



# **SISTEMAS DINÁMICOS ACOPLADOS: REPRESENTACIÓN DE REDES DE DEFENSA/ATAQUE EN DEPORTES DE COMPETICIÓN**

Victor Daniel Rivera Estacio

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

PAMPLONA, Agosto 01 de 2019

DGS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un  
nuevo país en paz*



# **SISTEMAS DINÁMICOS ACOPLADOS: REPRESENTACIÓN DE REDES DE DEFENSA/ATAQUE EN DEPORTES DE COMPETICIÓN**

Victor Daniel Rivera Estacio

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO DE SISTEMAS

Director:

Nelson Fernández Parada

Ph.D Ciencias Aplicadas

Codirector

Ing. Yesid Alexander Madrid Carrillo

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

PAMPLONA, Agosto 01 de 2019

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un  
nuevo país en paz*



## Dedicatoria

*A mi Familia, Papa, Mama y Hermanos.*

*Por y para ustedes todos mis logros.*





## Agradecimientos

Mis agradecimientos inician por mi papa Armando Rivera y a mi mama Noraima Estacio, los dos que han sido un ejemplo a seguir en todo el sentido de la palabra, a quienes admiro mucho por todos sus esfuerzos hechos. Ellos que con sus palabras de aliento que brindan fuerzas para seguir y superar cualquier obstáculo, quienes han dado sus vidas por ver a sus hijos crecer y siempre estarán para sus hijos sin importa las circunstancias ni el tiempo, a quienes amo y que por ellos es posible todo este proceso académico y profesional.

A mis tutores y amigos, Nelson Fernández y Yesid Madrid, por haberme abierto las puertas y enseñarme un nuevo camino en mi formación no solo académica si no también profesional y como persona. Ellos que con su apoyo y consejos han sido pilares fundamentales en todo este proceso, infinitas gracias.

A mis queridos hermanos Jorge Rivera y Tatiana Rivera, quienes siempre han estado pendientes de mi sin importar el tiempo ni la distancia en que nos encontremos, ellos quienes atienden a cualquier llamado de ayuda, y están ahí para escucharme en cualquier momento, muchas gracias y los amo.

También agradezco a mis amigos, en especial a Diego Lozano, Osman Ortega, Luis Olaya y James Cuadrado, a quienes desde que conozco han aportado con su ayuda y amistad incondicional para lograr este objetivo.





A mis queridos profesores del programa de Ingeniería de Sistemas que me han nutrido con su conocimiento y enseñanzas, ellos han sido una parte fundamental para mi proceso y formación académica.





## Abstract

The representation and mode of dynamics in competitive sports has been exclusively given in attack events. In the case of football, this condition has been a constant and the mode has gone through the coupling that occurs in the defense and attack events of the two teams. Consequently, a new type of representation of this dynamic is required. Therefore, this research project seeks to generate a new representation for systems with coupled dynamics, particularly those found in competitive sports. In this sense, we refer to the structure and dynamics of soccer in the round-up mode of development. of possession of the ball in the game. The interactions (passes and game events) will be valued in time, to convert it into a coupled dynamic and will be modular through multilayer networks, from adjacency matrices. Our mode will take into account the emergent characteristics that each component will present for the behavior of the other. The results of this investigation provide a more complete view of systems with coupled dynamics that extend to other sports and areas, where coupling is the key.



## Tabla de Contenidos

1	INTRODUCCION.....	1
1.1	Resumen.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo general .....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
2	MARCO REFERENCIAL.....	4
2.1	Marco Teórico .....	4
2.1.1	Teoría de grafos .....	4
2.1.2	Redes de topología Libre Escala y Mundo Pequeño .....	5
2.1.3	Redes Multicapa .....	5
2.1.4	Sistemas dinámicos.....	6
2.1.5	Redes Complejas .....	6
2.1.6	Dinámica Acoplada.....	7
2.2	Estado del Arte .....	8
2.2.1	Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science .....	8
2.2.2	Applying graphs and complex networks to football metric interpretation .....	9
2.2.3	Complex networks: Structure and dynamics.....	10
2.2.4	Modeling Systems with Coupled Dynamics (SCDs): A Multi-Agent, Networks, and Game Theory-based Approach .....	11
2.2.5	Modelo en el entorno de programación NetLogo - Team Assembly .....	13
2.3	Análisis de Herramientas. ....	14





2.3.1	Lenguaje de programación R .....	14
2.3.2	Plataforma WyScout .....	15
2.3.3	MuxViz .....	15
2.3.4	NacSport.....	16
3	METODOLOGIA .....	17
3.1	Fundamentación teórica. ....	17
3.2	Obtención de datos .....	17
3.3	Generación de redes.....	18
3.4	Recolección y revisión de información.....	19
3.5	Representación de resultados .....	20
4	RESULTADOS.....	21
4.1	Representación monocapa.....	21
4.2	Redes Multicapa .....	22
4.2.1	Red Multicapa lineal .....	22
4.2.2	Red Multicapa Multi-lineal .....	24
5	ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1	Red Multicapa lineal.....	25
5.2	Red Multicapa multi-lineal .....	30
6	CONCLUSION.....	34
7	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	36
8	ANEXOS .....	37
8.1	Certificado CCS2018.....	37
8.2	Presentación en el Centro de Ciencias de la Complejidad en México. ....	38
8.3	Certificado Semilleros del Investigación.....	39
9	REFERENCIA .....	40





## Lista de figuras

<i>Figura 2.1 Grafo no dirigidos (izquierda) y Grafo dirigido (derecha). Tomado de Leal (2009)</i> .....	4
<i>Figura 3.1 Matrices de Adyacencia/mapas de conectividad.</i> .....	19
<i>Figura 4.1 Representación Monocapa de Red de Defensa-Ataque</i> .....	21
<i>Figura 4.2 Red multicapa lineal (Francia)</i> .....	22
<i>Figura 4.3 Red multicapa lineal (Croacia)</i> .....	23
<i>Figura 4.4 Red multicapa multi-lineal (Francia, Eventos, Croacia)</i> .....	24
<i>Figura 5.1 Estadísticas de pases (Francia)</i> .....	25
<i>Figura 5.2 Estadísticas de pases (Croacia)</i> .....	26
<i>Figura 5.3 Densidad de pases (Francia)</i> .....	27
<i>Figura 5.4 Densidad de pases (Croacia)</i> .....	27
<i>Figura 5.5 Comunidades (Francia)</i> .....	28
<i>Figura 5.6 Comunidades (Croacia)</i> .....	29
<i>Figura 5.7 Estadísticas de enlaces.</i> .....	30
<i>Figura 5.8 Comunidades red general</i> .....	31
<i>Figura 5.9 Comunidades-subredes</i> .....	32
<i>Figura 5.10 Densidad de red general</i> .....	33



*Figura 8.1 Certificado CCS2018* ..... 37

*Figura 8.2 Noticia - Centro de Ciencias de la Complejidad* ..... 38

*Figura 8.3 Certificado Semilleros del Investigación*..... 39





# 1 INTRODUCCION

## 1.1 Resumen

La representación y modelado de las dinámicas en deportes de competición, se ha dado exclusivamente en eventos de ataque. Para el caso del futbol, esta condición ha sido una constante y el modelado ha pasado por alto el acoplamiento que se da en los eventos de defensa y ataque de los dos equipos. En consecuencia, un nuevo tipo de representación de esta dinámica es requerida. Por tanto, este proyecto de investigación busca generar una nueva representación para sistemas con dinámicas acopladas, particularmente las halladas en deportes de competición. En este sentido, se analizará la estructura y dinámica del futbol basados en el modelado de redes complejas que considerará las interacciones de los jugadores a través de los pases en momentos de ataque, como defensa, al tiempo que se caracterizarán los eventos que generan el cambio de posesión del balón en el juego. Las interacciones (pases y eventos de juego) serán valoradas en el tiempo, para constituir la dinámica acoplada y serán modeladas a través de redes multicapa, desde matrices de adyacencia. Nuestro modelado, tendrá en cuenta las características emergentes que presentará cada componente para adaptarse al comportamiento del otro. Los resultados de esta investigación permitirán una visión más completa de los sistemas con dinámicas acopladas que puede ser extendido a otros deportes y áreas, donde el acoplamiento es la clave

## 1.2 Justificación

La aplicación de la ciencia de redes a los deportes está ganando impulso. Por ejemplo, la estructura y dinámica de los equipos de fútbol se han modelado como una red compleja como resultado de las interacciones entre jugadores [Goncalves et al., 2017]. Esto es posible utilizando métricas de red tales como el coeficiente de agrupamiento y las métricas de centralidad (cercanía e interrelación). Dado que el modelado de redes anterior consideraba solo un equipo a la vez, la dinámica entre equipos competidores no se ha estudiado. Sin embargo, el análisis de red puede incluir datos detallados de ambos equipos para representar los procesos complejos que subyacen al comportamiento táctico del equipo [Rein y Memmert, 2016]. En consecuencia, obtenemos el rendimiento promedio de un equipo, pero sin el contexto del partido. Entonces, de acuerdo a esto, se podría decir, ¿qué pasa con la red de defensa del mismo equipo y el equipo oponente?, Como podemos ver, el problema esbozado sugiere que la dinámica natural del fútbol y los juegos de competencia similares han sido pasados por alto. En este contexto, comenzando con nuestra noción de "Sistemas con Dinámica Combinados". Una ventaja que ofrece nuestro enfoque es una vista multiescala que aclara la comprensión de la estructura y la dinámica dentro y entre los equipos. La estructura y la dinámica surgen de la dinámica acoplada, es decir, las estrategias de ataque y defensa tienen lugar al mismo tiempo.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

- Analizar los sistemas dinámicos acoplados por medio de una representación de redes de defensa/ataque en deportes de competición

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión teórica y conceptual sobre la teoría de redes complejas.
- Establecer propiedades y características que definan una red Defensa/Ataque.
- Generar un análisis mediante redes complejas tomando como ejemplo las interacciones que se realizan en el futbol.
- Representar la dinámica acoplada de una red DA desde un caso de estudio que incluya las propiedades y características establecidas para tal fin.

## 2 MARCO REFERENCIAL

### 2.1 Marco Teórico

#### 2.1.1 Teoría de grafos

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

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

Los grafos pueden ser dirigidos o no dirigidos como se observa en la siguiente figura:

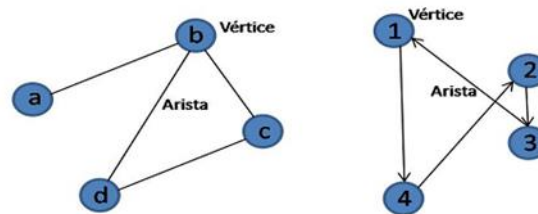


Figura 2.1 Grafo no dirigidos (izquierda) y Grafo dirigido (derecha). Tomado de Leal (2009)

Con soporte en la anterior definición, se puede estimar que una red es una estructura matemática formal representa a los elementos y sus relaciones. Las redes, particularmente,

se han convertido en una herramienta central en el estudio de sistemas complejos (Gershenson and Prokopenko, 2011), donde los nodos son considerados como “agentes”.

Las redes han tenido mucha importancia debido a su desempeño al momento de ser aplicadas a diferentes tipos de sistemas, entre ellos destacamos sistemas tales como, biológico, ecológicos, sociales e informáticos. (Newman, Barabási, & Watts, 2006)

### 2.1.2 Redes de topología Libre Escala y Mundo Pequeño

De acuerdo con la topología se han definido tres tipos de redes: las aleatorias, libres de escala y pequeño mundo. En su conjunto pueden ser consideradas como complejas. En las redes libres de escala, la distribución del grado se corresponde con una ley de potencia. En redes de pequeño mundo, su característica son enlaces ponderados (González-Avella, Cosenza, Herrera, & Tucci, 2014)

### 2.1.3 Redes Multicapa

Una red multicapa es un par  $M = (G, C)$  donde  $G = \{G_\alpha; \alpha \in \{1, \dots, M\}\}$  es una familia de grafos (dirigidos o no dirigidos, ponderados o no ponderados)  $G_\alpha = (X_\alpha, E_\alpha)$  (llamadas capas de  $M$ ) y  $C = \{E_{\alpha\beta} \subseteq X_\alpha \times X_\beta; \alpha, \beta \in \{1, \dots, M\}, \alpha \neq \beta\}$

es el conjunto de interconexiones entre nodos de diferentes capas  $G_\alpha$  y  $G_\beta$  con  $\alpha \neq \beta$ . Los elementos de  $C$  se denominan capas cruzadas, y los elementos de cada  $E_\alpha$  se denominan conexiones entre capas de  $M$  en contraste con los elementos de cada  $E_{\alpha\beta}$  ( $\alpha \neq \beta$ ) que se denominan conexiones entre capas. (Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., del Genio, C. I., Gómez-Gardeñes, J., Romance, M., ... Zanin, M., 2014).

#### 2.1.4 Sistemas dinámicos

El término sistemas dinámicos, en su forma más genérica, significa sistemas de elementos que cambian con el tiempo. El uso más técnico, sistemas dinámicos, se refiere a una clase de ecuaciones matemáticas que describen sistemas basados en el tiempo con propiedades particulares. (Thelen, E., & Smith, L. B., 2007)

#### 2.1.5 Redes Complejas

Las redes complejas son conjuntos de muchos nodos conectados que interactúan de alguna forma. A los nodos de una red también se les llama vértices o elementos y los representaremos por los símbolos ( $v_1, v_2, \dots, v_N$ ), donde  $N$  es el número total de nodos en la red. Si un nodo  $v_i$  está conectado con otro nodo  $v_j$ , esta conexión se representa por una pareja ordenada ( $v_i, v_j$ ), (Maximino Aldana, 2006).



La teoría de grafos es el marco natural para el tratamiento matemático exacto de redes complejas y, formalmente, una red compleja se puede representar como un grafo. Un grafo no dirigido (directed)  $G = (N, L)$  consiste en dos conjuntos  $N$  y  $L$ , tal que  $N \neq 0$  y  $L$  es un conjunto de pares de elementos desordenados (ordenados) de  $N$ . Los elementos de  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$  son los nodos (o vértices, o puntos) del grafo  $G$ , mientras que los elementos de  $L = \{L_1, L_2, \dots, L_k\}$  son sus enlaces (o aristas, o líneas). El número de elementos en  $N$  y  $L$  se denotan por  $N$  y  $K$ , respectivamente. (BOCCALETTI, S., LATORA, V., MORENO, Y., CHAVEZ, M., & HWANG, D., 2006).

### 2.1.6 Dinámica Acoplada

En términos simples, se puede concebir la dinámica acoplada representada por dos ecuaciones dinámicas derivadas de problemas de elección inter-temporales de dos conjuntos de agentes. Normalmente, en economía, las ecuaciones dinámicas se pueden obtener del comportamiento de optimización de los agentes. El comportamiento de los dos conjuntos de agentes afecta la toma de decisiones de cada uno a través de una variable común,  $qt$ . Todos los agentes son representativos en sus respectivos grupos y cada miembro del grupo es atomista, de modo que ningún individuo puede afectar la elección de otros dentro o fuera del grupo y, por lo tanto,  $qt$ . Sin embargo, en conjunto afectan el resultado macro agregado. En términos muy generales, se pueden denotar las variables de elección de los dos grupos de

agentes por  $\mu t$  para el primer grupo y  $\lambda t$  para el segundo grupo en cada periodo de tiempo  $t$ .

(Basak, G. K., Das, P. K., & Rohit, A., 2019).

## 2.2 Estado del Arte

En esta sección presenta los artículos los cuales dieron apoyo al proyecto de investigación.

### 2.2.1 Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science

#### Abstract

Until recently tactical analysis in elite soccer were based on observational data using variables which discard most contextual information. Analyses of team tactics require however detailed data from various sources including technical skill, individual physiological performance, and team formations among others to represent the complex processes underlying team tactical behavior. Accordingly, little is known about how these different factors influence team tactical behavior in elite soccer. In parts, this has also been due to the lack of available data. Increasingly however, detailed game logs obtained through next-generation tracking technologies in addition to physiological training data collected through novel miniature sensor technologies have become available for research.

This leads however to the opposite problem where the sheer amount of data becomes an obstacle in itself as methodological guidelines as well as theoretical modelling of tactical decision making in team sports is lacking. The present paper discusses how big data and modern machine learning technologies may help to address these issues and aid in developing a theoretical model for tactical decision making in team sports. As experience from medical applications show, significant organizational obstacles regarding data governance and access to technologies must be overcome first. The present work discusses these issues with respect to tactical analyses in elite soccer and propose a technological stack which aims to introduce big data technologies into elite soccer research. The proposed approach could also serve as a guideline for other sports science domains as increasing data size is becoming a wide-spread phenomenon. (Rein R, Memmert D, 2016).

## 2.2.2 Applying graphs and complex networks to football metric interpretation

### Abstract

This work presents a methodology for analysing the interactions between players in a football team, from the point of view of graph theory and complex networks. We model the complex network of passing interactions between players of a same team in 32 official matches of the Liga de Fútbol Profesional (Spain), using a passing/reception graph. This

methodology allows us to understand the play structure of the team, by analysing the offensive phases of game-play. We utilise two different strategies for characterising the contribution of the players to the team: the clustering coefficient, and centrality metrics (closeness and betweenness). We show the application of this methodology by analyzing the performance of a professional Spanish team according to these metrics and the distribution of passing/reception in the field. Keeping in mind the dynamic nature of collective sports, in the future we will incorporate metrics which allows us to analyse the performance of the team also according to the circumstances of game-play and to different contextual variables such as, the utilisation of the field space, the time, and the ball, according to specific tactical situations.( Arriaza-Ardiles E, Martín-González J, Zuniga M, Sánchez-Flores J, de Saa Y, García-Manso J, 2018)

### 2.2.3 Complex networks: Structure and dynamics

#### Abstract

Coupled biological and chemical systems, neural networks, social interacting species, the Internet and the World Wide Web, are only a few examples of systems composed by a large number of highly interconnected dynamical units. The first approach to capture the global properties of such systems is to model them as graphs whose nodes represent the

dynamical units, and whose links stand for the interactions between them. On the one hand, scientists have to cope with structural issues, such as characterizing the topology of a complex wiring architecture, revealing the unifying principles that are at the basis of real networks, and developing models to mimic the growth of a network and reproduce its structural properties. On the other hand, many relevant questions arise when studying complex networks' dynamics, such as learning how a large ensemble of dynamical systems that interact through a complex wiring topology can behave collectively. We review the major concepts and results recently achieved in the study of the structure and dynamics of complex networks, and summarize the relevant applications of these ideas in many different disciplines, ranging from nonlinear science to biology, from statistical mechanics to medicine and engineering. (Boccaletti S, Latora V, Moreno Y, Chavez M, Hwang D, 2006).

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

##### Abstract

The coupling and coordination of competing elements in a system have been studied. Notions such as the Mixed-strategy Nash equilibrium (MSNE) is a commonly-used

solution in game theoretic models (Cobb and Sen, 2014). Also, it has been established that natural dynamics are leading to a particular system equilibrium or coordination, according to the players' interactions. In this regard, research on the connectivity and interdependence of coupled systems is a crucial subject to understand the interactions between two or more systems, in which the dynamics and even the structure, of one system, can depend on another (?). Concerning systems with coupled dynamics, it is well-recognized that interaction among systems can exhibit dynamical and emergent properties. Nevertheless, representing and modeling these aspects is not trivial. In this context, this work develops an abstract modeling proposal of Systems with Coupled Dynamics (SCDs). Our objective is to present a viewpoint on how network, game, and multi-agent theories can be used to represent and assess the interactions between and within SCDs. We provide an overview of knowledge and gaps in the literature regarding networks (?), game theory (?), and multi-agent systems (??), as well as instances where they have been combined successfully, e.g. ?. We generalize an approach for the assessment of multi-system interactions and flows. We also provide a design framework and the evaluation of an SCD. Based on our notions and formalizations, the study of several dynamics of natural systems can be possible.

A starting point for the application of our approach is the representation of the dynamics of competitive sports. In this way, we consider soccer as an example of SCDs that by means



our approach can be studied. Preliminary results from sports motivate us to study applications in biological systems, such as regulatory protein networks analyzed as SCDs. (Osman Ortega, Yesid Madrid, Guillermo Restrepo, Wilmer Leal, Carlos Gershenson, Nelson Fernandez, 2018).

### 2.2.5 Modelo en el entorno de programación NetLogo - Team Assembly

This model of collaboration networks illustrates how the behavior of individuals in assembling small teams for short-term projects can give rise to a variety of large-scale network structures over time. It is an adaptation of the team assembly model presented by Guimera, Uzzi, Spiro & Amaral (2005). The rules of the model draw upon observations of collaboration networks ranging from Broadway productions to scientific publications in psychology and astronomy.



## 2.3 Análisis de Herramientas.

En esta sección, se hizo un análisis de diferentes herramientas las cuales cumplan con los objetivos propuestos.

### 2.3.1 Lenguaje de programación R

R es un lenguaje y entorno para computación estadística y gráficos. Es un proyecto GNU que es similar al lenguaje y el entorno S que fue desarrollado en los Laboratorios Bell (anteriormente AT&T, ahora Lucent Technologies) por John Chambers y sus colegas. R puede considerarse como una implementación diferente de S. Hay algunas diferencias importantes, pero gran parte del código escrito para S se ejecuta sin alterar en R.

R proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelado lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupación, ...) técnicas gráficas, y es altamente extensible. El lenguaje S suele ser el vehículo de elección para la investigación en metodología estadística, y R proporciona una ruta de código abierto para participar en esa actividad.



### 2.3.2 Plataforma WyScout

WyScout es una empresa italiana que apoya la exploración del fútbol, el análisis de partidos y la dinámica de transferencia. La compañía fue fundada en Génova, Italia en 2004, y está ubicada en Chiavari desde enero de 2008.

### 2.3.3 MuxViz

MuxViz es un framework para el análisis multicapa y la visualización de redes. Permite una visualización interactiva y la exploración de redes multicapa, es decir, gráficos donde los nodos exhiben múltiples relaciones simultáneamente. Es adecuado para el análisis de redes sociales que muestran relaciones de diferente tipo (por ejemplo, familia, trabajo, etc.) o interacciones en diferentes plataformas (Twitter, Facebook, etc.), redes biológicas caracterizadas por diferentes tipos de interacciones (por ejemplo, eléctrica, química), etc., o redes de transporte alélicas, no alélicas, etc.) que consisten en diferentes medios de transporte (por ejemplo, trenes, autobuses, etc.), para citar solo algunas de las posibles aplicaciones.



### 2.3.4 NacSport

Nacsport es un software específicamente diseñado para el video análisis deportivo. Al contrario que los editores de video convencionales, dispone de herramientas específicamente diseñadas para simplificar y acelerar este trabajo, pudiendo acceder al dato de forma más precisa y analizarlo de forma mucho más efectiva.



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Fundamentación teórica.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el trabajo, se tuvo que realizar una fundamentación teórica de redes complejas, la cual corresponde a una herramienta computacional que permitía generar diferentes análisis en la creación de redes que se dan a partir de las interacciones entre jugadores de cada equipo en el deporte del futbol. La complejidad generada por la interacción está dada por la constante dinámica y estructura que se presenta al momento.

De ese modo, se optó por el uso de redes multicapa, ya que esta topología de red permite generar una representación relacionada a la perspectiva dada en el proyecto, además, permite un análisis de cada capa y también sus relaciones. Por medio de esto, se pueden sacar estadísticas tales como comunidades, centralidad, enlaces, densidad, componentes conectados, etc. para cada capa individual o también estadísticas generales creadas por todas las capas.

#### 3.2 Obtención de datos

Se inicio por generar tracking a un partido ya transmitido, por medio de esto, se tuvieron en cuenta varios aspectos para generar las redes, tales como, pases generados entre un equipo, generación de los pases de cada equipo, y acoplamiento entre los equipos, es decir, que es lo que hace que un

equipo se acople. a otro. Como el objetivo era saber cómo un equipo se acoplaba a otro, para así demostrar el efecto que surgía en su dinámica y estructura, se tuvieron en cuenta situaciones que para este caso fueron llamadas eventos (pase interceptado, falta, tiro libre, saque de banda, gol, etc). Es así que esos datos fueron extraídos mientras se observaba el partido, para después ser ingresados en la herramienta MuxViz, donde se tomaron en un lapso de tiempo que tenía como principal objetivo ver la dinámica de cada equipo antes de que se generara el evento de gol. Y así, se genera el análisis tanto de redes multicapa por cada equipo y las redes multicapas generada entre ellos.

### 3.3 Generación de redes

Teniendo en cuenta la matemática computacional en el proyecto, se observan a los jugadores como nodos, y las interacciones como enlaces. Ya que la teoría de grafos ha dado lugar a la teoría de redes, estas representaciones se pueden hacer a través de matrices de adyacencia o lo que se llama mapa de conectividad (Figura 3.1), donde está el jugador y el pase se representa de forma binaria (si hay pase se representa por un 1, y si no hay pase se representa con 0). Esta es una matriz no simétrica, lo que quiere decir que es dirigida, en ese sentido se tendría una red dirigida. Se puede adicionar un peso al enlace, lo que significa la intensidad de los pases o interacción entre los nodos que intervienen.

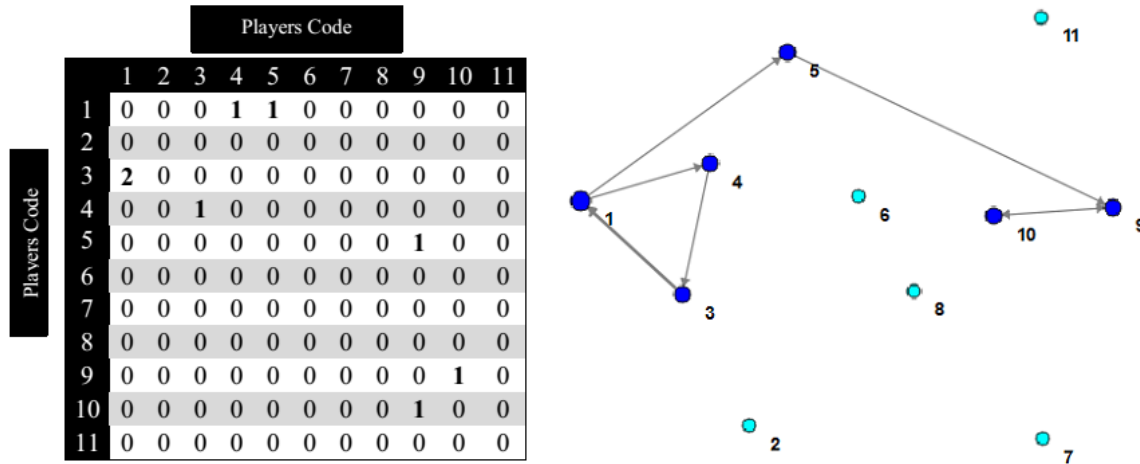


Figura 3.1 Matrices de Adyacencia/mapas de conectividad.

### 3.4 Recolección y revisión de información.

En este momento, se plantea encontrar herramientas que permitan generar estadísticas y extraer información de ellas, así como también aquellas que permitan la creación de redes multicapa.

Se encontraron herramientas que generaban análisis de encuentros de partidos y disponían de datos generados en el partido, como cantidad de pases dados por cada equipo, así como también quien los entregaba, también mostraba información detallada del rendimiento de cada jugador en el encuentro, pero con la limitación de que las herramientas no son libres complicando el acceso a ellas, dado el marco de este trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se inició una búsqueda de herramientas que permitiera generar el análisis deseado. En este caso, se usó el entorno y lenguaje de programación R, ya que es muy útil por su computación estadística y con ayuda del framework llamado MuxViz, el cual permite tanto el análisis como la visualización de redes multicapa.

### 3.5 Representación de resultados

Después de haberse obtenidos los datos, sigue el proceso de ingreso de datos al framework de R (MuxViz). Para permitir la visualización de la red multicapa en MuxViz, es necesario especificar los nodos (jugadores) que intervienen en el partido, las capas que como se dijo anteriormente son aquellas interacciones antes de que el evento de gol se efectuó, y los enlaces (pases) entre cada equipo, así como las relaciones generadas entre los equipos y los eventos.

Se genero dos tipos de visualización, una vista de forma lineal la cual muestra la dinámica y estructura de un equipo a la vez, además se es posible ver una capa agregada la que permite ver una situación general dada por todas las capas. La otra vista de forma multi-lineal la cual incluye tanto como los equipos y los eventos, esto con el objetivo de hacer una visualización dada entre el equipo y entre los equipos, además de crear un análisis el cual especifique la dinámica acoplada dada en el juego.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Representación monocapa

Al momento de representar la dinámica acoplada en forma de redes, incluyendo a los equipos juntos a los eventos, ya se puede ver de una perspectiva distinta la manera en que el balón causa la generación de las interacciones o pases, el balón va transitando dentro de un equipo (Francia en azul), pero como a través de eventos (En amarillo) puede terminar y pasa al otro equipo (Croacia en rojo).

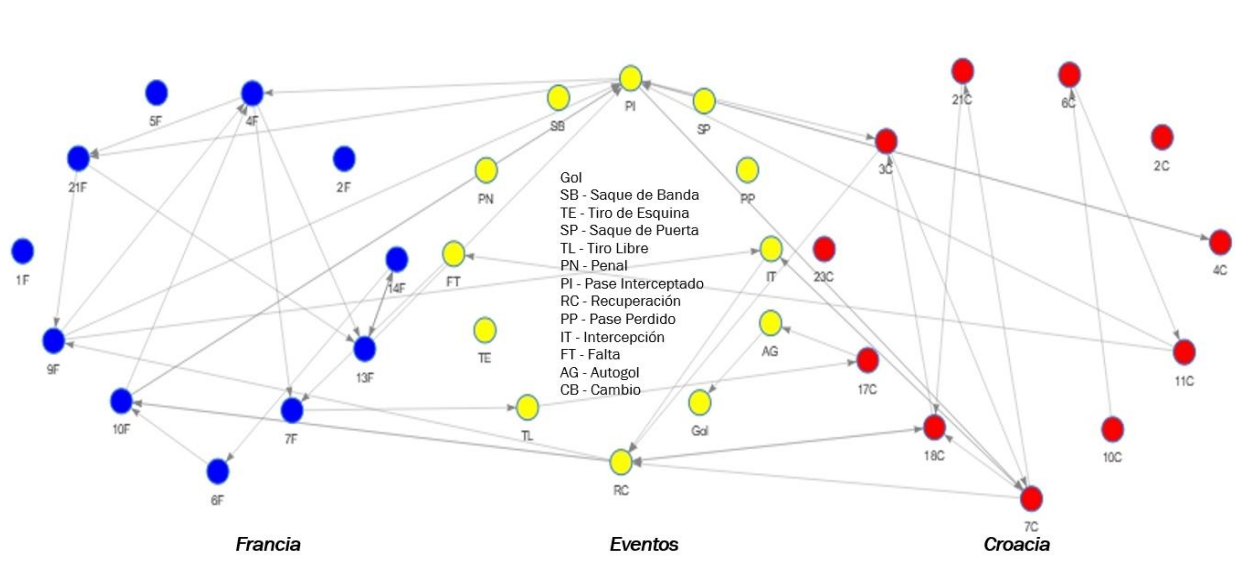


Figura 4.1 Representación Monocapa de Red de Defensa-Ataque

Desde una perspectiva monocapa (Figura 4.1), esta será la representación. Puedes tener información sobre cada jugador, sus pases y su participación en eventos. De esta manera, tenemos

tres redes interconectadas: dos para equipos y una para eventos. Construcción dinámica de los pases

## 4.2 Redes Multicapa

### 4.2.1 Red Multicapa lineal

En esta representación multicapa, se puede ver como la estructura del equipo cambia en cada capa, esto de acuerdo con el evento de gol, además se logra ver una dinámica final que es la red agregada, la cual permite un análisis de cada nodo y poder ver cuales nodos fueron los más importantes eventos por evento, si su rendimiento fue continuo, o si su centralidad fue continua.

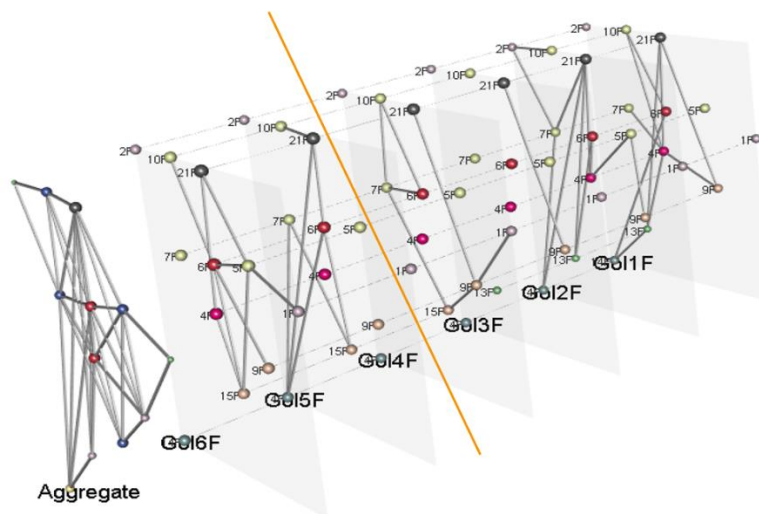


Figura 4.2 Red multicapa lineal (Francia)





### 4.2.2 Red Multicapa Multi-lineal

Esta representación, es una representación completa basada en cada uno de los momentos de gol. Desde esta perspectiva se obtiene una doble visión, es decir se puede observar la dinámica entre equipos a través de los eventos (en forma horizontal), en cada periodo que se dio el gol. Adicionalmente, de forma vertical, se observa la dinámica dentro de cada equipo, es decir dinámica intra-equipo. Con esto se obtiene una visión dinámica del cambio de estructura con cada uno de los eventos.

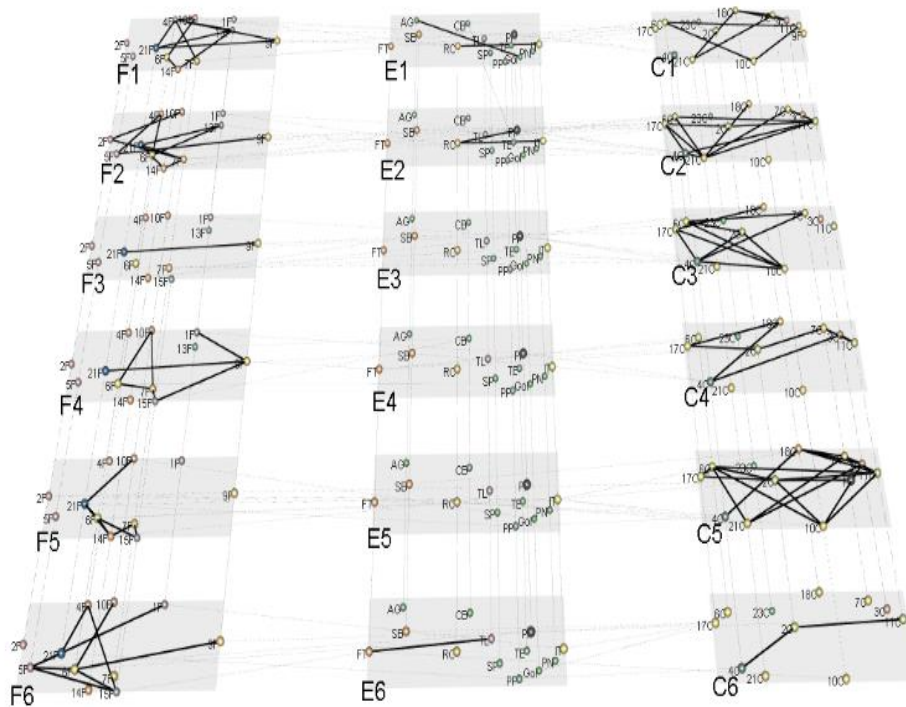


Figura 4.4 Red multicapa multi-lineal (Francia, Eventos, Croacia)

## 5 ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Red Multicapa lineal

Al analizar la estructura interna de cada equipo. Se comienza a obtener métrica, la cual indica por medio de la centralidad que nodo (jugador) fue más importante por medio del grado de salida, es decir, que jugadores fueron más importantes al momento de la creación de pases. También se puede sacar estadística por medio del grado de entrada, es decir quiénes fueron los jugadores que más recibieron pases, en ese sentido se es posible sacar el rendimiento de ambas formas.

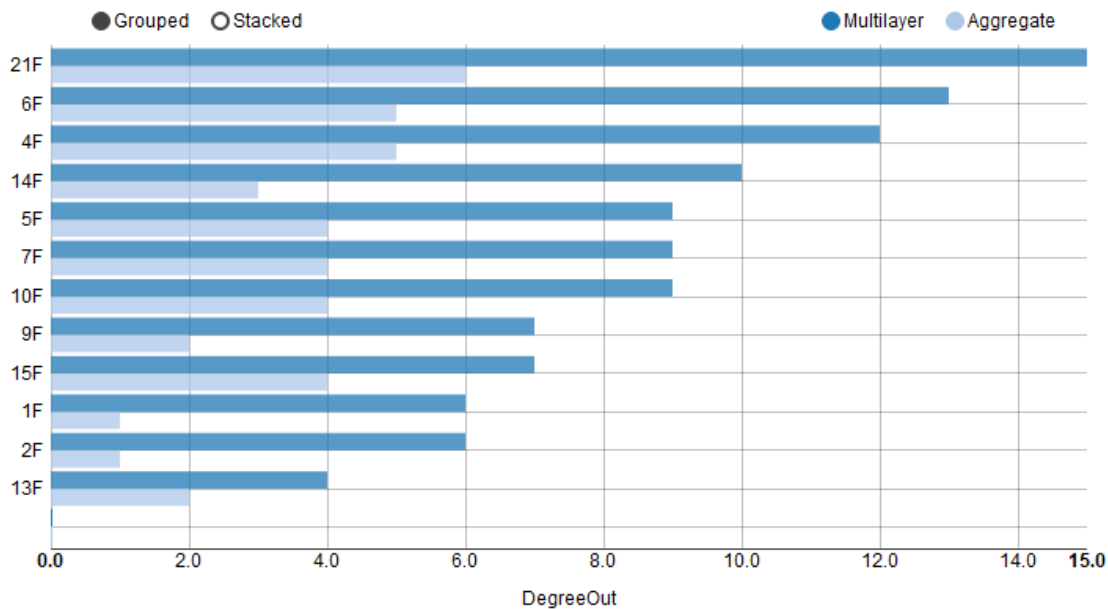


Figura 5.1 Estadísticas de pases (Francia)

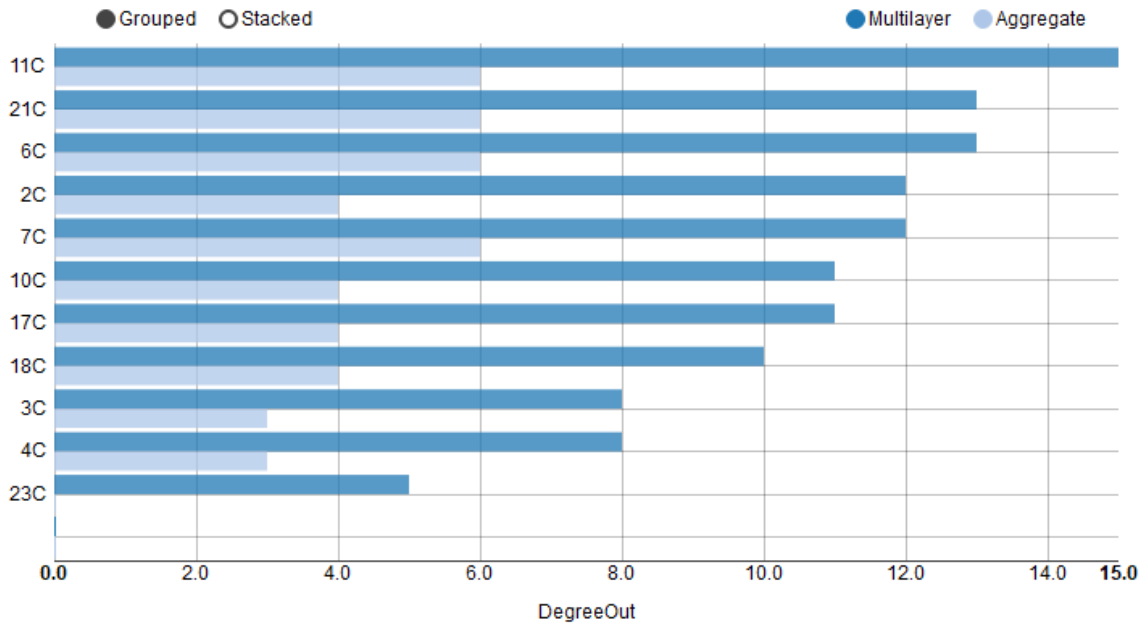


Figura 5.2 Estadísticas de pases (Croacia)

Con estas dos graficas tanto como el primer equipo (Francia) y el segundo equipo (Croacia), se logró detallar los nodos (jugadores) más influyente en cada equipo con las diferentes capas, y se concluye como el dominio de los pases se mantuvo en la mitad del campo con una combinación entre mediocampistas y defensas.

Otro análisis a tomar en cuenta es la densidad que se muestra en cada capa a medida que transcurre el tiempo, la importancia de este indicador es que muestra como en cada evento con cada gol cuantos pases fueron generados.

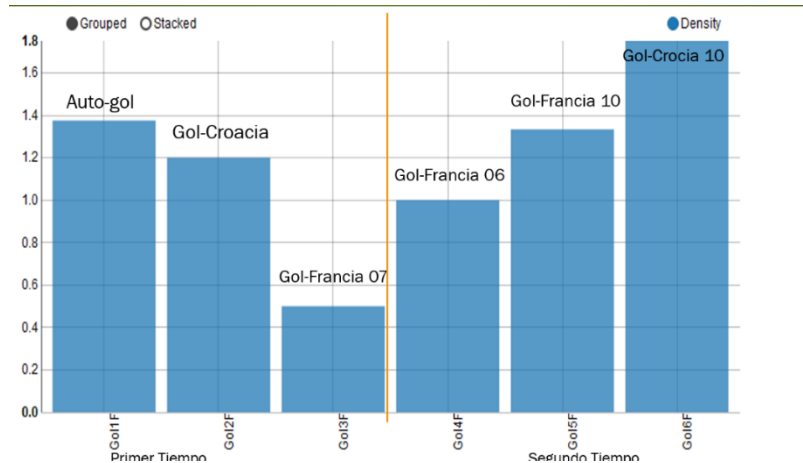


Figura 5.3 Densidad de pases (Francia)

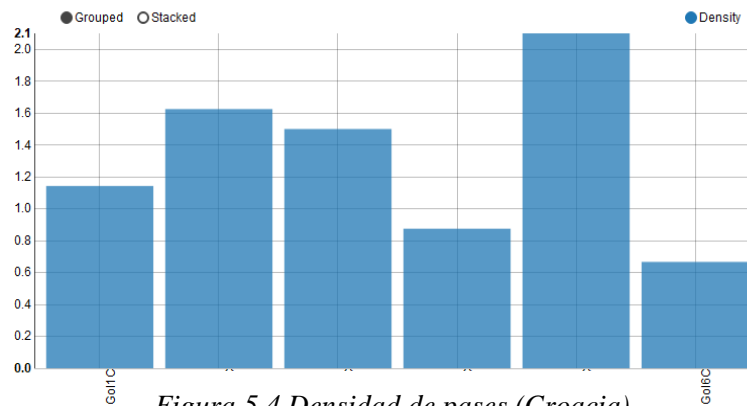


Figura 5.4 Densidad de pases (Croacia)

En estas gráficas, se analizó como Croacia (Figura 5.4) fue más denso en los enlaces a diferencia de Francia (Figura 5.3), y así, se detalló como la dinámica de cada equipo cambia con respecto al otro.

Además, se puede determinar cuáles nodos se agruparon internamente, como se puede observar, hay una alta interacción entre esos nodos por medio de los países, esto quiere decir que hacen parte de lo que se llama la misma comunidad, y esto genera una subred entre esos nodos. Con esto se puede decir que hay circuitos de juegos dentro de circuitos mayores por eso se habla de comunidades.

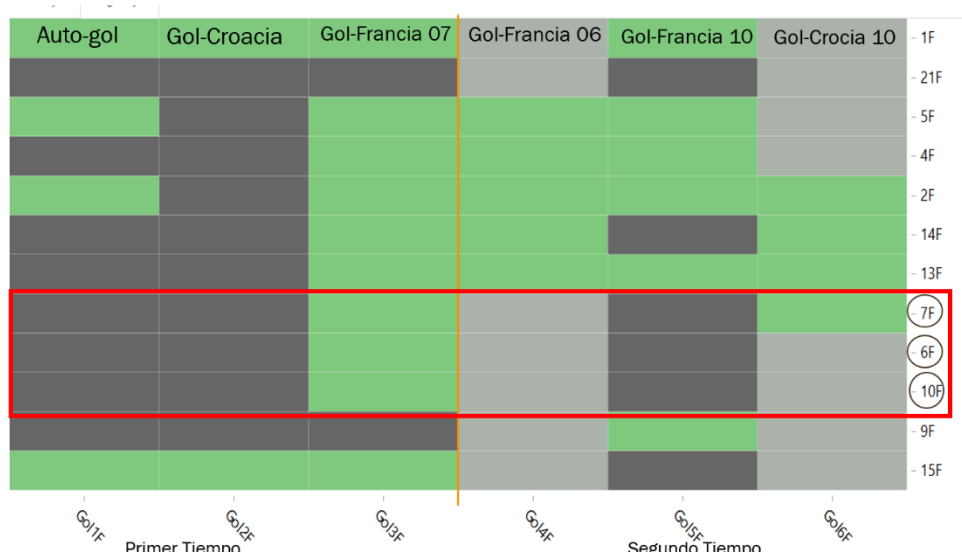


Figura 5.5 Comunidades (Francia)

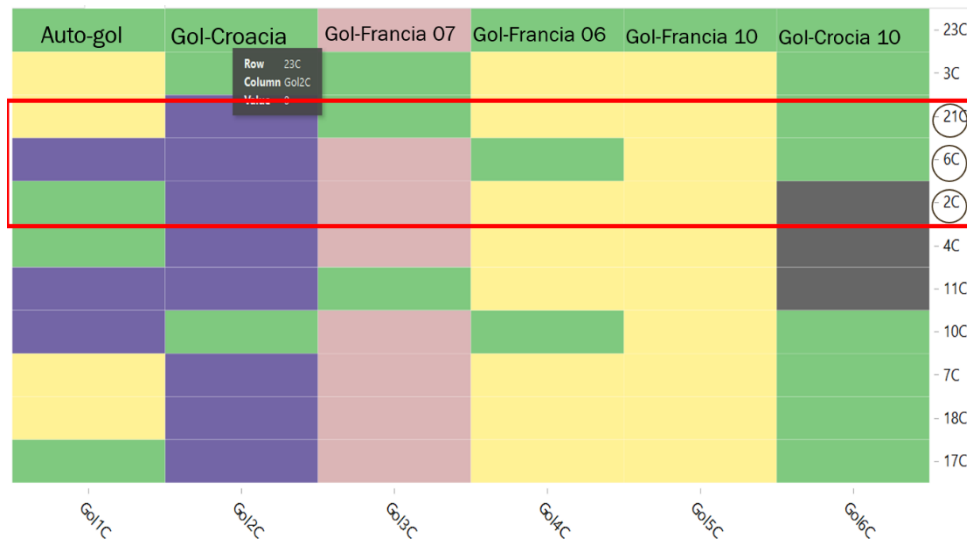


Figura 5.6 Comunidades (Croacia)

Con las dos graficas anteriores, se logró afirmar cómo el circuito de juego estuvo dado por el medio campo, esto hecho en ambos equipos por una comunidad de tres nodos. Entonces, se ve como la dinámica de juego también depende de nodos que se pueden llamar nodos conocidos entre sí, o con alguna idea en común.

## 5.2 Red Multicapa multi-lineal

En este momento se logra ver con claridad la diferencia entre los circuitos de juegos de cada equipo, es decir, como un equipo tuvo más tiempo el balón y más pases género.

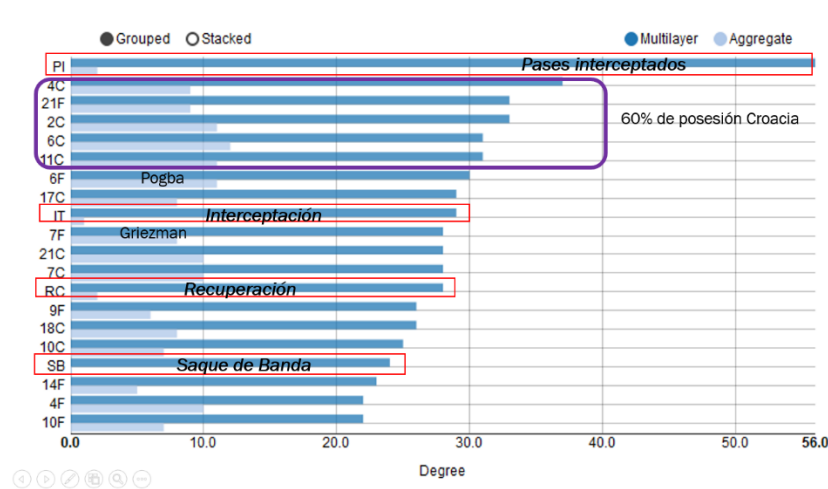


Figura 5.7 Estadísticas de enlaces.

Esta estadística muestra como el circuito de juego está dado por los pases interceptado, este es el evento que mayor efecto hizo en el acoplamiento de los equipos, entonces el juego de cada equipo fue cortado y es demostrado por este evento.



En el análisis de comunidades en toda la red, y se puede hacer una pequeña comparación de los subgrupos que hay entre cada equipo y los eventos (Figura 5.8).

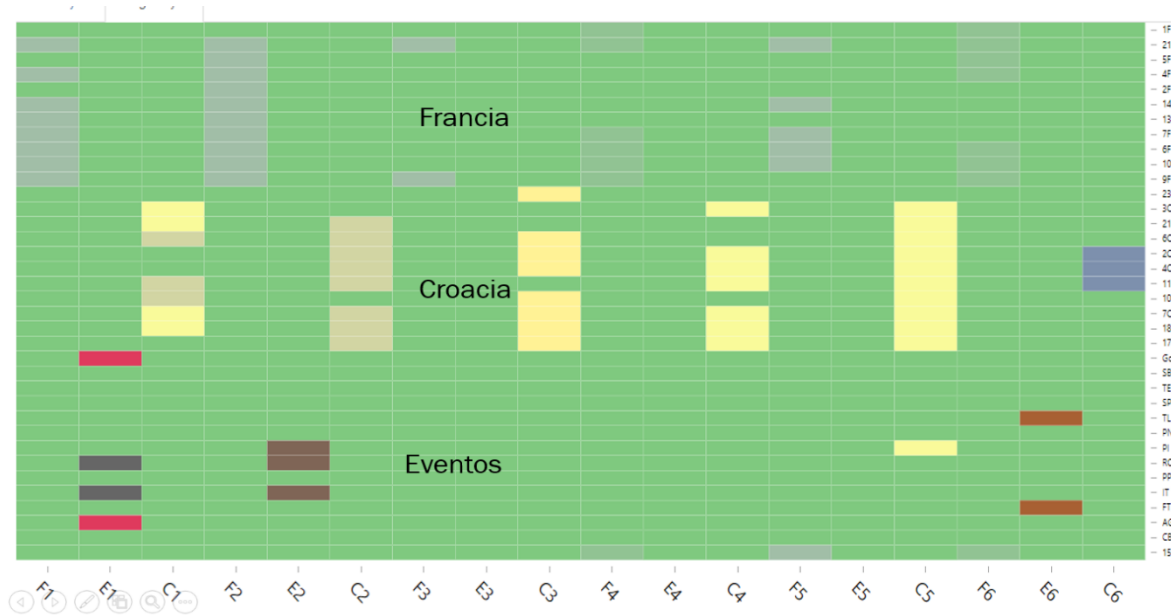
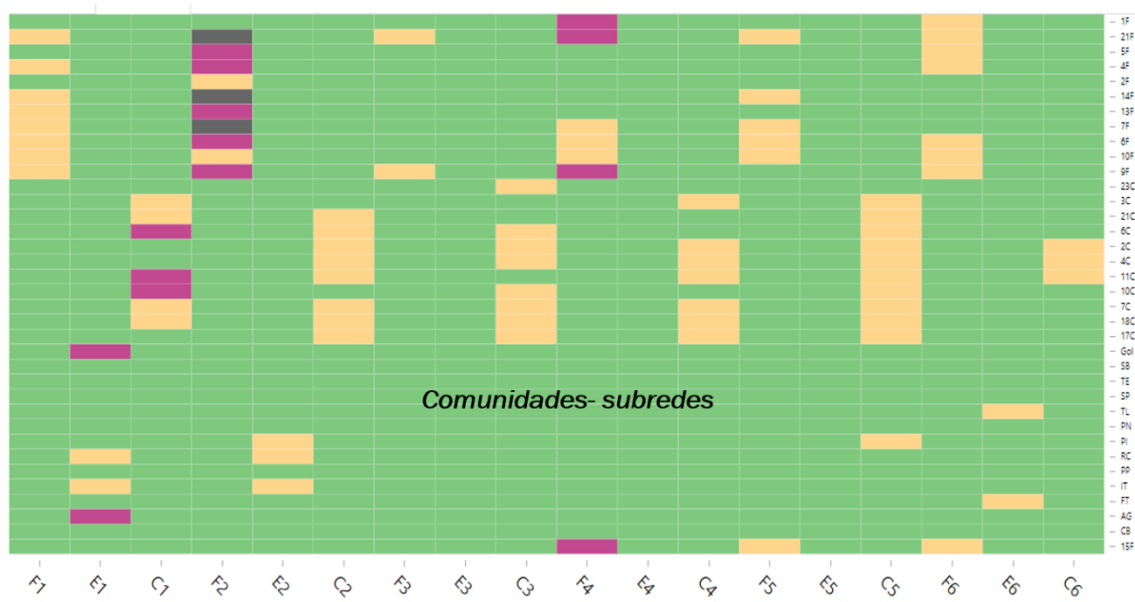


Figura 5.8 Comunidades red general



*Figura 5.9 Comunidades-subredes*

Se detallo como las comunidades que se generan en un equipo tienen de alguna forma relación con las comunidades que se generan en el otro equipo, y esto gracias a la conexión dada por los eventos (Figura 5.9).

Así como también se logra tener estadísticas por medio de los enlaces/pases dados en todo el partido en las diferentes capas, es decir hay más métrica para esto (Figura 5.10).

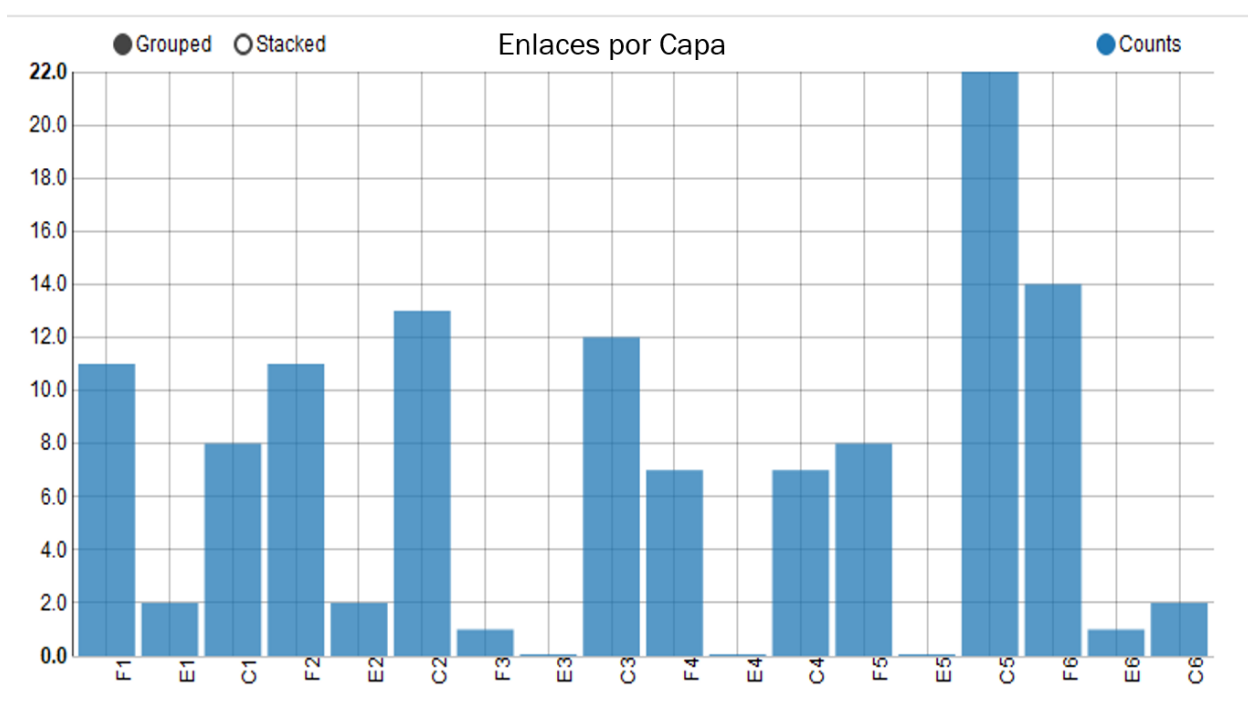


Figura 5.10 Densidad de red general

## 6 CONCLUSION

A partir de la noción de sistemas con dinámica acoplada, basado en eventos, fue posible lograr una representación computacional que permitió modelar un juego de conjunto como el fútbol. Cabe destacar que la contribución de nuestro enfoque, se valida por ir más allá de las estadísticas que se obtienen del monitoreo de los partidos y logra un mejor entendimiento del fenómeno del deporte que se estudie.

Nuestro enfoque integra los conceptos de Sistemas con Dinámica Acoplada (SDA) (Fernández, Ortega, & Gershenson, 2018), representados como Redes de Defensa y Ataque (RDA) (Fernández, Rivera, & Gershenson, 2018), con lo cual se logró La comprensión, entendimiento y análisis de la estructura y dinámica de deportes de conjunto, a través de la caracterización de las interacciones en de ataque de un equipo, que coinciden con una respuesta en el esquema de interacciones de defensa del otro. De esta manera el acoplamiento se representó a través de las transiciones de jugadas que dan la posesión del balón a uno u otro equipo.

El caso de estudio con el cual se ejemplificar el enfoque SDA-RDA, fue la final de la copa mundial de fútbol de 2018 entre Francia y Croacia. El enfoque de modelado consideró una representación multicapa de doble vía, a partir de la observación de las seis anotaciones surgidas en el encuentro. En este sentido, se obtuvo la estructura y dinámica de cada equipo y de las transiciones, o representación intra-equipo, al tiempo que la dinámica acoplada entre los equipos, o representación inter-equipos. En este sentido, los resultados del modelado SDA-RDA permiten visualizar y



analizar la estructura y dinámica detallada de los equipos según los eventos de anotación. Con ello se contrasta, como el comportamiento táctico se acerca o desvía de su planteamiento original, acorde con el acoplamiento al rival y las estrategias de defensa y ataque que toman lugar al mismo tiempo.

El enfoque de modelado SDA-RDA se muestra como promisorio en tanto es útil para la representación de gran cantidad de fenómenos de nuestra realidad se ensamblan, de la misma forma como cuando del balance de la auto-organización y la emergencia, surge la máxima complejidad (Gershenson & Fernández, 2012).





## 7 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Nuestro proyecto se enfoca a que dichos eventos están dados en el pasado, entonces sería interesante que la situación se manejara en tiempo real.

Aplicar el modelo en escenarios que no sean en el deporte, como por ejemplos en sistemas bilógicos.

Recaudar diferentes escenarios en donde se aplique este modelo con algún otro parámetro.

Crear una herramienta computacional que permita aplicar este modelo de defensa-ataque en tiempo real



## 8 ANEXOS

### 8.1 Certificado CCS2018

Esta investigación fue presentada como ponencia en el congreso internacional Conference of Complex Systems – CCS2018 hecho en Tesalónica – Grecia.



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

### CERTIFICATE OF ATTENDANCE

**Victor Daniel Rivera Estacio**

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

Additionally, during this Conference he presented a research paper titled:  
"Coupled Dynamical Systems and Defense-Attack Networks: Representation of  
Soccer Players Interactions"

The Conference Chairman

Prof. Panos Argyrakis



*Figura 8.1 Certificado CCS2018*

## 8.2 Presentación en el Centro de Ciencias de la Complejidad en México.

Noticia 136/2019

### Tejiendo redes con los pies: estudiando el futbol desde la complejidad

Cesar Montes Figueroa  
28 de junio de 2019

En los deportes de conjunto las estadísticas suelen ser un aliado importante en la toma de decisiones de los entrenadores. Hoy en día existen diversas [empresas](#) dedicadas a proveer y analizar esa información, sin embargo, los datos pueden no ser suficientes al no brindar una imagen completa de lo que pasa en la cancha.

Tomemos por ejemplo al *Liverpool*. El equipo inglés de futbol disputó las dos últimas finales de la *UEFA Champions League*. En [2018](#) su posesión del balón fue del 35% con 13 tiros, 2 de ellos a puerta. En [2019](#) el equipo tuvo la misma posesión, ahora con un tiro más y 3 al arco. En ambos partidos el rival tuvo mayor posesión y mayor número de disparos en total y a portería.

Basarnos solamente en esos números podría llevar a pensar que el resultado final de ambos partidos fue



Figura 8.2 Noticia - Centro de Ciencias de la Complejidad



### 8.3 Certificado Semilleros del Investigación

Gracias a esta investigación se otorgo un certificado en la Universidad de Pamplona por el desempeño en Semilleros del Investigación.



Figura 8.3 Certificado Semilleros del Investigación

## 9 REFERENCIA

Aldana, M. (2006). *Redes Complejas*.

Arriaza-Ardiles, E., Martín-González, J., Zuniga, M., Sánchez-Flores, J., de Saa, Y., & García-Manso, J. (2 de 2018). Applying graphs and complex networks to football metric interpretation. *Human Movement Science*, 57, 236-243.

Basak, G., Das, P., & Rohit, A. (2019). Coupled dynamics with an external system and application to international finance. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 520, 409-432.

Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., del Genio, C., Gómez-Gardeñes, J., Romance, M., . . . Zanin, M. (2014). The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*, 544(1), 1-122.

Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4), 175-308.

Easley, D., & Kleinberg, J. (2010). *Networks , Crowds , and Markets : Reasoning about a Highly Connected World*.

Gershenson, C. (11 de 2013). The Implications of Interactions for Science and Philosophy. *Foundations of Science*, 18(4), 781-790.

Gershenson, C., & Prokopenko, M. (2011). Complex Networks. *Artificial Life*, 17(4), 259-261.

González-Avella, J., Cosenza, M., Herrera, J., & Tucci, K. (2014). Emergence and persistence of communities in coevolutionary networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 107(2), 28002.

Madrid, Y. (2016). Complejidad Estructural y Dinámica en Redes Libres de Escala y Pequeño Mundo.

*Modeling Systems with Coupled Dynamics (SCDs): A Multi-Agent, Networks, and Game Theory-based Approach | Conference on Complex Systems 2018, Thessaloniki, Greece.* (s.f.).  
Obtenido de <http://ccs2018.web.auth.gr/modeling-systems-coupled-dynamics-scds-multi-agent-networks-and-game-theory-based-approach>

*Muxviz.* (s.f.). Obtenido de <http://muxviz.net/>

*Nacsport.* (s.f.). Obtenido de <https://www.nacsport.com/es/index.php/blog/item/537-que-es-nacsport>

*NetLogo Models Library: Team Assembly.* (s.f.). Obtenido de <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TeamAssembly>

Newman, M., Barabási, a.-L., & Watts, D. (2006). Introduction. *The Structure and Dynamics of Networks*, 1-8.

Newman, M., Barabási, A.-L., & Watts, D. (Edits.). (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*:. Princeton University Press.



R: *¿Qué es R?* (s.f.). Obtenido de <https://www.r-project.org/about.html>

Rein, R., & Memmert, D. (24 de 12 de 2016). Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science. *SpringerPlus*, 5(1), 1410.

Thelen, E., & Smith, L. (2007). Dynamic Systems Theories. En E. Thelen, & L. Smith, *Handbook of Child Psychology*. American Cancer Society.

