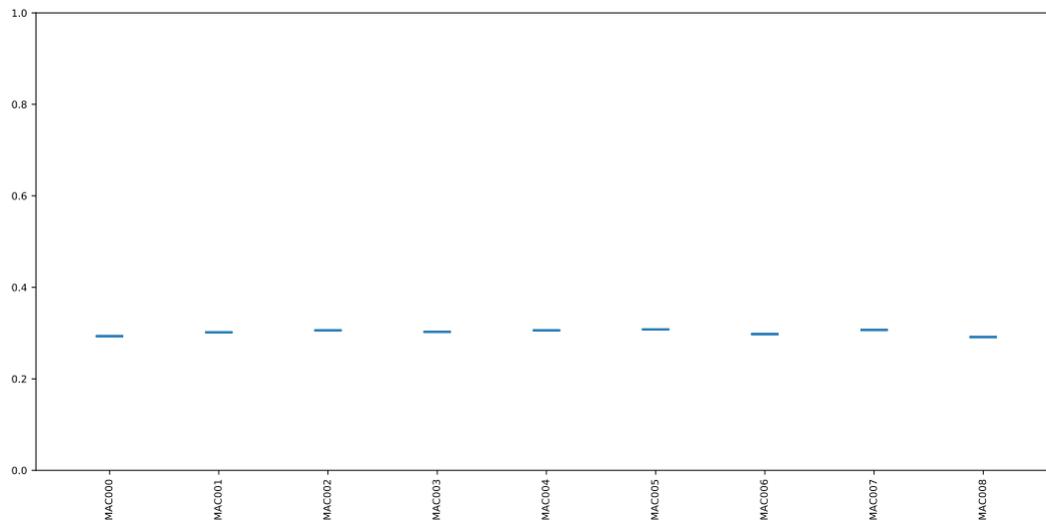
**Figura 4-2.:** Ingreso de un nodo a la red con una súper coalición existente. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Matplotlib [31].



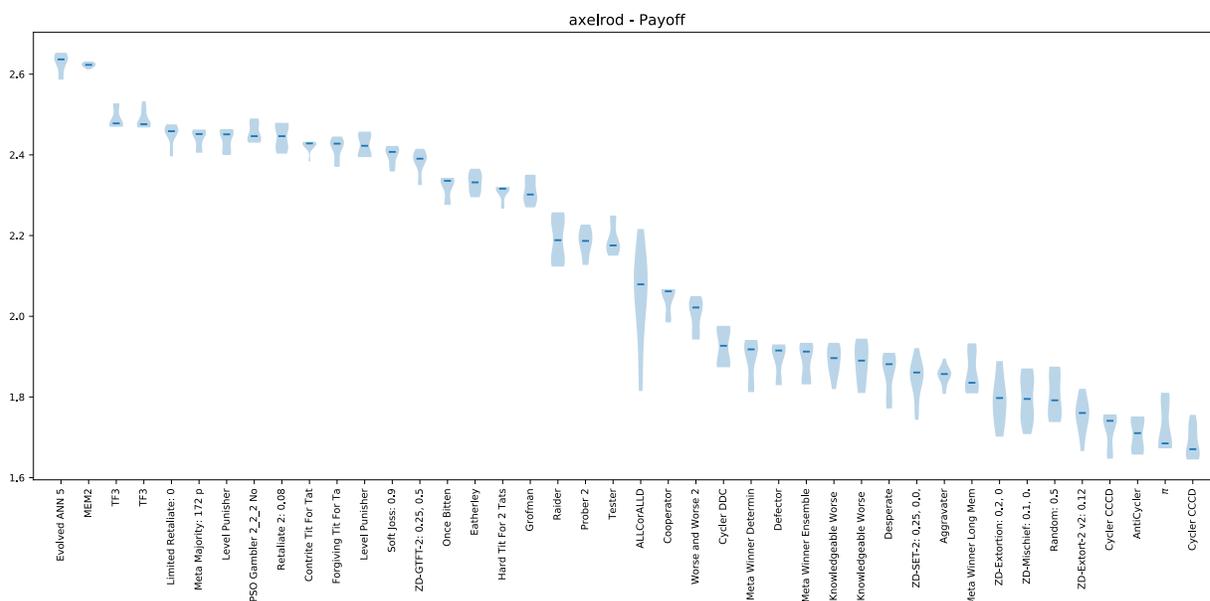
**Figura 4-3.:** Estadísticas de rendimiento de los nodos a lo largo del proceso coalicionista. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Matplotlib [31].



**Figura 4-4.:** Estadísticas de rendimiento de los nodos en el instante de ingreso de un nuevo nodo a la red. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Matplotlib [31].



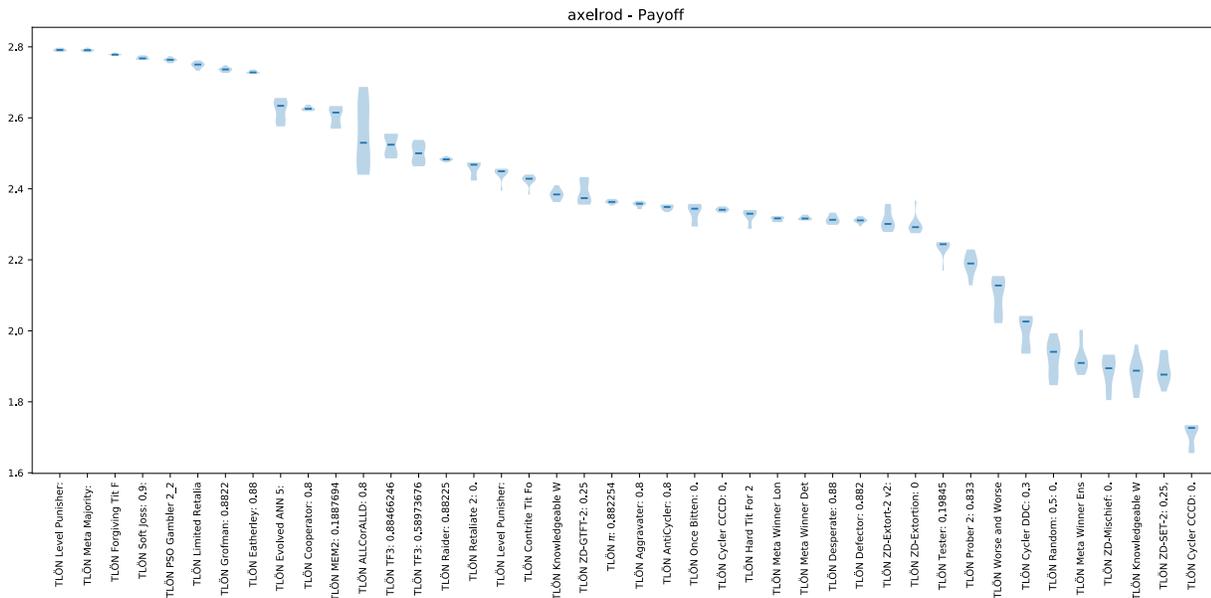
**Figura 4-5.:** Estadísticas de rendimiento de los nodos de una misma coalición. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Matplotlib [31].



**Figura 4-6.:** Promedios de pago de un torneo clásico puramente racional no coalicionista con 40 jugadores y 200 rondas por partida. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

Con el fin de analizar el comportamiento del torneo, la herramienta permite generar mapas de calor para visualizar la distribución de los pagos, en ellas es posible mediante la cantidad de luz presente en el dibujo, evaluar el desarrollo de un torneo. Para el caso del pago de cada agente se tiene que entre más cálido sea el gráfico (mayor cantidad de amarillo), mayor será el promedio de pagos recibido por cada agente, mientras que entre más frío sea éste, menor será el pago promedio de cada uno. Como se observa, el gráfico 4-9 que representa el torneo TLÖN es más cálido que el que representa al torneo clásico (Figura 4-8).

De manera similar es posible obtener los resultados gráficos que permiten comparar las desigualdades de pago entre los agentes, de tal forma que se represente ahora la diferencia entre el pago promedio recibido por un agente frente al pago promedio recibido por cualquier otro. Esta gráfica tendrá correspondencia con el grado de justicia distributiva del sistema de tal forma que al observar un gráfico que se acerca de manera homogénea al tono medio entre el violeta y el amarillo, se supondrá un estado de distribución más justo de los recursos del torneo, es decir, no habrá desigualdades entre los agentes jugadores. En la medida que el gráfico sea más polarizado entre tonos amarillos y violetas, se tendrá un escenario de mayor inequidad en la distribución de los pagos. Como se puede observar, en este caso también la gráfica 4-11 que representa al torneo coalicionista se hace más homogénea y tendiente al tono medio cian frente a la gráfica 4-11 que representa un torneo clásico.



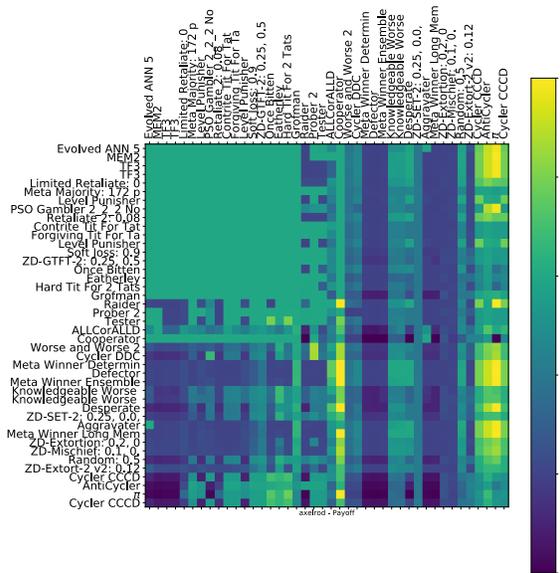
**Figura 4-7.:** Promedios de pago en la última iteración de un torneo puramente coalicionista con 40 jugadores y 200 rondas por partida. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

En la coalición conformada, los procesos son modelados como juegos aleatorios donde con una probabilidad definida por el espacio de control del ambiente se obtienen resultados equivalentes al caso determinista, en el que cada estrategia cumple (a cabalidad) con su función objetivo de cooperar al interior de la coalición, en cuyo caso, los juegos respectivos al encuentro de cualquiera de los nodos pertenecientes a la coalición podrían ser obviados o estimados mediante dicha distribución de probabilidad, abriendo el camino para calcular una función de pagos en menor cantidad de iteraciones computaciones y reduciendo el espacio de búsqueda temporalmente dentro del sistema.

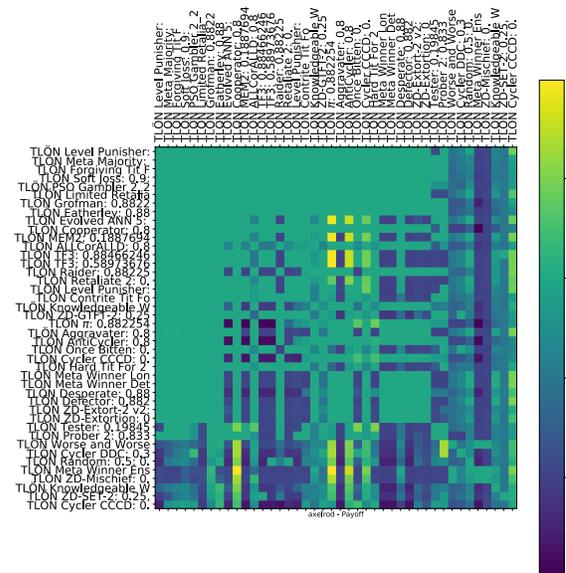
De hecho, si se observa la gráfica **4-12** que representa un torneo mixto con igual cantidad de jugadores sociales coalicionistas que de jugadores racionales no coalicionistas, ésta también muestra mayor homogeneidad y claridad que la del torneo clásico, abriendo regiones de distribución igualitaria que no existen en el torneo estrictamente racional.

La misma comparación, desarrollada previamente, se realiza entre el torneo mixto y el torneo clásico (Figura **4-14**), donde también se evidencia una mejora en el desempeño global del sistema.

Ahora bien, a pesar que se ha podido observar una mejora en el desempeño del sistema



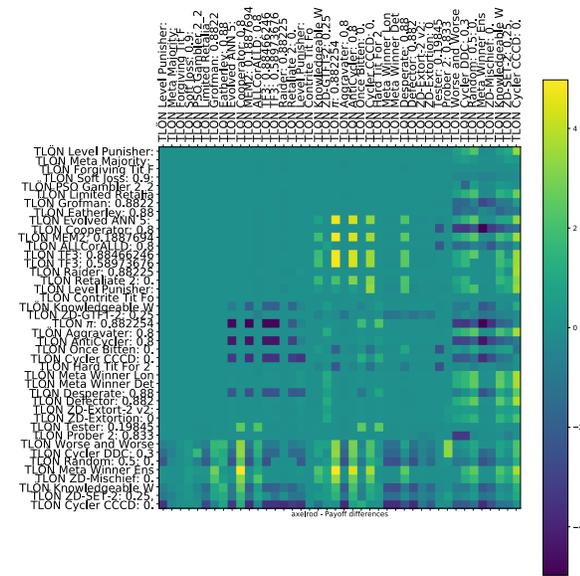
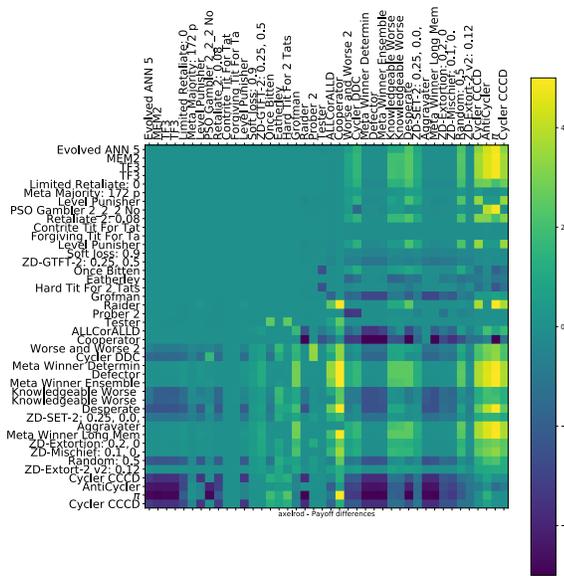
**Figura 4-8.:** Mapa de calor de los resultados de los enfrentamientos en un torneo clásico de 40 jugadores. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].



**Figura 4-9.:** Mapa de calor de los resultados de los enfrentamientos en un torneo TLÖN coalicionista de 40 jugadores. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

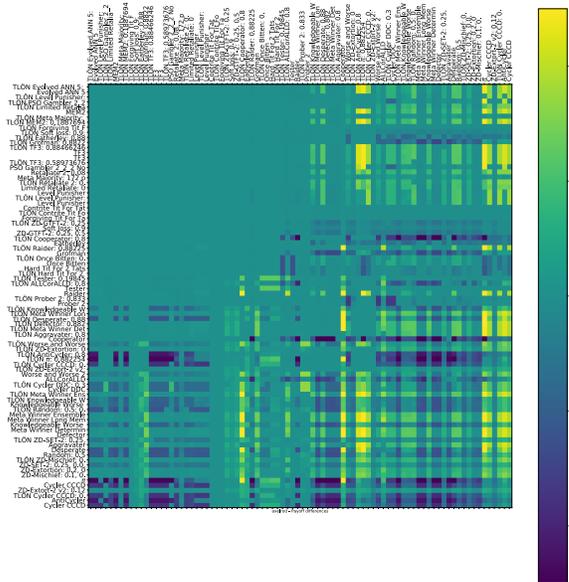
a partir de la aplicación de la meta-estrategia coalicionista, es necesario también observar el comportamiento poblacional cuando el juego se repite hacia el infinito, a fin de probar la viabilidad de la solución en repetidas iteraciones. Mediante el análisis ecológico provisto en la herramienta utilizada es posible generar dicha observación simulando la evolución poblacional que seguiría el curso de cada torneo estudiado. Se ha logrado así observar cómo en un sistema puramente coalicionista las diversas poblaciones (representadas en cada estrategia usada) aumentan significativamente su probabilidad de supervivencia, hasta el punto de ceñirse con un ajuste mínimo a la distribución uniforme, es decir, todas las poblaciones subsisten cuando el tiempo tiende a infinito (Figura 4-15).

En el caso del torneo clásico (Figura 4-16) se observa cómo la estrategia dominante (que para el caso en estudio resultó siendo una estrategia de aprendizaje mediante una red neuronal artificial de 5 capas), logra en un ciclo de vida corto apropiarse de la ecología del sistema, haciendo al sistema en conjunto altamente vulnerable a sus debilidades, pues cualquier estrategia que lograrse derrotarle podrá fácilmente derrotar a toda la población y por ende, adueñarse del ecosistema, situación que resultará más compleja en el caso anterior donde se deberá ver enfrentada contra todas las diferentes estrategias que aún existan en el ecosistema y derrotarles una a una.

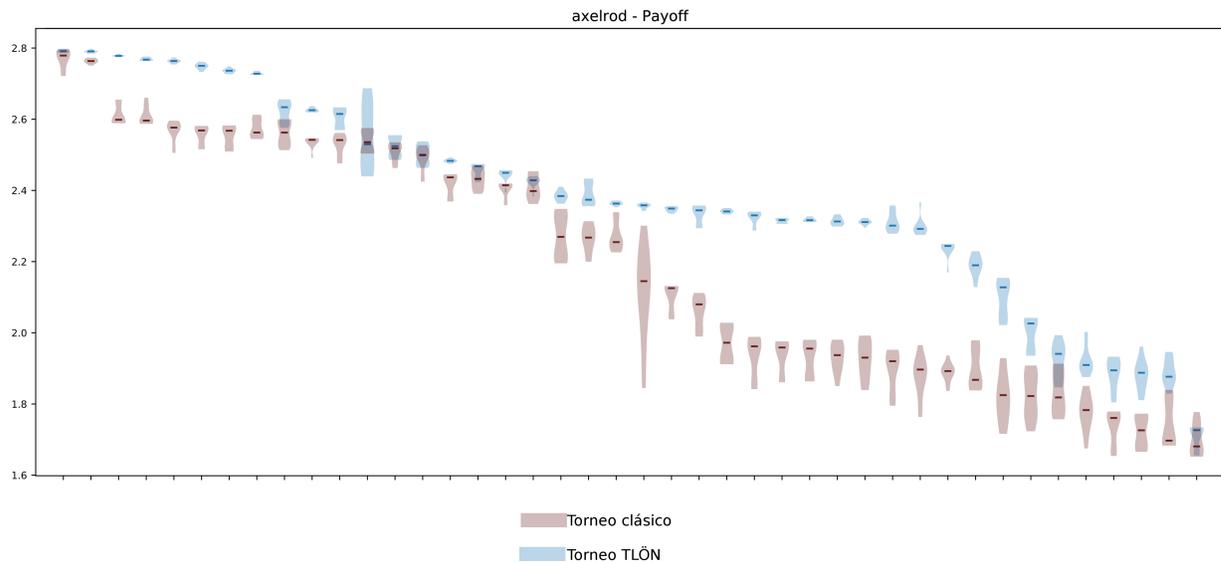


**Figura 4-10.:** Mapa de calor de las diferencias de pago en un torneo clásico de 40 jugadores. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

**Figura 4-11.:** Mapa de calor de las diferencias de pago en un torneo TLÖN de 40 jugadores. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

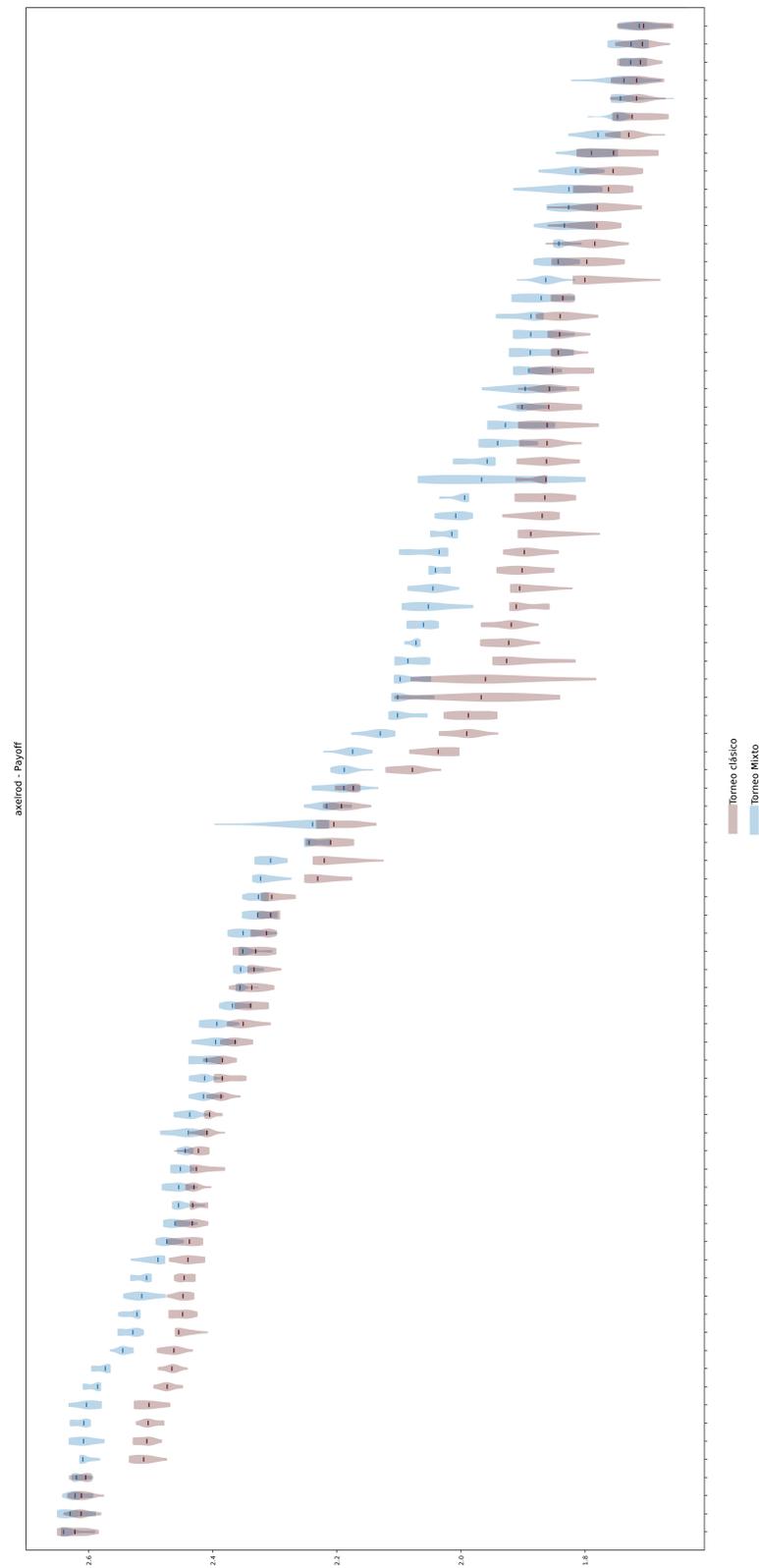


**Figura 4-12.:** Mapa de calor de las diferencias de pago en un torneo mixto de 40 jugadores individualistas y 40 jugadores sociales coalicionistas. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].



**Figura 4-13.:** Un torneo clásico frente a un torneo TLÓN coalicionista. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

Para el caso del torneo modelado forma mixta (Figura 4-17) se observa un comportamiento muy similar al torneo clásico, pues en su mayoría las estrategias que dominan en éste resultan siendo también las que dominan en el torneo clásico en términos de las dinámicas poblacionales, más si se observa con detalle, es posible advertir que las estrategias poco exitosas a nivel individual, logran esperanzas de vida superiores cuando se insertan en la lógica coalicionista. De hecho, cuando una estrategia individualmente exitosa se encapsula mediante la meta-estrategia coalicionista, ésta resulta siendo más exitosa que su análoga puramente individualista.



**Figura 4-14.:** Resultados de un torneo clásico de 80 jugadores racionales frente a un torneo mixto de 40 jugadores individualistas y 40 jugadores sociales coalicionistas. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

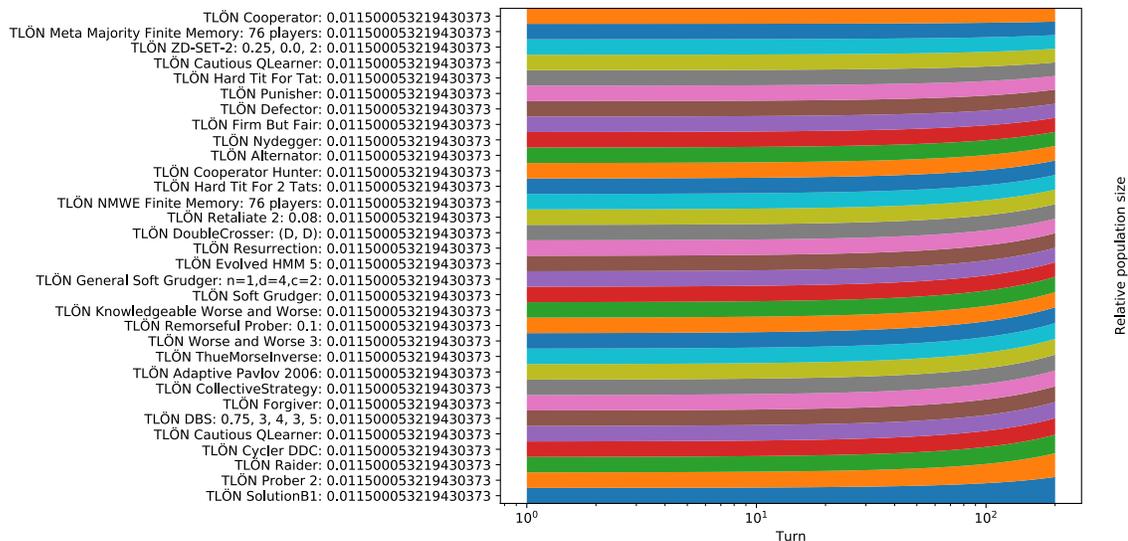


Figura 4-15.: Dinámica poblacional del torneo coalicionista TLÖN. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

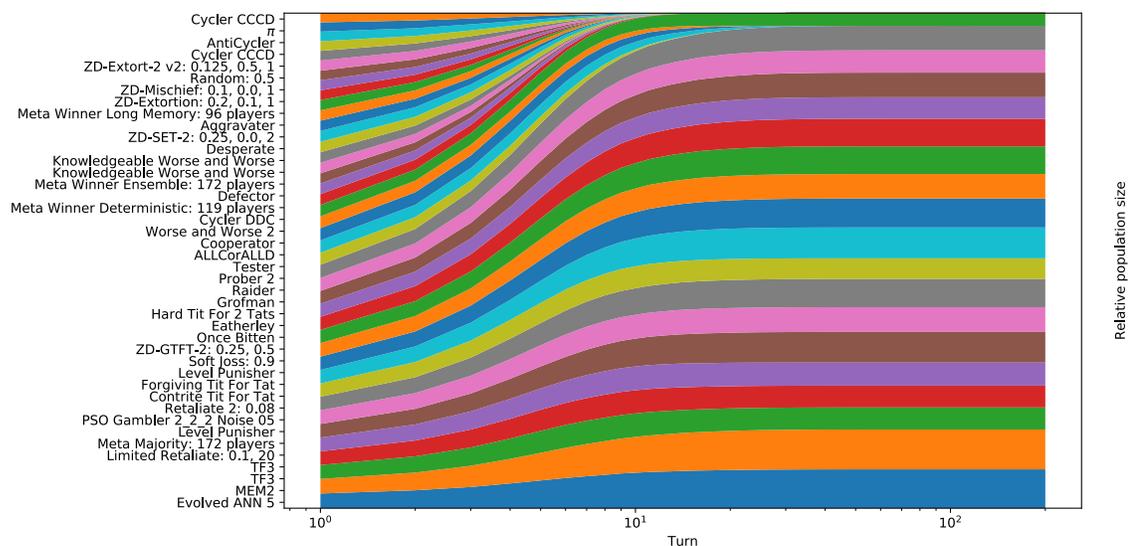


Figura 4-16.: Dinámica poblacional de un torneo clásico. Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].



# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1. Conclusiones

Cómo extensión a los resultados presentados, el presente trabajo investigativo, se ha preguntado por las implicaciones que tendrán las interferencias estocásticas en el comportamiento esperado. Para ello, se han realizado corridas experimentales variando algunas de las probabilidades de éxito en el desarrollo de los torneos, simulando así un ambiente ruidoso en el sistema TLÖN (Figuras 5-1,5-2,5-3 y 5-4) que representa el efecto de interferencias, fallas físicas en la comunicación de los nodos en la red, ataques informáticos o demás situaciones con correspondencias en el modelo social sobre el cual se ejecute el sistema multiagente. Tal como sucede en muchos sistemas actuales con los incumplimientos contractuales, las demoras, retrasos y sobrecostos de las cadenas logísticas, especialmente en las de suministro de alimentos perecederos, logística humanitaria y de atención prioritaria a desastres naturales, e incluso también de otra índole inmaterial como las redes de trabajo y creación de conocimiento colaborativo, redes internacionales de investigación académica, entre otros.

La cooperación puede emerger incluso en escenarios donde, a priori, cada uno de sus agentes negociadores implementa una estrategia no cooperativa. Así mismo, dicha emergencia no sólo facilita las labores grupales sino, además, abre algunas brechas para suponer nuevas perspectivas sobre la complejidad asociada al problema de la distribución, entendiendo que la negociación también puede ser inhibida cuando no hay un lugar explícito para ella [19]. Con este precepto, junto a los resultados obtenidos en el presente trabajo, es posible adentrarse al análisis axiomático de las instituciones que pueden conformar espacios de control distribuido con un menor costo computacional o de recursos.

Teniendo en cuenta que el tipo de decisiones modeladas aquí responden a una teoría de juegos que no es precisamente analítica, sino que busca su solución en el transcurrir de sucesivos torneos, los análisis que puedan resultar de los comportamiento observados es preciso realizarlos mediante una misma aproximación heurística de tal modo que puedan ser llevados a la aplicación en sistemas no computacionales, mediante herramientas con capacidades adaptativas y modelos flexibles de negociación y conformación. Esto es, un diálogo bidireccional entre los paradigmas sociales y los computacionales a través de herramientas de carácter interdisciplinar como la teoría de juegos en su sentido más general.

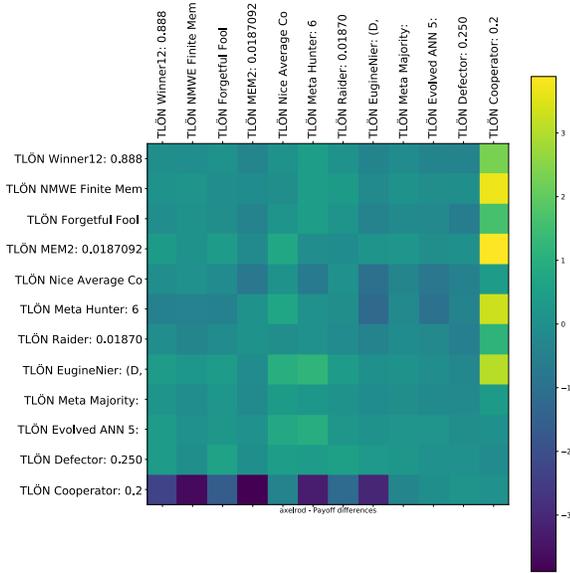


Figura 5-1.: Resultados de un torneo coalicionista con  $ruido = 0,1$ . Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

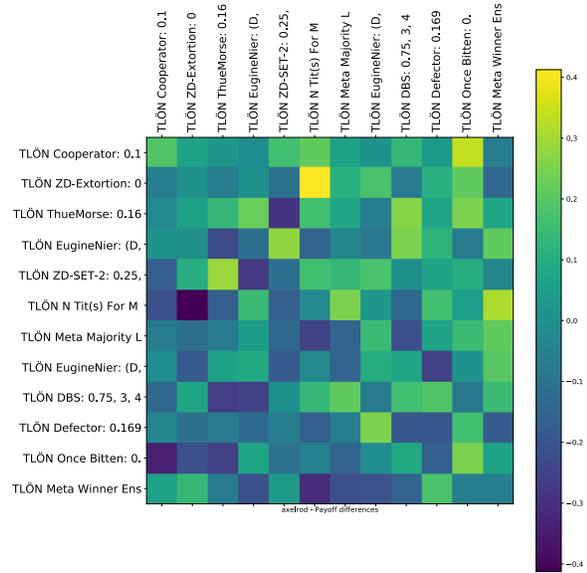


Figura 5-2.: Resultados de un torneo coalicionista con  $ruido = 0,3$ . Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

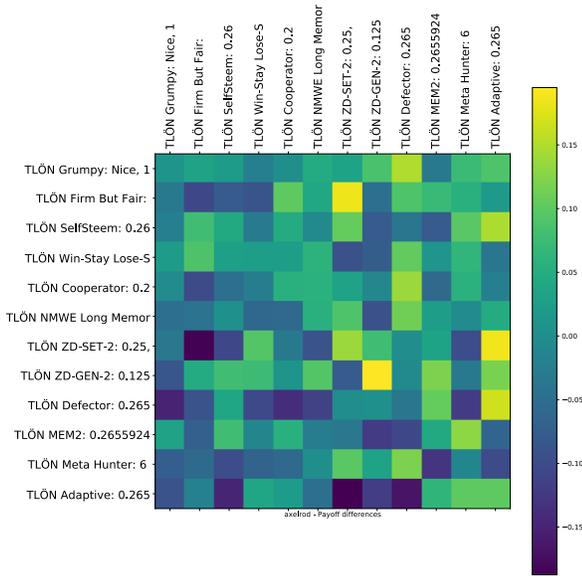


Figura 5-3.: Resultados de un torneo coalicionista con  $ruido = 0,5$ . Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

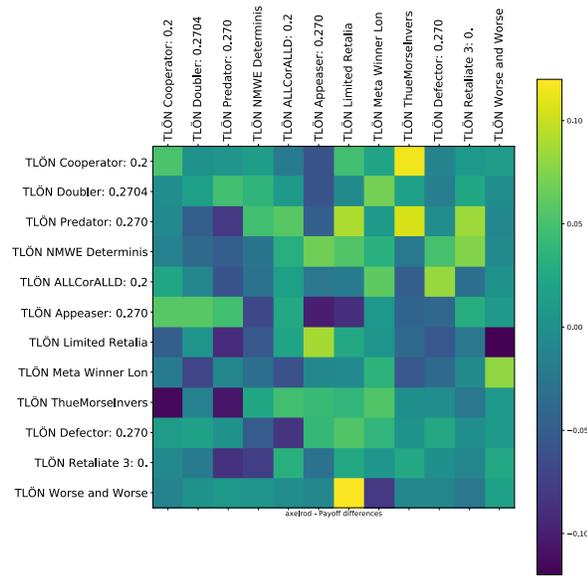


Figura 5-4.: Resultados de un torneo coalicionista con  $ruido = 0,9$ . Fuente: Elaboración propia mediante la librería Axelrod [35].

Más allá, dicha teoría de juegos debe apropiarse los conceptos aquí señalados en cuanto al sentido de las coaliciones, la confianza, la simpatía y el compromiso. A fin de modelar estos sistemas complejos como una alternativa metodológica a la presunta dualidad individualismo-colectivismo, llevándole a explorar conceptos y herramientas que entiendan la realidad individual en un entorno altamente permeado por la actividad social, esto es a lo que Ange-Marie Hancock [28] ha llamado un paradigma de investigación interseccional.

Así, el estudio sobre la estabilización y mantenimiento de una red aleatoria de interacciones puede ser llevado hacia una perspectiva evolutiva a través de procesos secuenciales con diferentes parámetros y, en consecuencia, permitir la coexistencia de sistemas con capacidades heterogéneas, promoviendo en ellos la emergencia de comportamientos complejos no contemplados hasta ahora en la ejecución de los juegos sociales y que representan espacios de alta complejidad para la computación social.

## 5.2. Recomendaciones

Se observa en la investigación, cómo en un ambiente que no puede ser controlado a priori, la cooperación se enfrenta a importantes dilemas a la hora de emerger. Sin embargo, los resultados obtenidos dan muestras de poder mejorar el desempeño global del sistema incluso en medio de escenarios mixtos no puramente coalicionistas. Para comprobar esto, se habrá de diseñar un escenario de pruebas en ambientes heterogéneos partiendo de la imposibilidad concreta de asumir la institución coalicionista como una entidad estática y marginal que no es afectada por el comportamiento individual de sus integrantes. Se abren, entonces, las brechas de la investigación al diseño de sistemas que tomen en cuenta y desarrollen una teoría sobre las limitaciones del conglomerado frente a la acción individual que ya de por sí es limitada.

Incluir los hallazgos y teorías desarrolladas en las ciencias sociales al interior de la investigación en las ciencias exactas, en general, y en las ciencias de la computación, particularmente, puede proveerles a los campos del conocimiento de un marco apreciativo que logre no sólo dar cuenta de la existencia fáctica de los sistemas, sino también, permita comprobar su esencia y sentido al interior de un grupo social. Dar un sentido espinosista a la investigación científica en las telecomunicaciones será, entonces, atribuir a los sistemas de cómputo de próximas generaciones, la capacidad de tener objetivos, en sí, para sí y también para la sociedad (Figura 5-5).

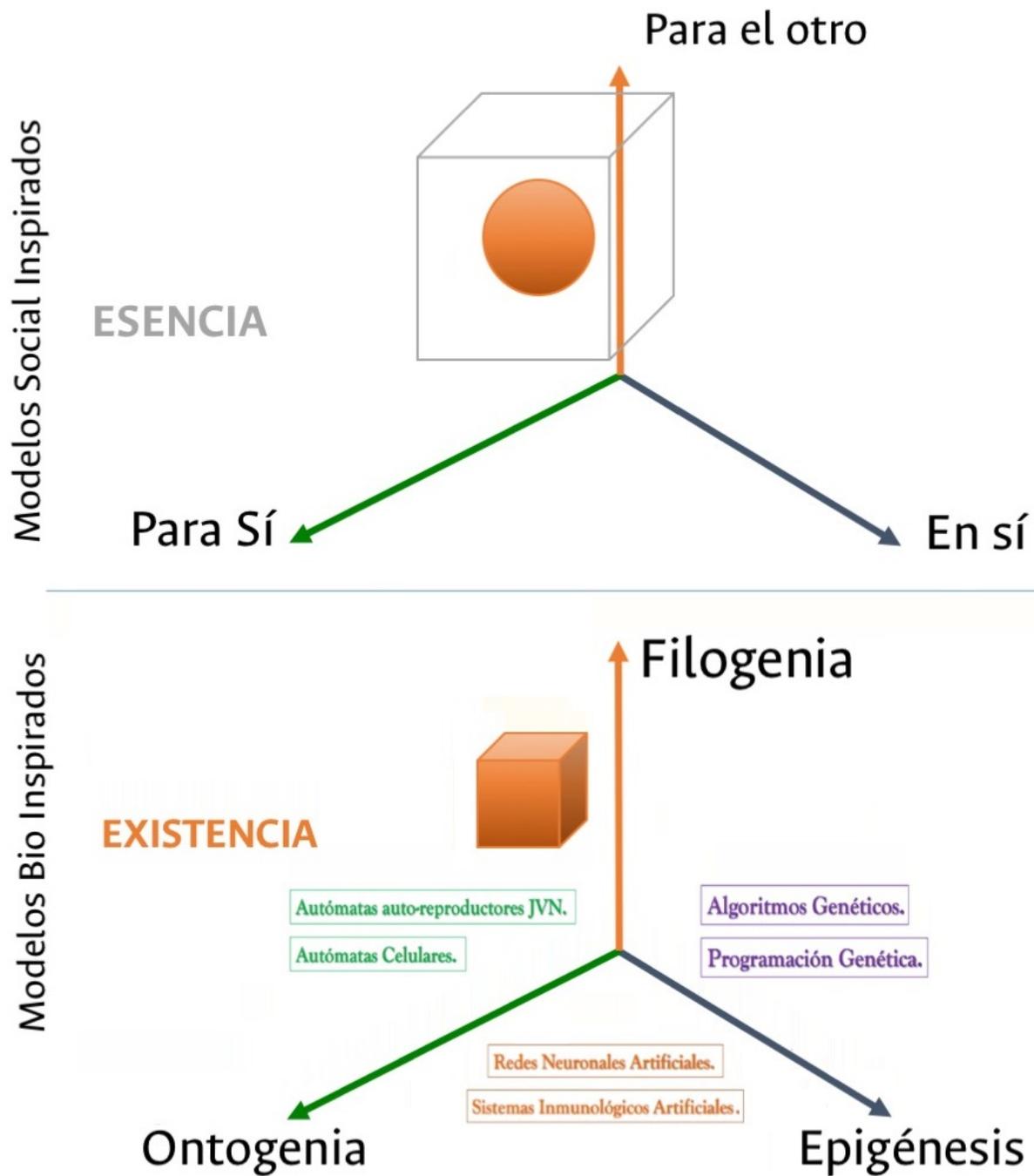


Figura 5-5.: La social inspiración como paradigma computacional. Fuente: Grupo de investigación TLÓN [53]

# A. Anexo: Resultados detallados de los torneos

Tabla A-1.: Resultados detallados de un torneo clásico de 40 agentes

| Rank | Name                                   | $\bar{x}$ Score | Coop_rate    | Wins |
|------|--|-----------------|--------------|------|
| 0    | Defector                               | 3,2088075881    | 0            | 34,5 |
| 1    | Better and Better                      | 3,1535364365    | 0,0040983607 | 35   |
| 2    | Defector                               | 3,1005244078    | 0            | 35   |
| 3    | SolutionB1                             | 3,0521922184    | 0,4246176256 | 22,5 |
| 4    | Gradual Killer: (D, D, D, D, D, C, C)  | 3,0288908246    | 0,1335740072 | 30,5 |
| 5    | Cycler DC                              | 3,0006511104    | 0,4194653873 | 20,5 |
| 6    | Suspicious Tit For Tat                 | 2,9860421447    | 0,3902255639 | 20   |
| 7    | SolutionB1                             | 2,9793782945    | 0,4078041316 | 21   |
| 8    | Random: 0.5                            | 2,7987131771    | 0,4989200864 | 17   |
| 9    | AntiCycler                             | 2,7052119628    | 0,5273356401 | 16,5 |
| 10   | ZD-Mischief: 0.1, 0.0, 1               | 2,5888840496    | 0,6744696416 | 10,5 |
| 11   | Nydegger                               | 2,5804781262    | 0,8834561286 | 1,5  |
| 12   | NMWE Deterministic: 119 players        | 2,5782229965    | 0,827510917  | 2    |
| 13   | Dynamic Two Tits For Tat               | 2,5759678668    | 0,8486799742 | 1    |
| 14   | NMWE Stochastic: 53 players            | 2,5660107169    | 0,8231660232 | 1,5  |
| 15   | EvolvedLookerUp1.1.1                   | 2,5649438637    | 0,8513313609 | 1    |
| 16   | Michaelos: (D,)                        | 2,5617547426    | 0,8482142857 | 1    |
| 17   | Hard Tit For Tat                       | 2,5576655052    | 0,8125937031 | 2    |
| 18   | EvolvedLookerUp1.1.1                   | 2,5565766551    | 0,8440899202 | 1    |
| 19   | Adaptive Pavlov 2006                   | 2,5507800127    | 0,8394528438 | 0    |
| 20   | Contrite Tit For Tat                   | 2,5506194348    | 0,8705148206 | 0    |
| 21   | Nice Meta Winner Ensemble: 172 players | 2,5469657375    | 0,8328424153 | 2    |
| 22   | General Soft Grudger: n=1,d=4,c=2      | 2,5462543554    | 0,8267716535 | 2    |
| 23   | Nydegger                               | 2,5455416535    | 0,8850493653 | 2    |
| 24   | Nice Meta Winner Ensemble: 172 players | 2,5452001251    | 0,838781575  | 1    |
| 25   | Meta Majority: 172 players             | 2,5362804878    | 0,8773919206 | 0    |
| 26   | Shubik                                 | 2,5290360047    | 0,8658623137 | 0,5  |
| 27   | Tideman and Chieruzzi                  | 2,5224902793    | 0,8434163701 | 1    |

---

|    |                                |                     |                     |               |
|----|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| 28 | NMWE Finite Memory: 76 players | 2,5200410817        | 0,8185053381        | 2             |
| 29 | Soft Joss: 0.9                 | 2,516736837         | 0,9004771643        | 0             |
| 30 | Evolved FSM 16 Noise 05        | 2,5118757259        | 0,8505477308        | 0             |
| 31 | Once Bitten                    | 2,5096205962        | 0,9035792549        | 0             |
| 32 | Fool Me Once                   | 2,4999181713        | 0,8730375427        | 1             |
| 33 | Hard Tit For 2 Tats            | 2,4957501848        | 0,921875            | 0             |
| 34 | NMWE Memory One: 34 players    | 2,4903455285        | 0,8628215121        | 1             |
| 35 | Cycler CCD                     | 2,4606338783        | 0,7812030075        | 9             |
| 36 | MoreGrofman                    | 2,4583042973        | 0,9323308271        | 0             |
| 37 | Cautious QLearner              | 2,4402463221        | 0,9567854435        | 2             |
| 38 | Math Constant Hunter           | 2,4359756098        | 0,9881862404        | 0             |
| 39 | Knowledgeable Worse and Worse  | 2,431329849         | 1                   | 0             |
| 40 | Cooperator                     | 2,4282520325        | 1                   | 0             |
| 41 | Worse and Worse                | 2,4158536585        | 0,996353027         | 0             |
|    | <b>Promedio</b>                | <b>2,6341072512</b> | <b>0,7306032887</b> | <b>7,0833</b> |

**Tabla A-2:** Resultados detallados de un torneo coalicionista de 40 agentes

| Rank | Name  | $\bar{x}$ Score | Coop_rate    | Wins |
|------|---|-----------------|--------------|------|
| 0    | TLÖN SolutionB1: 0.8822549224721588                             | 3,758459156     | 0,7733711048 | 32   |
| 1    | TLÖN Better and Better: 0.8822549224721588                      | 3,7190960124    | 0,7730600293 | 31   |
| 2    | TLÖN Cyclor DC: 0.8822549224721588                              | 3,6436695418    | 0,7913561848 | 28   |
| 3    | TLÖN Gradual Killer: (D, D, D, D, C, C): 0.8822549224721588     | 3,2385694928    | 0,8972853999 | 14   |
| 4    | TLÖN Random: 0.5: 0.8822549224721588                            | 3,1353658537    | 0,9416107383 | 9    |
| 5    | TLÖN SolutionB1: 0.8822549224721588                             | 3,1227457502    | 0,9136577708 | 11   |
| 6    | TLÖN Defector: 0.8822549224721588                               | 3,0125407452    | 0,9425287356 | 8    |
| 7    | TLÖN Cyclor CCD: 0.8822549224721588                             | 3               | 1            | 0    |
| 8    | TLÖN Tideman and Chieruzzi: 0.8822549224721588                  | 3               | 1            | 0    |
| 9    | TLÖN ZD-Mischief: 0.1, 0.0, 1: 0.8822549224721588               | 3               | 1            | 0    |
| 10   | TLÖN MoreGrofman: 0.8822549224721588                            | 3               | 1            | 0    |
| 11   | TLÖN Shubik: 0.8822549224721588                                 | 3               | 1            | 0    |
| 12   | TLÖN Fool Me Once: 0.8822549224721588                           | 3               | 1            | 0    |
| 13   | TLÖN NMWE Deterministic: 119 players: 0.8822549224721588        | 3               | 1            | 0    |
| 14   | TLÖN Evolved FSM 16 Noise 05: 0.8822549224721588                | 3               | 1            | 0    |
| 15   | TLÖN Math Constant Hunter: 0.8822549224721588                   | 3               | 1            | 0    |
| 16   | TLÖN Cautious QLearner: 0.8822549224721588                      | 2,9731707317    | 0,988700565  | 1,5  |
| 17   | TLÖN Adaptive Pavlov 2006: 0.8822549224721588                   | 2,9163763066    | 1            | 0    |
| 18   | TLÖN General Soft Grudger: n=1,d=4,c=2: 0.8822549224721588      | 2,9054878049    | 1            | 0    |
| 19   | TLÖN Meta Majority: 172 players: 0.8822549224721588             | 2,9023954704    | 1            | 0    |
| 20   | TLÖN Nice Meta Winner Ensemble: 172 players: 0.8822549224721588 | 2,9018945993    | 1            | 0    |
| 21   | TLÖN Knowledgeable Worse and Worse: 0.8822549224721588          | 2,8917682927    | 1            | 0    |
| 22   | TLÖN EvolvedLookerUp1.1.1: 0.8822549224721588                   | 2,8911149826    | 1            | 0    |
| 23   | TLÖN Suspicious Tit For Tat: 0.8822549224721588                 | 2,8897502904    | 0,9707602339 | 4    |
| 24   | TLÖN Nydegger: 0.8822549224721588                               | 2,8798780488    | 1            | 0    |
| 25   | TLÖN Nydegger: 0.8822549224721588                               | 2,8780487805    | 1            | 0    |
| 26   | TLÖN Michaelos: (D,): 0.8822549224721588                        | 2,8780487805    | 1            | 0    |

|    |   |                     |                     |              |
|----|---|---------------------|---------------------|--------------|
| 27 | TLÖN Soft Joss: 0.9: 0.8822549224721588                         | 2,8719512195        | 1                   | 0            |
| 28 | TLÖN EvolvedLockerUp1_1.1: 0.8822549224721588                   | 2,8658536585        | 1                   | 0            |
| 29 | TLÖN Dynamic Two Tits For Tat: 0.8822549224721588               | 2,8655764967        | 1                   | 0            |
| 30 | TLÖN Hard Tit For 2 Tats: 0.8822549224721588                    | 2,8356003752        | 1                   | 0            |
| 31 | TLÖN AntiCycler: 0.8822549224721588                             | 2,8301393728        | 1                   | 0            |
| 32 | TLÖN Worse and Worse: 0.8822549224721588                        | 2,8292682927        | 1                   | 0            |
| 33 | TLÖN Hard Tit For Tat: 0.8822549224721588                       | 2,7843495935        | 1                   | 0            |
| 34 | TLÖN NMWE Finite Memory: 76 players: 0.8822549224721588         | 2,781402439         | 1                   | 0            |
| 35 | TLÖN Contrite Tit For Tat: 0.8822549224721588                   | 2,7801393728        | 1                   | 0            |
| 36 | TLÖN Defector: 0.8822549224721588                               | 2,7610213973        | 0,9932840833        | 1            |
| 37 | TLÖN Once Bitten: 0.8822549224721588                            | 2,7403600465        | 1                   | 0            |
| 38 | TLÖN NMWE Memory One: 34 players: 0.8822549224721588            | 2,7283536585        | 1                   | 0            |
| 39 | TLÖN Nice Meta Winner Ensemble: 172 players: 0.8822549224721588 | 2,7118902439        | 1                   | 0            |
| 40 | TLÖN NMWE Stochastic: 53 players: 0.8822549224721588            | 2,6835365854        | 1                   | 0            |
| 41 | TLÖN Cooperator: 0.8822549224721588                             | 2,6359162179        | 1                   | 0            |
|    | <b>Promedio</b>   | <b>2,9581842764</b> | <b>0,9758479725</b> | <b>3,322</b> |

| Rank | Name  | $\bar{x}$ Score | Coop_rate    | Wins |
|------|---|-----------------|--------------|------|
| 0    | TLÖN Better and Better: 0.8822549224721588                  | 3,4433878371    | 0,3917757009 | 65,5 |
| 1    | TLÖN SolutionB1: 0.8822549224721588                         | 3,2789249238    | 0,5813285458 | 52   |
| 2    | TLÖN Cyclor DC: 0.8822549224721588                          | 3,2146265381    | 0,6092715232 | 48   |
| 3    | Defector  | 3,200412907     | 0            | 70   |
| 4    | Gradual Killer: (D, D, D, D, D, C, C)                       | 3,1574846506    | 0,110696981  | 62,5 |
| 5    | Better and Better   | 3,1409983827    | 0,0025188917 | 70   |
| 6    | TLÖN Gradual Killer: (D, D, D, D, C, C): 0.8822549224721588 | 3,1348250143    | 0,4943342776 | 44,5 |
| 7    | Defector  | 3,0484874563    | 0            | 69   |
| 8    | TLÖN SolutionB1: 0.8822549224721588                         | 3,0177767346    | 0,6477272727 | 32   |
| 9    | TLÖN Defector: 0.8822549224721588                           | 3,0004676149    | 0,4686514886 | 43   |
| 10   | SolutionB1  | 2,994503338     | 0,4130046445 | 44   |
| 11   | Suspicious Tit For Tat                                      | 2,9940093708    | 0,3704883227 | 43,5 |
| 12   | SolutionB1  | 2,9522437151    | 0,4125624554 | 42,5 |
| 13   | TLÖN Defector: 0.8822549224721588                           | 2,943043603     | 0,4983290011 | 35,5 |
| 14   | Cyclor DC   | 2,9179916636    | 0,4144237405 | 41   |
| 15   | TLÖN Random: 0.5: 0.8822549224721588                        | 2,913149451     | 0,706438705  | 24,5 |
| 16   | TLÖN Suspicious Tit For Tat: 0.8822549224721588             | 2,9087385255    | 0,6307748272 | 25,5 |
| 17   | TLÖN Shubik: 0.8822549224721588                             | 2,7919391853    | 0,9248997448 | 0    |
| 18   | Random: 0.5   | 2,787458726     | 0,510516934  | 35   |
| 19   | TLÖN Fool Me Once: 0.8822549224721588                       | 2,7765490534    | 0,9414721724 | 1    |
| 20   | TLÖN Tideman and Chieruzzi: 0.8822549224721588              | 2,7756741251    | 0,9278499278 | 2    |
| 21   | TLÖN NMWE Deterministic: 119 players: 0.8822549224721588    | 2,7674459744    | 0,9136664217 | 2    |
| 22   | TLÖN AntiCyclor: 0.8822549224721588                         | 2,7595407604    | 0,7853422619 | 17,5 |
| 23   | TLÖN Evolved FSM 16 Noise 05: 0.8822549224721588            | 2,7594090648    | 0,9319240416 | 1    |
| 24   | TLÖN Michaelos: (D,): 0.8822549224721588                    | 2,748178428     | 0,9186046512 | 1    |
| 25   | TLÖN Adaptive Pavlov 2006: 0.8822549224721588               | 2,7452309237    | 0,9311206281 | 0,5  |
| 26   | TLÖN ZD-Mischief: 0.1, 0.0, 1: 0.8822549224721588           | 2,744874737     | 0,8086090359 | 12,5 |

|    |   |              |              |      |
|----|---|--------------|--------------|------|
| 27 | TLÖN MoreGrofman: 0.8822549224721588                            | 2,7411072863 | 0,9581114661 | 0    |
| 28 | TLÖN Meta Majority: 172 players: 0.8822549224721588             | 2,7403356015 | 0,9492455418 | 0    |
| 29 | TLÖN Cycler CCD: 0.8822549224721588                             | 2,7398939916 | 0,8763422238 | 8,5  |
| 30 | TLÖN Nice Meta Winner Ensemble: 172 players: 0.8822549224721588 | 2,7373580904 | 0,9104312569 | 2    |
| 31 | TLÖN General Soft Grudger: n=1,d=4,c=2: 0.8822549224721588      | 2,7359029525 | 0,9215547703 | 2,5  |
| 32 | TLÖN Math Constant Hunter: 0.8822549224721588                   | 2,722613832  | 0,9981711778 | 0    |
| 33 | AntiCycler  | 2,7215966808 | 0,5366029571 | 36,5 |
| 34 | TLÖN EvolvedLookerUp1_1_1: 0.8822549224721588                   | 2,7150387263 | 0,940380395  | 1    |
| 35 | TLÖN Soft Joss: 0.9: 0.8822549224721588                         | 2,7148196516 | 0,9413793103 | 0    |
| 36 | TLÖN EvolvedLookerUp1_1_1: 0.8822549224721588                   | 2,7113955823 | 0,9279484262 | 0,5  |
| 37 | TLÖN Nydegger: 0.8822549224721588                               | 2,7103622281 | 0,9437869822 | 1,5  |
| 38 | TLÖN Hard Tit For Tat: 0.8822549224721588                       | 2,7040447504 | 0,9298758218 | 2    |
| 39 | TLÖN Dynamic Two Tits For Tat: 0.8822549224721588               | 2,7014677759 | 0,9331926864 | 0,5  |
| 40 | TLÖN Cautious QLearner: 0.8822549224721588                      | 2,690968956  | 0,9711324944 | 3    |
| 41 | TLÖN Hard Tit For 2 Tats: 0.8822549224721588                    | 2,6882601836 | 0,9688618468 | 0    |
| 42 | TLÖN Nydegger: 0.8822549224721588                               | 2,6870768789 | 0,9496482784 | 1    |
| 43 | TLÖN Contribute Tit For Tat: 0.8822549224721588                 | 2,6682120423 | 0,9314369074 | 0    |
| 44 | TLÖN Knowledgeable Worse and Worse: 0.8822549224721588          | 2,6647160069 | 1            | 0    |
| 45 | TLÖN NMWE Finite Memory: 76 players: 0.8822549224721588         | 2,6594664372 | 0,9186003683 | 1    |
| 46 | TLÖN Nice Meta Winner Ensemble: 172 players: 0.8822549224721588 | 2,638741329  | 0,9114326041 | 2    |
| 47 | TLÖN NMWE Memory One: 34 players: 0.8822549224721588            | 2,631621725  | 0,9151969981 | 1,5  |
| 48 | TLÖN Once Bitten: 0.8822549224721588                            | 2,6272805508 | 0,966714388  | 0,5  |
| 49 | TLÖN Worse and Worse: 0.8822549224721588                        | 2,6133279455 | 0,9975221239 | 0    |
| 50 | TLÖN NMWE Stochastic: 53 players: 0.8822549224721588            | 2,6039300057 | 0,9258982036 | 2    |
| 51 | NMWE Finite Memory: 76 players                                  | 2,6032167632 | 0,7846754168 | 4,5  |
| 52 | NMWE Stochastic: 53 players                                     | 2,593689092  | 0,8297405919 | 3,5  |
| 53 | Hard Tit For Tat  | 2,5849875693 | 0,8259668508 | 4,5  |
| 54 | Nice Meta Winner Ensemble: 172 players                          | 2,5828004659 | 0,8223259153 | 3,5  |
| 55 | General Soft Grudger: n=1,d=4,c=2                               | 2,5759615385 | 0,8466539197 | 3,5  |

|    |  |              |               |      |
|----|--|--------------|---------------|------|
| 56 | Michaelos: (D,)                        | 2,5752796902 | 0,82933991416 | 2    |
| 57 | ZD-Mischief: 0.1, 0.0, 1               | 2,5750647278 | 0,6828913912  | 20,5 |
| 58 | NMWE Deterministic: 119 players        | 2,5709635077 | 0,8277956413  | 4    |
| 59 | NMWE Memory One: 34 players            | 2,5673805612 | 0,796875      | 4    |
| 60 | Contrite Tit For Tat                   | 2,5665925607 | 0,8643820634  | 0    |
| 61 | Nice Meta Winner Ensemble: 172 players | 2,5567125645 | 0,8210216832  | 3,5  |
| 62 | EvolvedLookerUp1.1.1                   | 2,5550533469 | 0,8521989906  | 2    |
| 63 | Tideman and Chieruzzi                  | 2,5452880787 | 0,843874232   | 3    |
| 64 | Soft Joss: 0.9                         | 2,5440684817 | 0,8850036049  | 0    |
| 65 | Cycler CCD                             | 2,539871825  | 0,783033033   | 17,5 |
| 66 | TLÖN Cooperator: 0.8822549224721588    | 2,5367971888 | 1             | 0    |
| 67 | Adaptive Pavlov 2006                   | 2,5364625167 | 0,8674698795  | 1    |
| 68 | Meta Majority: 172 players             | 2,5339631252 | 0,8893939394  | 0    |
| 69 | Shubik                                 | 2,5338927137 | 0,8704587156  | 0    |
| 70 | EvolvedLookerUp1.1.1                   | 2,5311959961 | 0,8566384181  | 2    |
| 71 | Fool Me Once                           | 2,5297379996 | 0,881104034   | 2    |
| 72 | Evolved FSM 16 Noise 05                | 2,5293584595 | 0,842143114   | 2    |
| 73 | Nydegger                               | 2,5276917193 | 0,8939117754  | 2    |
| 74 | Dynamic Two Tits For Tat               | 2,5269363167 | 0,8714652956  | 1,5  |
| 75 | Nydegger                               | 2,5263554217 | 0,8757462687  | 3    |
| 76 | Once Bitten                            | 2,5112139032 | 0,9014135556  | 2    |
| 77 | Hard Tit For 2 Tats                    | 2,4980823728 | 0,9419284149  | 0    |
| 78 | Cautious QLearner                      | 2,4890849111 | 0,9445636624  | 5    |
| 79 | MoreGrofman                            | 2,4826305221 | 0,9199101796  | 0    |
| 80 | Math Constant Hunter                   | 2,4511259323 | 0,9933216169  | 0    |
| 81 | Cooperator                             | 2,437887815  | 1             | 0    |
| 82 | Knowledgeable Worse and Worse          | 2,4271175612 | 1             | 0    |
| 83 | Worse and Worse                        | 2,415639481  | 0,9978556112  | 0    |

|                                   |                     |                     |               |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| <b>Promedio General</b>           | <b>2,7148692458</b> | <b>0,7906304927</b> | <b>12,476</b> |
| <b>Promedio TLÖN</b>              | <b>2,7882981479</b> | <b>0,8523567738</b> | <b>10,416</b> |
| <b>Promedio No Coalicionistas</b> | <b>2,6414403436</b> | <b>0,7289042115</b> | <b>14,535</b> |

# Bibliografía

- [1] ABDALZAHER, Mohamed S. ; SEDDIK, Karim ; ELSABROUTY, Maha ; MUTA, Osamu ; FURUKAWA, Hiroshi ; ABDEL-RAHMAN, Adel: Game Theory Meets Wireless Sensor Networks Security Requirements and Threats Mitigation: A Survey. En: *Sensors* 16 (2016), Nr. 7. – ISSN 1424–8220
- [2] ADAMS, W.J. ; DAVIS IV, N.J.: Toward a decentralized trust-based access control system for dynamic collaboration. En: *Proceedings from the 6th Annual IEEE System, Man and Cybernetics Information Assurance Workshop, SMC 2005* Vol. 2005, 2005, p. 317–324
- [3] ANTONIO VILLALPANDO ACUÑA: *Individualismo metodológico y teoría de juegos*. Mexico, UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA, Tesis de Grado, Dezember 2010
- [4] ARROW, Kenneth J.: Methodological individualism and social knowledge. En: *The American Economic Review* 84 (1994), Nr. 2, p. 1–9
- [5] BEER, S.: *Brain of the Firm: The Managerial Cybernetics of Organization*. Allen L'Foolsane the Penguin Press, 1972. – ISBN 9780713902198
- [6] BENTHAM, J.: *The rationale of reward*. Published by John and H. L. Hunt, 1825
- [7] BENTHAM, J.: *The Rationale of Punishment*. 1830
- [8] BISEN, D. ; SHARMA, S.: An enhanced performance through agent-based secure approach for mobile ad hoc networks. En: *International Journal of Electronics* 105 (2018), Nr. 1, p. 116–136. – cited By 0
- [9] BRINTON, Mary C. ; NEE, Victor: *The new institutionalism in sociology*. Russell Sage Foundation, 1998
- [10] BUCHEGGER, S. ; LE BOUDEC, J.-Y.: Performance analysis of the CONFIDANT protocol (Cooperation of nodes: Fairness in dynamic ad-hoc networks). En: *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*, 2002, p. 226–236

- 
- [11] CASTELFRANCHI, C.: Modelling social action for AI agents. En: *Artificial Intelligence* 103 (1998), Nr. 1-2, p. 157–182. – cited By 274
- [12] CHARILAS, D.E. ; GEORGILAKIS, K.D. ; PANAGOPOULOS, A.D.: ICARUS: Hybrid incentive mechanism for cooperation stimulation in ad hoc networks. En: *Ad Hoc Networks* 10 (2012), Nr. 6, p. 976–989
- [13] CHARTIER, Roger: El proceso civilizatorio. Elias, Gracian, Amelot. En: *Co-herencia* 11 (2014), 12, p. 13 – 24. – ISSN 1794–5887
- [14] CHASPARIS, G.C. ; SHAMMA, J.S.: Network formation: Neighborhood structures, establishment costs, and distributed learning. En: *IEEE Transactions on Cybernetics* 43 (2013), Nr. 6, p. 1950–1962. – cited By 5
- [15] CHEN, Q. ; SU, K. ; HU, Y. ; HU, G.: A complete coalition logic of temporal knowledge for multi-agent systems. En: *Frontiers of Computer Science* 9 (2015), Nr. 1, p. 75–86
- [16] CHEN, X. ; PROULX, B. ; GONG, X. ; ZHANG, J.: Social trust and social reciprocity based cooperative D2D communications. En: *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*, 2013, p. 187–196
- [17] CHEN, X. ; PROULX, B. ; GONG, X. ; ZHANG, J.: Exploiting social ties for cooperative D2D communications: A mobile social networking case. En: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 23 (2015), Nr. 5, p. 1471–1484
- [18] DEHNIE, S. ; MEMON, N.: Modeling misbehavior in cooperative diversity: A dynamic game approach. En: *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing* 2009 (2009). – cited By 6
- [19] DILLENBOURG, Pierre ; BAKER, Michael J. ; BLAYE, Agnes ; O’MALLEY, Claire. *The evolution of research on collaborative learning*. 1995
- [20] DOWLING, J. ; CURRAN, E. ; CUNNINGHAM, R. ; CAHILL, V.: Using feedback in collaborative reinforcement learning to adaptively optimize MANET routing. En: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*. 35 (2005), Nr. 3, p. 360–372. – cited By 82
- [21] DR. JOSÉ PÉREZ RÍOS: *LAUDATIO*. Investidura del profesor Dr. Stafford Beer como “Doctor Honoris Causa” por la universidad de Valladolid, Oktober 2001
- [22] ELIAS, Norbert: *El proceso de la civilización: investigaciones sociogenéticas y psicogenéticas*. Fondo de Cultura Económica, 2015

- [23] FODOR, G. ; DAHLMAN, E. ; MILDH, G. ; PARKVALL, S. ; REIDER, N. ; MIKLÓS, G. ; TURÁNYI, Z.: Design aspects of network assisted device-to-device communications. En: *IEEE Communications Magazine* 50 (2012), Nr. 3, p. 170–177
- [24] GILLIES, Donald B.: *Some theorems on n-person games*, Princeton University, Tesis de Grado, 1953
- [25] GRIMALDI, R.P.: *Discrete and Combinatorial Mathematics, 5/e*. Pearson Education, 2006. – ISBN 9788177584240
- [26] GROSSI, Davide ; TURRINI, Paolo: Dependence in games and dependence games. En: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 25 (2012), Nr. 2, p. 284–312
- [27] HALES, D.: From selfish nodes to cooperative networks - Emergent link-based incentives in peer-to-peer networks. En: *Proceedings - 4th International Conference on Peer-to-Peer Computing, P2P2004*, 2004, p. 151–158
- [28] HANCOCK, Ange-Marie: When Multiplication Doesn't Equal Quick Addition: Examining Intersectionality as a Research Paradigm. En: *Perspectives on Politics* 5 (2007), Nr. 1, p. 63–79
- [29] HERNÁNDEZ, Ovidio S.: *Autonomía integradora y transformación social: el desafío ético emancipatorio de la complejidad*. Publicaciones Acuario, Centro Félix Varela, Editorial Linotipio Bolivar, 2005
- [30] HOEY, J. ; SCHRÖDER, T.: Bayesian affect control theory of self, 2015. – cited By 4, p. 529–536
- [31] HUNTER, J. D.: Matplotlib: A 2D graphics environment. En: *Computing In Science & Engineering* 9 (2007), Nr. 3, p. 90–95
- [32] JARAMILLO, J.J. ; SRIKANT, R.: A game theory based reputation mechanism to incentivize cooperation in wireless ad hoc networks. En: *Ad Hoc Networks* 8 (2010), Nr. 4, p. 416–429
- [33] JUAN-CARLOS CANO ; CARLOS T. CALAFATE ; MANUEL P. MALUMBRES ; PIETRO MANZONI: Redes Inalámbricas Ad Hoc como Tecnología de Soporte para la Computación Ubicua. En: *Universidad Politécnica de Valencia* (2011)
- [34] KIM, H. ; ANDERSON, R.: Temporal node centrality in complex networks. En: *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics* 85 (2012), Nr. 2. – cited By 77

- [35] KNIGHT, Vince ; CAMPBELL, Owen ; HARPER, Marc ; ERIC-S-S ; JANGA, VSN R. ; CAMPBELL, James ; LANGNER, Karol M. ; SINGH, Sourav ; NIKOLETA ; RYMER, Julie ; CAMPBELL, Thomas ; YOUNG, Jason ; MHAKEM ; PALMER, Geraint ; GLASS, Kristian ; EDOUARDARGENSON ; MANCIA, Daniel ; JONES, Martin ; DAVIDSON-PILON, Cameron ; ALAJARA ; DAS, Ranjini ; ZOULIAS, Marios ; KRATZ, Aaron ; STANDEN, Timothy ; SLAVIN, Paul ; POHL, Adam ; WONKYSPECS ; MÃ<sup>1</sup>/<sub>4</sub>LLER, Jochen ; KOUTSOVOULOS, Georgios ; AHMED, Areeb: *Axelrod-Python/Axelrod: v3.8.1*. 2017. – DOI: 10.5281/zenodo.1010143
- [36] KUHN, T.S.: *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, 1971 (Breviarios Series). – ISBN 9789681604431
- [37] LI, Z. ; SHEN, H.: Game-theoretic analysis of cooperation incentive strategies in mobile ad hoc networks. En: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 11 (2012), Nr. 8, p. 1287–1303
- [38] LIN, L. ; HUAI, J. ; ZHU, Y. ; HU, C. ; LI, X.: A multi-agents contractual approach to incentive provision in non-cooperative networks. En: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 5331 LNCS (2008), Nr. PART 1, p. 231–248. – cited By 0
- [39] LUCE, R D. ; RAIFFA, Howard: *Games and decisions: Introduction and critical survey*. Courier Corporation, 2012
- [40] MAHMOUD, M.E.A. ; SHEN, X.S.: FESCIM: Fair, efficient, and secure cooperation incentive mechanism for multihop cellular networks. En: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 11 (2012), Nr. 5, p. 753–766
- [41] MALESZKA, M. ; NGUYEN, N.T.: Integration computing and collective intelligence. En: *Expert Systems with Applications* 42 (2015), Nr. 1, p. 332–340. – cited By 11
- [42] MALONE, Thomas W. ; CROWSTON, Kevin: The interdisciplinary study of coordination. En: *ACM Computing Surveys (CSUR)* 26 (1994), Nr. 1, p. 91
- [43] MARIANI, S. ; OMICINI, A.: Coordinating activities and change: An event-driven architecture for situated MAS. En: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 41 (2015), p. 298–309. – cited By 5
- [44] MARTI, Sergio ; GIULI, T.J. ; LAI, Kevin ; BAKER, Mary: Mitigating routing misbehavior in mobile ad hoc networks. En: *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, 2000, p. 255–265
- [45] MIKHAIL PROKOPENKO (ED.): *Advances in Applied Self-organizing Systems*. Springer, 2008. – ISBN 978-1-84628-981-1

- [46] MORIN, E. ; PAKMAN, M.: *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa, 1990
- [47] VON NEUMANN, J. ; MORGENSTERN, O.: *Theory of games and economic behavior*. 2007
- [48] OSPINA LÓPEZ, Juan P. ; ORTIZ TRIVIÑO, Jorge E.: Estimation of a growth factor to achieve scalable ad hoc networks. En: *Ingeniería y Universidad* 21 (2017), Nr. 1, p. 49–70
- [49] PAPADIMITRIOU, C.H.: Algorithms, games, and the internet, 2001. – cited By 599, p. 749–753
- [50] PAULY, Marc: A modal logic for coalitional power in games. En: *Journal of logic and computation* 12 (2002), Nr. 1, p. 149–166
- [51] PEDRAJAS, Marta: La transformación ética de la racionalidad económica en Amartya Sen. Una recuperación de Adam Smith. (2006)
- [52] PILDES, Richard H. ; ANDERSON, Elizabeth S.: Slingshot arrows at democracy: Social choice theory, value pluralism, and democratic politics. En: *Columbia Law Review* 90 (1990), Nr. 8, p. 2121–2214
- [53] EN REDES DE TELECOMUNICACIONES DINÁMICAS Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN DISTRIBUIDOS, TLÖN Grupo de I. *Proyecto TLÖN Modelo Social*
- [54] QUARTULLI, Antonio ; LÜSSING, Linus ; LINDNER, Marek ; HUNDEBOLL, Martin ; WUNDERLICH, Simon ; ECKELMANN, Sven. *Open-Mesh - batman-adv*
- [55] RAWLS, J.: *Teoría de la justicia*. Fondo de Cultura Económica, 1995 (Filosofía Series). – ISBN 978-968-16-4622-6
- [56] REN, S. ; DER SCHAAR, M.: Distributed power allocation in multi-user multi-channel cellular relay networks. En: *IEEE Transactions on Wireless Communications* 9 (2010), Nr. 6, p. 1952–1964. – cited By 46
- [57] SCOTT, John: Rational choice theory. En: *Understanding contemporary society: Theories of the present* 129 (2000)
- [58] SEN, A.: Rawls versus Bentham: An axiomatic examination of the pure distribution problem. En: *Theory and Decision* 4 (1974), Nr. 3-4, p. 301–309
- [59] SEN, A.: *Development as Freedom*. Oxford University Press, 1999 (Oxford India paperbacks). – ISBN 9780198297581
- [60] SEN, A. ; CONDE, A.: *Sobre ética y economía*. Alianza Editorial, 1999 (Alianza ensayo). – ISBN 9788420667355

- 
- [61] SEN, Amartya K.: Rational Fools: A Critique of the Behavioral Foundations of Economic Theory. En: *Philosophy and Public Affairs* 6 (1977), Nr. 4, p. 317–344. – ISSN 00483915
- [62] SEN, Amartya K.: Maximization and the act of choice. En: *Econometrica* 65 (1997), Nr. 4, p. 745–779. – ISSN 00129682
- [63] SERGIO MONSALVE: TEORÍA DE JUEGOS: ¿HACIA DÓNDE VAMOS? (60 AÑOS DESPUÉS DE VON NEUMANN Y MORGENSTERN). En: *Rev.econ.inst. [online]* 2 (2002), Nr. 7, p. 114–130. – ISSN 0124–5996
- [64] SERGIO MONSALVE: John Nash y la teoría de juegos. En: *Lecturas Matemáticas* 24 (2003), p. 137–149
- [65] SHAO, F. ; WU, C. ; WANG, L.-F.: Research on cross-layer congestion control strategy based on multi-agent reinforcement learning in Ad hoc network. En: *Dianzi Yu Xinxi Xuebao/Journal of Electronics and Information Technology* 32 (2010), Nr. 6, p. 1520–1524. – cited By 1
- [66] SHAPLEY, Lloyd S.: A value for n-person games. En: *Contributions to the Theory of Games* 2 (1953), Nr. 28, p. 307–317
- [67] SHARMA, Nitin ; DAS, Souryendu: Social fairness and channel loading effects in peer-to-peer connected networks. En: *Peer-to-Peer Networking and Applications* (2017), p. 1–12
- [68] SIMON, Herbert A.: *The New Science of Management Decision*. Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice Hall PTR, 1977. – ISBN 0–13–616136–7
- [69] SRINIVASAN, V. ; NUGGEHALLI, P. ; CHIASSERINI, C.F. ; RAO, R.R.: Cooperation in wireless ad hoc networks, 2003. – cited By 417, p. 808–817
- [70] UDEHN, Lars: The Changing Face of Methodological Individualism. En: *Annual Review of Sociology* 28 (2002), Nr. 1, p. 479–507
- [71] VARDI, Moshe Y.: Branching vs. linear time: Final showdown. En: *TACAS* Vol. 1 Springer, 2001, p. 1–22
- [72] WATKINS, John W.: Methodological individualism: A reply. En: *Philosophy of science* 22 (1955), Nr. 1, p. 58–62
- [73] WOOLDRIDGE, M. ; JENNINGS, N.R.: Intelligent agents: Theory and practice. En: *The Knowledge Engineering Review* 10 (1995), Nr. 2, p. 115–152. – cited By 3491
- [74] YU, W. ; LIU, K.J.R.: On optimal and cheat-proof packets forwarding strategies in autonomous ad hoc networks, 2007. – cited By 2, p. 1455–1460

- 
- [75] ZHANG, H. ; LI, J.: Modeling and dynamical topology properties of VANET based on complex networks theory. En: *AIP Advances* 5 (2015), Nr. 1. – cited By 6
- [76] ZHU, H. ; LIN, X. ; LU, R. ; FAN, Y. ; SHEN, X.: SMART: A secure multilayer credit-based incentive scheme for delay-tolerant networks. En: *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 58 (2009), Nr. 8, p. 4628–4639