

## INDICIOS DE AUTOORGANIZACIÓN EN EL BALONCESTO PROFESIONAL NBA

### SELF-ORGANIZATION SINGS IN NBA PROFESSIONAL BASKETBALL

Yves de Saá Guerra (España).

Doctor en educación física. Departamento de Educación Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Juan Manuel Martín González (España).

Doctor en física. Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Juan Manuel García Manso (España).

Doctor en educación física. Departamento de Educación Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Fecha recepción: 29-5-14

Fecha aceptación: 29-6-14

#### RESUMEN

El flujo de juego en un partido de baloncesto y el diseño de su estructura puede ser descrito como en otros fenómenos naturales. La forma y funcionalidad de un equipo están estrechamente relacionadas con el rendimiento. El baloncesto es un deporte de cooperación -oposición. Los jugadores de un mismo equipo colaboran entre sí, y a su vez se oponen a los contrincantes. Estos procesos tienen lugar de manera simultánea y continua durante todo el partido. Los jugadores son capaces de resolver la situación mediante interacciones locales. Estas interacciones son no lineales principalmente y están estrechamente relacionadas con un parámetro de orden: el marcador. Los equipos son capaces de modificar su flujo interno para ganar el partido. Resuelven la situación con sólo unos pasos (red de mundo pequeño), pero si la situación se vuelve crítica, modifican el flujo de juego en forma de red libre de escala. Por ello pueden considerarse sistemas autoorganizados.

**PALABRAS CLAVE:** Baloncesto, NBA, autoorganización, red mundo pequeño, red libre de escala

#### ABSTRACT

The game flow in a basketball game and the design of its structure can be described as in many others natural systems. The shape and functionality of a team are closely related to performance in several sports. Basketball is a collaboration-opposition sport. During a basketball game we can witness how players of the same team collaborate with each other, and in turn compete against the opposing players. These processes take place simultaneously and continuously during game time. Players are able to resolve the situation through local interactions. These interactions are mainly nonlinear and are closely related to an order parameter: the score. Teams are able to modify their game flow in order to win the game. Teams resolve the game situation with only a few steps (Small-World Network), but if the situation becomes more critical, they seem to modify the game flow into a Scale-free network. Therefore teams would be considered as self-organizing systems.

**KEY WORDS:** Basketball, NBA, self-organization, Small-World Network, Scale Free Network.

#### INTRODUCCIÓN

Hemos querido realizar una aproximación a la dinámica interna de un equipo de baloncesto. Nuestra intención ha sido tratar de averiguar los procesos internos que tienen lugar en un equipo de baloncesto durante un partido real de baloncesto. El flujo y el diseño de su estructura puede ser descrito como en otros muchos fenómenos naturales (Adrian Bejan & Lorente, 2011; Adrian Bejan & Zane, 2013; Newman, 2001). Podemos observar cómo estructura y funcionalidad están estrechamente relacionadas en muchos sistemas deportivos (Adrian Bejan, Jones, & Charles, 2010; Charles & Bejan, 2009; García Manso et al., 2008; Ribeiro, Mendes, Malacarne, Jr, & Santoro, 2010; Yarrow, Brown, & Krakauer, 2009).

El baloncesto se puede describir como un deporte de cooperación-oposición (Hernández Moreno, 1994; Knapp, 1981; Ruiz, 1999). Esto significa que durante el tiempo reglamentario en el que transcurre un partido de baloncesto, y siguiendo el reglamento, los jugadores tratan de derrotar al oponente colaborando entre sí para conseguir anotar (u otra ventaja como por ejemplo una falta personal) y oponiéndose al equipo contrario (evitar que el adversario anote). Puede parecer algo evidente. Pero mucho más complejo de lo que parece a priori.

Supongamos que el jugador es nuestra unidad básica en este deporte, como la célula en el cuerpo humano, es decir la base con la que se construye todo un universo en baloncesto. Un jugador puede mostrar dos propiedades o comportamientos bajo esta óptica. Pueden colaborar entre sí y pueden oponerse entre ellos.

La colaboración entre compañeros de equipo permite al conjunto competir contra otros equipos para conseguir victorias (luchar por conseguir recursos, ya que un equipo ganador tiene más posibilidades de sobrevivir en la competición). Pero al mismo tiempo la confrontación entre compañeros por un puesto en el equipo crea una situación crítica que permite a los jugadores mejorar su rendimiento individual. Lo que es clave si el equipo quiere incrementar su rendimiento global. De esta manera podemos observar como un mismo elemento puede presentar dos cualidades diferentes con resultados diversos. Y por ello hemos de tener muy presentes estos mecanismos internos a la hora de planificar y planear la estrategia de cara a una competición. Tanto es así que, como ya sabemos, la elección de la plantilla, cuerpo técnico, personal, etc., por parte de los clubes es un elemento primordial (por ejemplo la combinación de jugadores jóvenes con jugadores veteranos).

De hecho desde hace muchos años un problema muy presente en las ciencias biológicas y sociales es el entendimiento de las condiciones que se requieren para la emergencia (aparición) y mantenimiento de la cooperación en poblaciones evolutivas (Gutiérrez, Uzzi, Spiro, & Amaral, 2005; Riolo, Cohen, & Axelrod, 2001). El objetivo debe ser la cooperación sin reciprocidad, en ausencia de egoísmo. Como Phill Jackson dijo: poner el "yo" al servicio del "nosotros" (Jackson & Delehanty, 2006).

Pero el problema no finaliza aquí. Hemos de tener en mente que el baloncesto se desarrolla siguiendo unas reglas establecidas de antemano, como por ejemplo la regla de posesión de 24 segundos que obliga a los equipos a lanzar a canasta. De esta manera podemos inducir que existe una estrecha relación entre el equipo y el medio circundante: tiempo y anotación (de Saá Guerra et al., 2013).

De ahí que es posible observar como el entorno influye sobre los jugadores y los jugadores tratan de dominar la situación. Por esta razón las acciones de los jugadores nos proveen de pistas acerca de sus interacciones reales. Y por ende el marcador refleja si han tenido éxito o no. Las acciones de los jugadores contienen información como, por ejemplo, indicaciones de los entrenadores, jugadas pre-establecidas, estrategia, etc. Estas nos brindan algunos indicios sobre el perfil de cada equipo y de cómo se enfrentan a diferentes situaciones de juego.

Por lo tanto, nosotros proponemos el uso de la teoría de redes como medio para averiguar las características del equipo de baloncesto, entendido como una red de jugadores. Esta metodología nos puede proporcionar la oportunidad de descubrir cómo funciona un equipo de baloncesto a través del comportamiento de los jugadores a través de sus interacciones reales.

La mayoría de los estudios frente a este fenómeno en lo que respecta a los aspectos externos, por ejemplo, la inclusión de un jugador en un equipo o una liga o un torneo. Hemos querido abordar el problema desde un punto de vista de colaboración y desde el proceso interno y no desde aspectos externos.

## METODOLOGÍA

La teoría de redes se aplica en diversos campos del conocimiento y de estudio como la biología, matemáticas, economía, ecología, física, sociología, ingeniería, y como no, en las ciencias del deporte. El primer antecedente del que se tiene constancia en el campo científico es el famoso problema de los siete puentes de Königsberg, planteado por el matemático Leonhard Euler en 1736. Euler describió matemáticamente los vértices y conexiones necesarias para resolver el problema, de manera que se estableció la teoría de grafos, una rama de las matemáticas que estudia las propiedades de las estructuras de red.

En una época más reciente cabe destacar el trabajo de Jacob Moreno, un discípulo de Sigmund Freud que en los años 20 rompió con las ideas de su mentor acerca de los problemas socio-emocionales del individuo. Él creía que estos tenían relación con las relaciones actuales con la familia, amigos, conocidos, compañeros de trabajo, etc. Para estudiar estas relaciones desarrolló los sociogramas y utilizó conceptos como centralidad y aislamiento.

Otro de los trabajos relevantes en este campo, y quizás uno de los más famosos, fue el realizado en 1967 por el psicólogo estadounidense Stanley Milgram. Milgram ideó una teoría a la que denominó "Teoría del mundo pequeño", la cual captó el interés de muchos investigadores. La conclusión general de los trabajos de Milgram fue que una red de mundo pequeño presenta un alto grado de agrupamiento y longitudes de conexión cortas. En promedio, cualquier persona en el mundo está separada de cualquier otra por tan solo seis intermediarios o seis grados de separación. Además, encontró un dato curioso: la mayor parte de las trasmisiones que estudió pasaban por las mismas cuatro personas. Este tipo de estructuras fomenta la creatividad y la colaboración, dado que la información fluye a través de numerosos nodos muy separados en muy pocos pasos (Fleming & Marx, 2006; Uzzi & Spiro, 2005).

En lo referente al estudio de redes, otro hallazgo relevante se produjo cuando en 1960 Paul Erdos y Alfréd Rényi publicaron su teoría de grafos aleatorios (Erdős & Rényi, 1960). Ellos estudiaron como la topología de la red cambia en función del número de conexiones. Cuando el número de conexiones ( $m$ ) es pequeño, la red parece fragmentada en pequeñas agrupaciones o nodos, a los que ellos llamaron componentes ( $n$ ). A medida que el número de conexiones aumenta, sucederá que nodos aislados comenzarán a conectarse y más adelante nodos que ya estaban conectados se conecten a otros que no lo estaban. Una transición de fase se produce cuando  $m \approx n/2$ , donde muchos de estos grupos de entrecruzamiento se unen espontáneamente para formar un componente único gigante. Esta teoría ha sido estudiada en profundidad por otros matemáticos y científicos de otras áreas. También han servido como arquetipo de acoplamiento para los modelos dinámicos de las redes de genes, los ecosistemas y la propagación de enfermedades infecciosas y virus informáticos (Kauffman, 1995; May, 2001; Strogatz, 2001).

Otro avance significativo en el estudio de la topología de las redes, se produjo cuando Duncan Watts modelizó matemáticamente las redes de mundo pequeño. Este modelo se conoce como modelo Watts-Strogatz en honor a Duncan J. Watts y Steven Strogatz (Watts & Strogatz, 1998). Fue diseñado como el modelo más simple posible que aborda algunas limitaciones del modelo de Erdos-Rényi. Por ejemplo, el modelo Erdos-Rényi establece una probabilidad constante, aleatoria e independiente de que dos nodos sean conectados, y además, tienen un coeficiente de agrupación bajo. Mientras que el modelo Watts-Strogatz establece distancias medias pequeñas y valores altos del coeficiente de agrupamiento (clustering coefficient). También se diferencia en que el modelo de Erdos-Renyi sigue un grado de distribución de tipo Poisson, en lugar de una ley de potencia como se observa en la mayor parte de redes reales.

En 1999 se introdujo el concepto de red libre de escala (scale-free network) propuesta por Albert-László Barabási y Reka Albert, al cual se le conoce como el modelo Barabási-Albert (Barabási & Albert, 1999). Este modelo explica cómo se forman al azar redes libres de escala mediante un mecanismo denominado ventaja acumulativa (preferential attachment). Las redes libres de escala son ampliamente observadas en los sistemas naturales; y provocadas por el hombre, incluido Internet, las redes de citas bibliográficas y algunas redes sociales.

Pero por qué es tan importante conocer la topología de una red. Simplemente porque la estructura afecta a la función (Amaral & Ottino, 2004; Montoya Terán, Solé, & Rodríguez Fernández, 2001; Solé, 2009; Strogatz, 2001). Como vemos, las redes se manifiestan en muchos contextos biológicos y tecnológicos, indicando la universalidad de ciertos principios funcionales y organizativos en los sistemas (Montoya Terán et al., 2001; Solé & Goodwin, 2002). Por lo tanto, nosotros proponemos el uso de la teoría de redes como medio para averiguar las características del equipo de baloncesto, entendido como una red de jugadores. Esta metodología nos puede proporcionar la oportunidad de descubrir cómo funciona un equipo de baloncesto a través del comportamiento de los jugadores, a través de sus interacciones reales.

## APLICACIÓN AL DEPORTE

No son muchos los ejemplos de la aplicación del estudio de redes en el deporte. Esto es debido quizás a que es un campo de aplicación en el que esta metodología es bastante reciente. Lo importante es definir el nivel que se estudia, ya que no es lo mismo estudiar el comportamiento de los jugadores de un equipo, como la dinámica de los equipos en una liga.

Por ejemplo, Bejan y Haynsworth (A. Bejan & Haynsworth, 2012) estudiaron el diseño natural del ranking de baloncesto universitario norteamericano y su relación con los logros académicos. Ambos presentan una estructura jerárquica pero son flujos independientes porque no hay correlación entre las dos clasificaciones. Los desplazamientos de los jugadores de baloncesto desde el instituto hacia el nivel profesional es un flujo con su propia arquitectura.

Park y Newman (Park & Newman, 2005) nos proponen un sistema de clasificación basado en una red para el fútbol americano universitario (Figura 1). El método tiene un parámetro libre y han dado evidencia empírica indicando el rango típico de los mejores valores para este parámetro y un método para elegir un valor en cualquier caso particular.

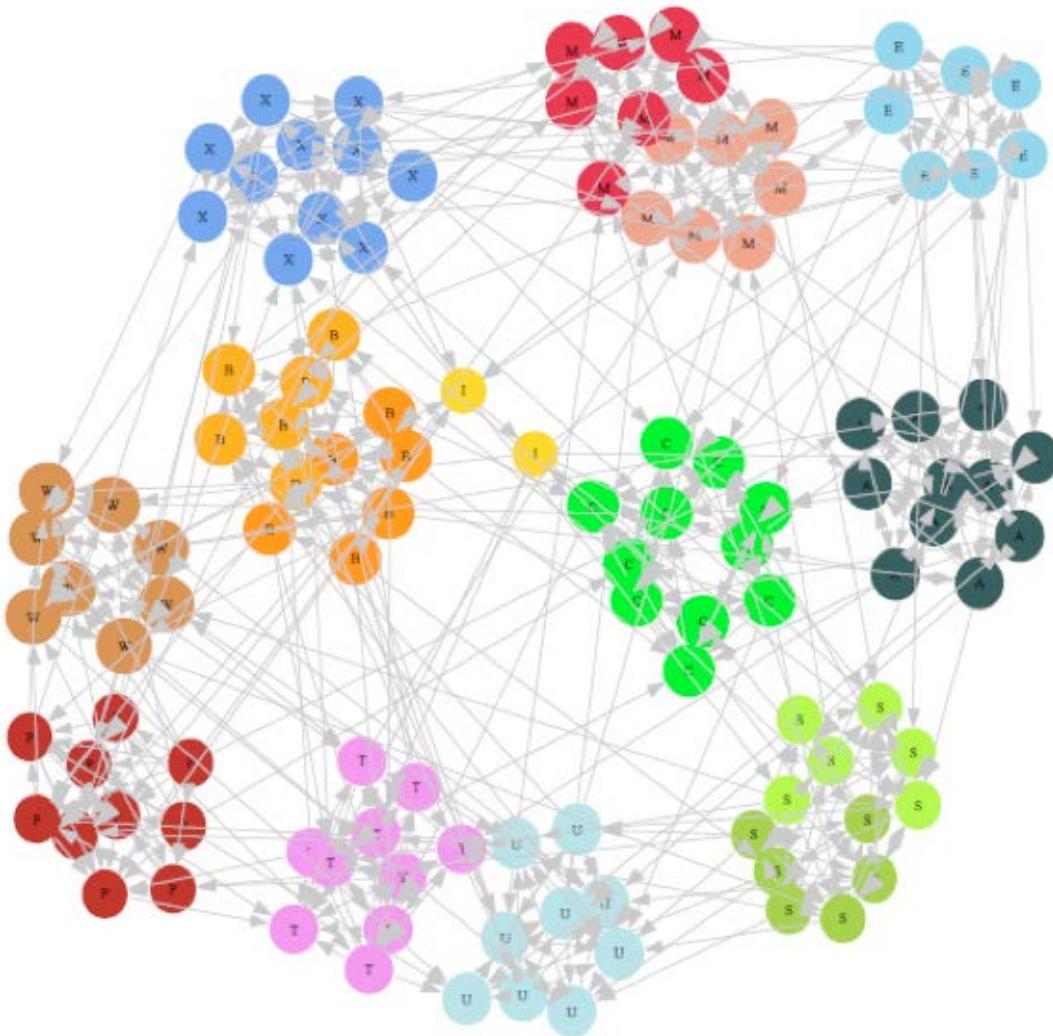


Figura 1. Representación gráfica del calendario de la temporada regular de los equipos de la División IA en 2004 propuesta por Park y Newman (2005). Los equipos están divididos por conferencia (A = Costa Atlántica, E = Big East, Big Ten X =, B = Gran XII, C = Conferencia de EE.UU., M = Mid-American, P = Pac Ten, W = oeste de la montaña, S = Southeastern, U = Sun Belt, T = Western Athletic, I = Independiente). Las flechas dirigidas señalan de los ganadores a los perdedores.

Este tipo de análisis no es exclusivo de deportes colectivos, aunque si es verdad que quizás es más sencillo a la hora de visualizar algunos conceptos. Se puede realizar un análisis de redes desde una perspectiva histórica (Figura 2), es decir, añadiendo el factor tiempo a la ecuación, para tratar de dilucidar la calidad de los integrantes de un torneo (Radicchi, 2011):

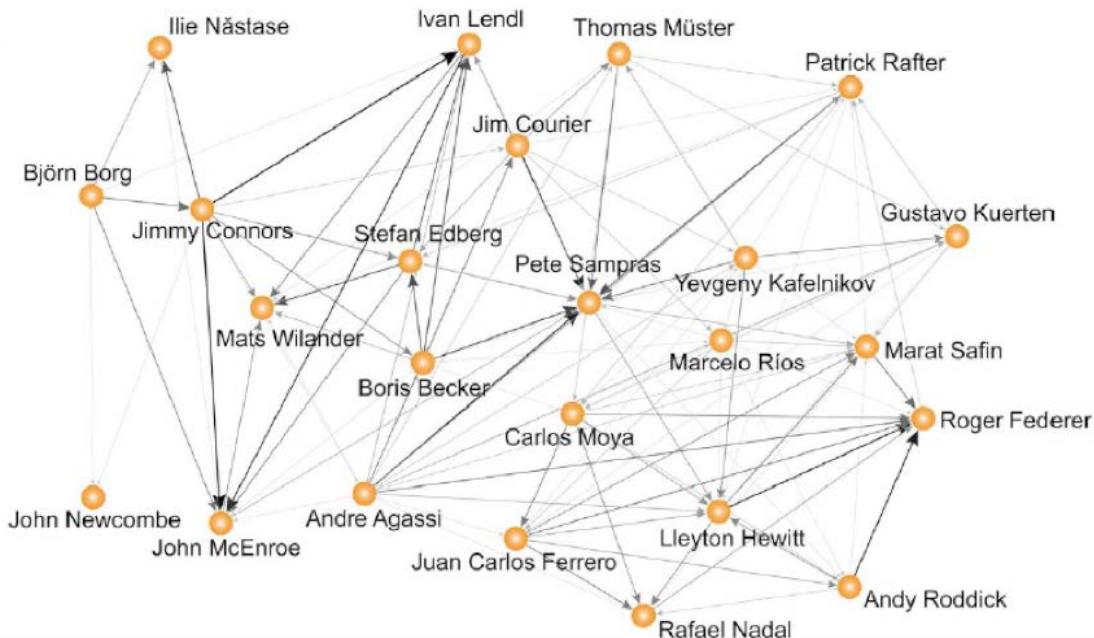


Figura 2. Red de contactos propuesta por Radicchi (2011), la cual representa sólo a aquellos jugadores que han sido número uno en el ranking ATP. Las intensidades y anchos son proporcionales al logaritmo de la intensidad soportado por cada flecha.

En la figura 2, propuesta por Radicchi (2011), está representada la red de contactos de jugadores profesionales clasificados en la Asociación Tenista Profesional (ATP). Esta se limita sólo a los 24 jugadores después de haber sido el número uno en el ranking ATP oficial. Además Radicchi señala que, en general, las redes obtenidas a partir de la agregación de un número suficientemente alto de coincidencias tienen características topológicas complejas consistentes con la mayoría de los sistemas de red sociales estudiados hasta ahora en la literatura (Albert & Barabási, 2002; Newman, 2003).

Otro ejemplo interesante es el estudio de los jugadores como red social, entendiendo a los clubes deportivos como las estructuras que contienen a los jugadores, es decir, desde donde parten hasta donde se dirigen, pudiendo así calcular las inclusiones de los jugadores en un mismo club o la permanencia de estos en un mismo club. Un buen ejemplo es el descrito por Onody y de Castro (Onody & de Castro, 2004), quienes estudiaron la red de jugadores brasileños de 32 ediciones del campeonato de fútbol brasileño (Figura 3). Ellos apuntan que existe un patrón segregacionista creciente, donde la transferencia de jugadores se produce, preferentemente, entre los equipos del mismo tamaño. Y que además, los valores medios de longitud de las trayectorias más cortas pueden sugerir que es independiente del tamaño, pero también mencionan que esta conclusión no está clara debido a que son relativamente pocas generaciones de jugadores brasileños las que han estudiado.

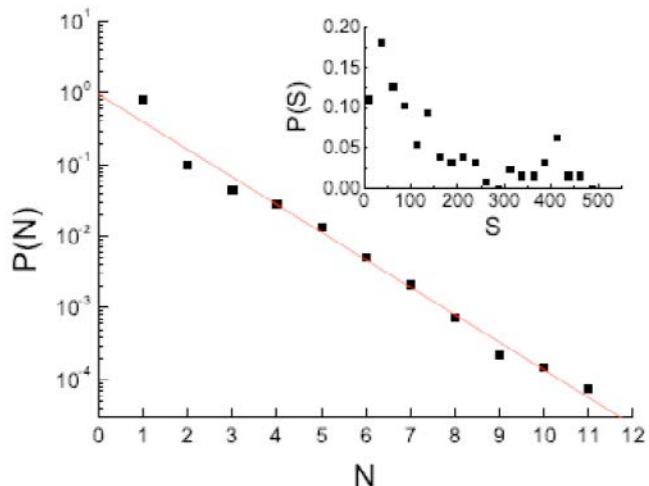


Figura 3. Onody y de Castro (2004) mencionan que la probabilidad  $P(N)$  que un jugador ha trabajado para  $N$  clubes se corresponde con la curva ajustada  $P(N) \sim 10^{-0.38N}$ . Por lo tanto, es 190 veces más probable encontrar a alguien quien ha jugado para los dos únicos clubes que para los ocho clubes. El recuadro superior representa el grado de distribución  $P(S)$  para los clubes.

La figura 3 (Onody & de Castro, 2004) indica las distribuciones de grado para cada tipo de vértice de la red: los jugadores y los clubes. La probabilidad jugador  $P(N)$  muestra un decaimiento exponencial con el jugador grado  $N$ , donde  $N$  corresponde al número de clubes en los que un jugador ha trabajado alguna vez.

Otro nivel en el estudio de redes deportivas es el que se refiere al partido en sí. En este caso existen diferentes maneras de abordar el problema. En fútbol, por ejemplo, se puede estudiar el flujo del juego a través de los jugadores (Brillinger, 2007; Hughes & Franks, 2005).

Nosotros proponemos una óptica un tanto diferente. En nuestro caso no estudiamos las trayectorias de los jugadores en el campo, sino el flujo de los jugadores en cuanto sus interacciones en el campo en relación al juego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN. APLICACIÓN AL BALONCESTO

Como objeto de estudio, tomamos el último partido de la final de la conferencia Este de la NBA de la temporada 2011, que enfrentó a Chicago Bulls y a Miami Heat. Definimos como variables de estudio la interacción de los jugadores en la cancha, es por eso que medimos, como medio de comunicación de los jugadores en la cancha y como indicador del flujo de juego, el número de pases, los bloqueos y las creaciones de espacio para cada jugada.

Los pases representan el ejemplo más claro de la interacción de los jugadores en la cancha, porque el hecho de pasar el balón a un compañero de equipo permite crear una situación de tiro u otra situación favorable. Los bloqueos también representan un ejemplo interesante de la interacción de los jugadores porque el objetivo de un bloqueo es neutralizar a un defensor y/o buscar una situación de superioridad tras el bloqueo, tal como una penetración clara hacia canasta, un tiro claro, un aclarado, etc. Este parámetro está relacionado con el siguiente.

La creación de espacio representa también la interacción entre jugadores. Un buen ejemplo de este fenómeno es la situación de pick and roll (bloqueo y continuación), donde un jugador bloquea al defensor de un compañero, e inmediatamente, tras el bloqueo, avanza hacia la canasta (por ejemplo, el famoso corte UCLA).

Aquí están representadas las gráficas de los pases, bloqueos y creaciones de espacio para ambos equipos:

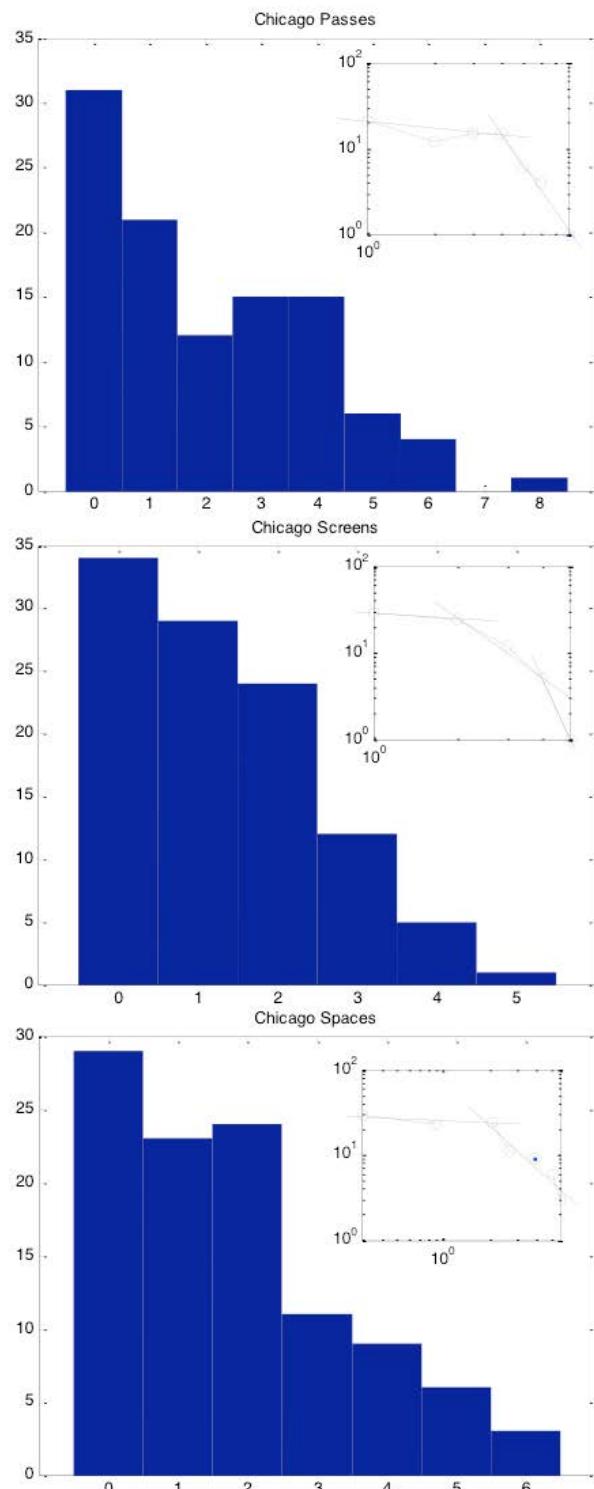


Figura 4. Histogramas de pases, bloqueos y creaciones de espacio de Chicago respectivamente. El eje X representa el número de eventos del parámetro y el eje Y el número de jugadas que han tenido lugar con esa cantidad de eventos. La distribución no es uniforme. El histograma muestra que a mayor número de eventos, menor número de jugadas con esa cantidad de situaciones. Cuando realizamos un gráfico log-log (recuadro superior de cada histograma respectivamente) se observa que hay un punto de inflexión en todos los parámetros analizados. Lo que indica varias leyes de potencia truncadas.

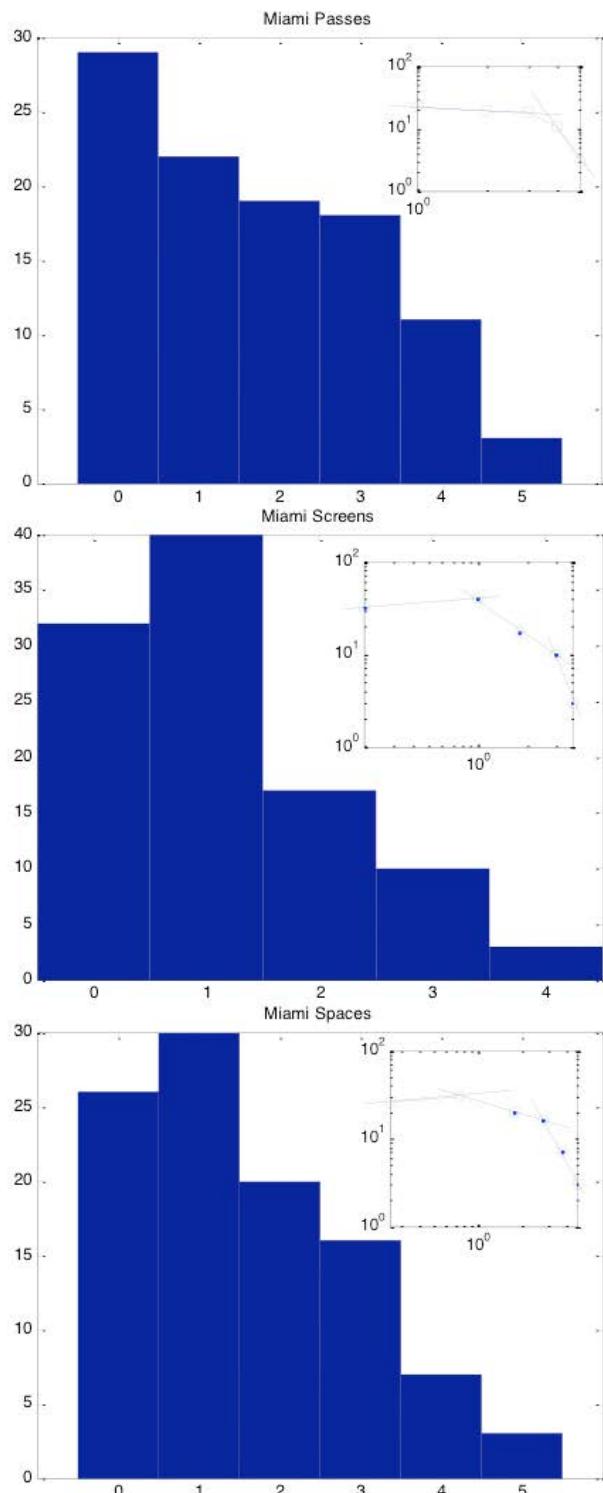


Figura 5. El mismo análisis para el caso de Miami; pases, bloqueos y creaciones de espacio respectivamente. No hay grandes diferencias entre el número de pases. La distribución siempre disminuye pero en el gráfico log-log (panel superior de cada histograma) señala un corte más allá de tres pases. El número de jugadas con un solo bloqueo son más numerosas que el resto. Esto es interesante porque el gráfico log-log señala tres áreas diferentes. La distribución de creación de espacio es similar a la de los bloqueos. El número de jugadas con una creación de espacio es mayor que el resto. Otro tipo de dinámica está dada por las diferentes regiones, como podemos ver cuando tomamos el gráfico log-log (panel superior).

Las figuras 4 y 5 representan el histograma del número de pases, bloqueos y creaciones de espacio respectivamente. El eje X representa el número de eventos y el eje Y representa el número de partidos con el número de eventos sucedido. Podemos observar como las distribuciones no son uniformes.

Chicago, en este partido, realiza jugadas de hasta ocho pases, mientras que Miami sólo alcanza jugadas con cinco pases como máximo. Incluso las diferencias de valor de Miami son inferiores a Chicago, en general. Ambos paneles superiores representan el doble logaritmo (gráfico log-log) de la distribución. Distinguimos que el corte de Chicago se encuentra en jugadas de cuatro pases, pero para Miami está situado en jugadas con tres pases. La presencia de leyes de potencia truncadas o Power Laws truncadas, señala diferentes dinámicas en relación a los pases. Para ambos equipos, una vez que alcanzan el punto de inflexión, la dinámica de pases cambia sustancialmente.

En cuanto a los bloqueos, el histograma de Chicago decae siempre, mientras que la situación predominante en Miami es jugadas con un solo bloqueo. Por otra parte, en ocasiones Chicago realiza jugadas con hasta 5 bloqueos, uno más que Miami. Cuando realizamos un gráfico log-log para ambos histogramas (paneles superiores), los resultados señalaron un corte a partir de jugadas con dos bloqueos para Chicago y algo curioso pasó en Miami. No existe un solo corte, sino dos. El primero situado en jugadas con un bloqueo y el segundo situado en jugadas con tres bloqueos. Es notable que en Miami aparezcan dos puntos de corte diferentes. Este hecho nos da una gran cantidad de información sobre el estilo de juego de Miami. La principal opción de Miami es jugadas con un solo bloqueo, o sin bloqueos. Si no son capaces de resolver la situación, su dinámica de bloqueos cambia, apareciendo dos o tres bloqueos en la misma jugada. Y cuando las situaciones se complican, alcanzan hasta cuatro bloqueos, pero esta situación es muy rara en comparación con la anterior. Chicago, por otro lado presenta un comportamiento homogéneo con cero, uno o dos bloqueos por jugada. Una vez llegado a este punto, el perfil del equipo de Chicago, señala que la dinámica interna se ha modificado y se puede dar hasta cinco bloqueos en la misma jugada.

Como se puede observar en las figuras 4 y 5, Chicago y Miami muestran diferentes perfiles en cuanto a las creaciones de espacio. Chicago parece mostrar una región homogénea desde cero a dos creaciones del espacio por jugada, y los valores decaen a partir de este punto. En contraste, Miami muestra un predominio de una creación de espacio por jugada, a pesar de que los valores de las creaciones de espacio cero son similares. El gráfico log-log (paneles superiores) revela dos áreas diferentes en Chicago y tres en Miami.

Este análisis revela la presencia de varias Power Laws truncadas (diferentes para cada caso). Algunos autores (Bittner, Nußbaumer, Janke, & Weigel, 2009; Greenhough, Birch, Chapman, & Rowlands, 2001; Heuer, Mueller, & Rubner, 2010; Malacarne & Mendes, 2000; Mendes, Malacarne, & Anteneodo, 2007) enfatizan la presencia de Power Laws truncadas, las cuales se asocian con numerosos fenómenos naturales. Este tipo de distribuciones, las leyes de potencia o Power Laws, están vinculadas a ideas provenientes de la física estadística y los sistemas complejos, tales como la autoorganización y dinámicas no lineales (Bourbousson, Sève, & McGarry, 2010; Malacarne & Mendes, 2000; McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Franks, 2002).

La presencia de estos puntos críticos sugiere que la dinámica interna de juego varía significativamente y sustancialmente. La anotación en baloncesto presenta una naturaleza no lineal (de Saá Guerra et al., 2013). Las diferentes acciones y comportamientos resultantes del enfrentamiento entre los equipos, queda manifiesta en la manera en la que el marcador evoluciona. Por consiguiente, es necesario estudiar el sistema integrado en su propio entorno. Las siguientes figuras representan la evolución del marcador frente a los parámetros medidos.

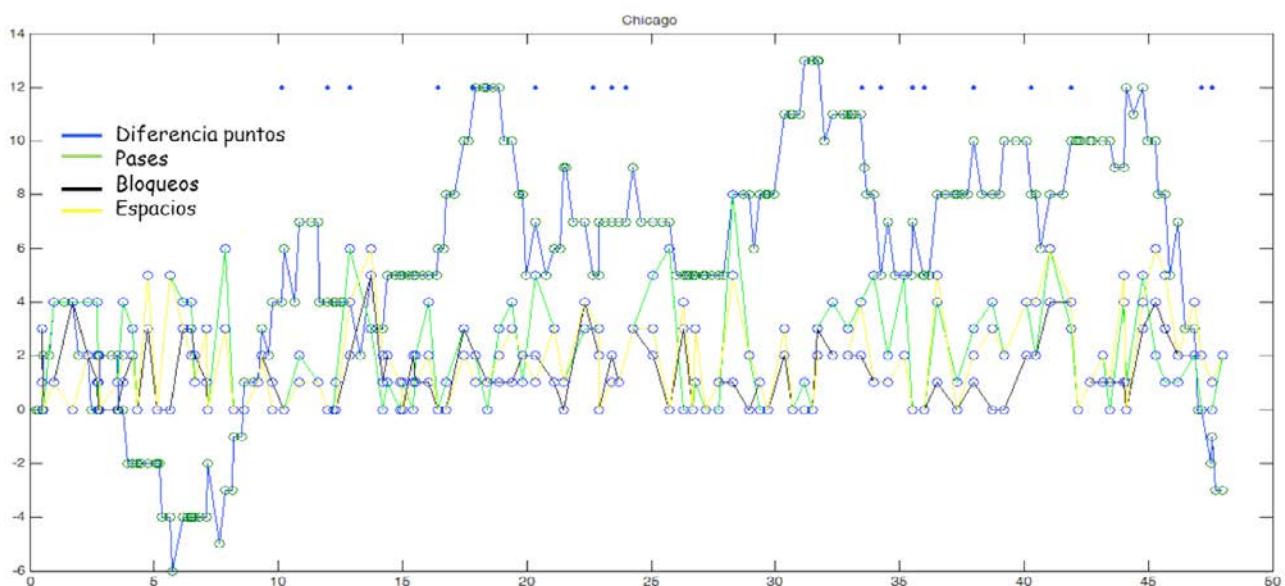


Figura 6. El eje X muestra el tiempo de juego. El eje Y muestra la diferencia de puntos: positivo para Chicago, negativo para Miami. La línea azul corresponde a la diferencia de puntos en el tiempo de juego. La línea verde representa los pases, la negra los bloqueos y la amarilla las creaciones de espacio. En la parte superior, los puntos azules representan las sustituciones de jugadores. Destaca que la frecuencia de estos fenómenos coincide con algunas situaciones clave de juego y algunos parciales de anotación. En el caso de Chicago, se puede observar que en las situaciones de desventaja y/o después de parciales de anotación negativos, la frecuencia de pases, bloqueos y creaciones espacio por jugada aumentan (por ejemplo, minuto cinco, catorce, veinte, cuarenta y dos, cuarenta y cinco, etc.), y la situación inversa: cuando Chicago toma la ventaja, las frecuencias de los pases, bloqueos y creaciones de espacio tienden a estabilizarse (valores bajos).

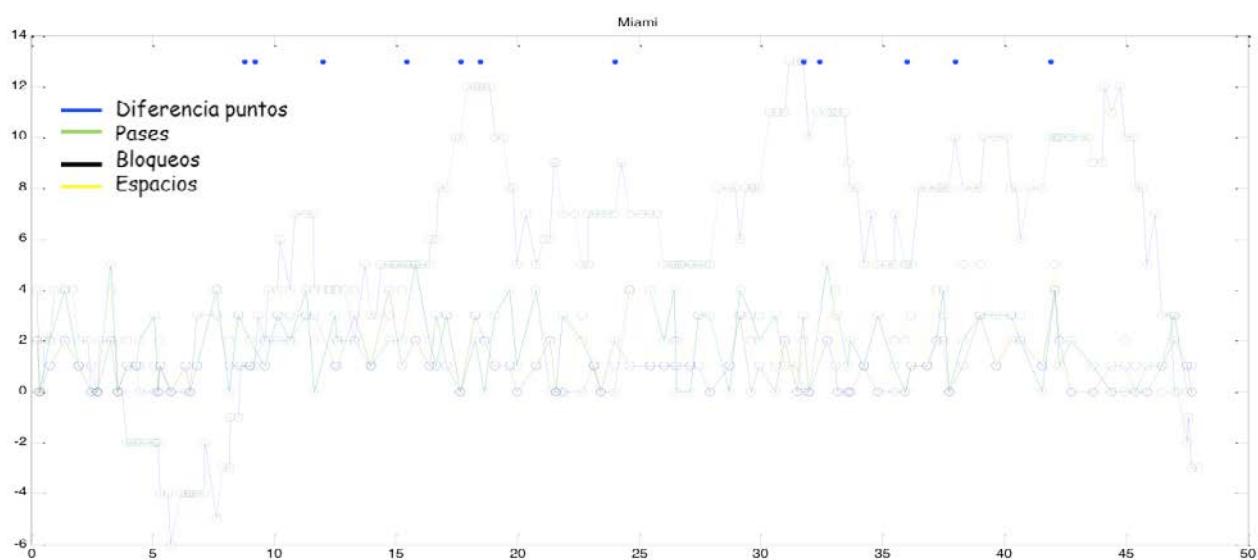


Figura 7. El eje X muestra el tiempo de juego. El eje Y muestra la diferencia de puntos: positivo para Chicago, negativo para Miami. La línea azul corresponde a la diferencia de puntos en el tiempo de juego. La línea verde representa los pases, la negra los bloqueos y la amarilla las creaciones de espacio. En la parte superior, los puntos azules representan las sustituciones de jugadores. Al igual que en el caso anterior, destaca que las frecuencias de los pases, bloqueos y creaciones de espacio coinciden con algunas situaciones claves del juego y algunos parciales de anotación. En el caso de Miami, podemos observar que la mayor parte del juego se encuentra en una situación de desventaja, por lo que las frecuencias son altas. Pero en alguna ocasión, como en el minuto las cinco, catorce, veinte, cuarenta y cinco, etc. los valores son bajos (frecuencias más bajas) y coinciden con una puntuación o parcial positivo.

Los resultados (Figuras 6 y 7) muestran que la frecuencia de pases, bloqueos y creaciones de espacio no permanecen estables, sino que varían en función de la situación del partido (evolución del marcador). Los equipos modifican su estructura de red en base a la situación a la que se enfrentan en una misma jugada o durante el partido, tal y como muestra la presencia de leyes de potencia truncadas. Estos puntos de inflexión coinciden perfectamente con situaciones bien definidas del partido, lo que sugiere procesos de autoorganización.

Lograr dar un pase no es tan fácil. El objetivo de la defensa es evitar el progreso de la pelota o de los jugadores rivales hacia la canasta. Es similar a los modelos bloques deslizantes de los terremotos donde elementos tratan de luchar por un espacio a través de las interacciones locales y por lo tanto debe mostrar la autoorganización. En baloncesto se puede pensar que el número de pases puede estar restringido por la defensa, lo que induce a pensar algo similar a la teoría de placas deslizantes. De hecho, el éxito del equipo (ataque o defensa) depende de las secuencias de acción.

Las figuras 4 y 5 nos muestran que hay algunas leyes potencias truncada con respecto a las interacciones de los jugadores (pases, bloqueos y creaciones de espacio). Si entendemos el equipo como una red de jugadores, se puede deducir que si el equipo se mantiene en la primera parte de la Ley de potencia (antes del primer punto de inflexión) el equipo se comporta como una red de mundo pequeño.

La estructura de mundo pequeño facilita la transmisión de información entre sus componentes, porque todos los nodos se conectan en muy pocos pasos. Esta alta velocidad en la transmisión de información a través de los nodos facilita cualquier proceso dinámico, tales como la sincronización y la autoorganización, la cual requiere una coordinación y flujo de información. Existen numerosos ejemplos: redes metabólicas (Jeong, Tombor, Albert, Oltvai, & Barabási, 2000), colaboraciones científicas (Newman, 2001), internet (Adamic, 1999), etc.

Además, gracias a esta topología las redes de mundo pequeño pueden preservar su estructura inherente a pesar de un importante número de perturbaciones o ataques (Uzzi, Amaral, & Reed-tsochas, 2007). Esto puede interpretarse como que, en efecto, cuando el equipo está en una situación estable, sufre constantemente ataques por parte del otro equipo, pero mantiene su estructura a lo largo del juego, lo que le permite sobreponerse a estos ataques.

Por otro lado, cuando el equipo rebasa el punto de inflexión (Figuras 4 y 5), la aparición de leyes de potencia, trasladadas al ámbito deportivo, indica que hay nodos con más conexiones que otros. De esta manera el flujo de juego se focaliza en algunos jugadores. El equipo pasa de un flujo difuso a un flujo concentrado, incluso jerárquico. Al comportarse en forma de ley de potencia significa que algunos jugadores absorben más juego que otros.

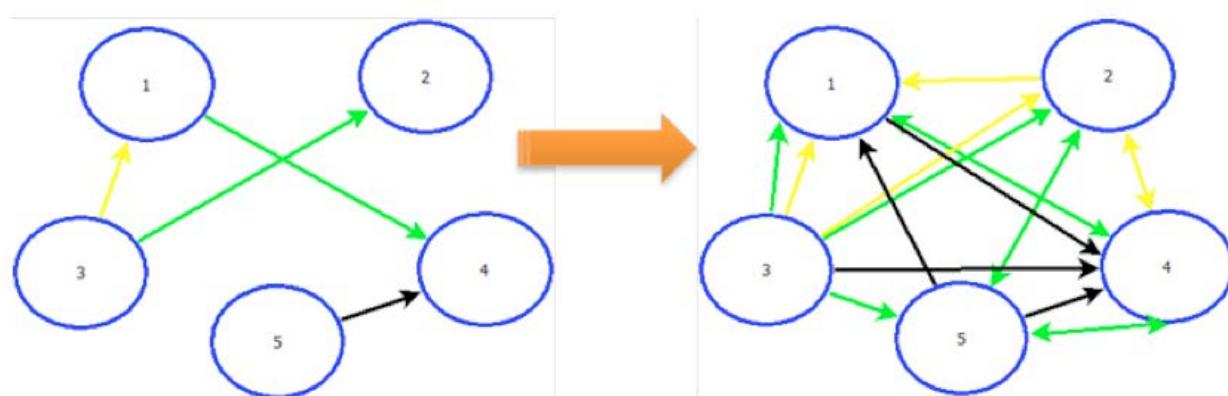


Figura 8. Representación de la evolución de los equipos de red de mundo pequeño a red libre de escala. Los equipos resuelven la situación de juego con sólo unos pocos pasos, pero si la situación se hace más crítica, modifican el flujo de juego a una red libre de escala. Cada parámetro se jerarquiza.

Esto no significa necesariamente que el jugador en el que se centra el juego realice todos los lanzamientos a canasta. Puede ser también un distribuidor o creador de juego. O una emergencia causada por el tiempo (fin de la posesión) o una situación específica del juego (Figura 8). Dado el alto grado de aleatoriedad que existe en la mayor parte de los partidos con una diferencia de puntos menor a 11 puntos, podemos suponer que la mayoría de partidos presentan un alto grado de incertidumbre. Por ello es muy complicado conocer con anterioridad cómo se comportarán los jugadores. Pero observamos como existen patrones que surgen de manera espontánea respondiendo a necesidades tácticas o de supervivencia en el juego.

## CONCLUSIONES

En conclusión, podemos decir que algunos parámetros, tales como pases, bloqueos y creaciones de espacio, pueden ser interpretados como interacciones entre los jugadores. Además, se pueden utilizar con el fin de analizar la dinámica y el ritmo del juego en un partido de baloncesto real, entendida como una red dinámica.

Un equipo de baloncesto puede ser considerado como un buen ejemplo de autoorganización. Los defensores colaboran con el fin de obstaculizar el flujo de los atacantes. Pero al mismo tiempo los atacantes tratan de superar esta oposición a través de sus habilidades como equipo. Es un deporte de colaboración-oposición. Las múltiples interacciones locales entre los compañeros de equipo y oponentes (principalmente de tipo no lineal) se influencian de manera mutua y confiere al juego un perfil crítico. Por otra parte, los equipos aprenden. Ellos exhiben los procesos de memoria. Esta habilidad permite a los equipos superar las tácticas del oponente, "reparar" y modificar sus estructuras y comportamientos defensivos y de ataque con el fin de marcar o evitar que anoten. Todos estos procesos tienen lugar simultáneamente y de forma continua durante el tiempo de juego. Es por ello que el sistema se comporta como un sistema auto-organizado.

De hecho, eso es lo que hace atractivo al deporte para los aficionados y los medios de comunicación, permitiéndoles sobrevivir y mejorar la capacidad de los equipos para que surjan nuevos comportamientos.

## REFERENCIAS

- Adamic, L. A. (1999). The Small World Web. S. Abiteboul & A.-M. Vercoustre (Eds.), *Research and Advanced Technology for Digital Libraries* (443-452). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de [http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-48155-9\\_27](http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-48155-9_27)
- Albert, R., & Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74(1), 47-97. doi:10.1103/RevModPhys.74.47
- Amaral, L. A. N., & Ottino, J. M. (2004). Complex networks. *The European Physical Journal B - Condensed Matter*, 38(2), 147-162. doi:10.1140/epjb/e2004-00110-5
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509-512. doi:10.1126/science.286.5439.509
- Bejan, A., & Haynsworth, P. (2012). The natural design of hierarchy: Basketball versus academics. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 7(1), 14-26. doi:10.2495/DNE-V7-N1-14-26
- Bejan, A., Jones, E. C., & Charles, J. D. (2010). The evolution of speed in athletics: Why the fastest runners are black and swimmers white. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 5(3), 199-211. doi:10.2495/DNE-V5-N3-199-211
- Bejan, A., & Lorente, S. (2011). The constructal law and the evolution of design in nature. *Physics of Life Reviews*, 8(3), 209-240. doi:10.1016/j.plrev.2011.05.010
- Bejan, A., & Zane, J. P. (2013). *Design in Nature: How the Constructal Law Governs Evolution in Biology, Physics, Technology, and Social Organization*. Knopf Doubleday Publishing Group.
- Bittner, E., Nußbaumer, A., Janke, W., & Weigel, M. (2009). Football fever: goal distributions and non-Gaussian statistics. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, 67(3), 459-471.
- Bourbousson, J., Sèvre, C., & McGarry, T. (2010). Space-time coordination dynamics in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 349-358. doi:10.1080/02640410903503640
- Brillinger, D. R. (2007). A Potential Function Approach to the Flow of Play in Soccer. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 3(1). doi:10.2202/1559-0410.1048
- Charles, J. D., & Bejan, A. (2009). The evolution of speed, size and shape in modern athletics. *The Journal of Experimental Biology*, 212(15), 2419-2425. doi:10.1242/jeb.031161

De Saá Guerra, Y., Martín Gonzalez, J. M., Montesdeoca, S. S., Rodriguez Ruiz, D., Arjonilla López, N., & García Manso, J. M. (2013). Basketball scoring in NBA games: An example of complexity. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 94-103. doi:10.1007/s11424-013-2282-3

Erdős, P., & Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, 5, 17-61.

Fleming, L., & Marx, M. (2006). Managing Creativity in Small Worlds. *California Management Review*, 48(4), 6-27. doi:10.2307/41166358

García Manso, J. M., Martín González, J. M., Da Silva-Grigoletto, M. E., Vaamonde, D., Benito, P., & Calderón, J. (2008). Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems. *Journal of Theoretical Biology*, 251(3), 498-508. doi:10.1016/j.jtbi.2007.12.010

Greenhough, J., Birch, P. C., Chapman, S. C., & Rowlands, G. (2001). Football goal distributions and extremal statistics. arXiv: cond-mat/0110605. doi:10.1016/S0378-4371(02)01030-0

Guimera, R., Uzzi, B., Spiro, J., & Amaral, L. A. N. (2005). Team Assembly Mechanisms Determine Collaboration Network Structure and Team Performance. *Science*, 308(5722), 697-702. doi:10.1126/science.1106340

Hernández Moreno, J. (1994). *Fundamentos del deporte: análisis de las estructuras del juego deportivo*. Barcelona: INDE.

Heuer, A., Mueller, C., & Rubner, O. (2010). Soccer: is scoring goals a predictable Poissonian process? arXiv:1002.0797. doi:10.1209/0295-5075/89/38007

Hughes, M., & Franks, I. (2005). Analysis of passing sequences, shots and goals in soccer. *Journal of sports sciences*, 23(5), 509-514. doi:10.1080/02640410410001716779

Jackson, P., & Delehanty, H. (2006). *Sacred Hoops: Spiritual Lessons of a Hardwood Warrior*. Hyperion Books.

Jeong, H., Tombor, B., Albert, R., Oltvai, Z. N., & Barabási, A. L. (2000). The large-scale organization of metabolic networks. *Nature*, 407(6804), 651-654. doi:10.1038/35036627

Kauffman, S. A. (1995). *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford: Oxford University Press.

Knapp, B. (1981). *La habilidad en el deporte*. Valladolid: Miñón.

Malacarne, L., & Mendes, R. (2000). Regularities in football goal distributions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 286(1-2), 391-395. doi:10.1016/S0378-4371(00)00363-0

May, R. M. (2001). *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton: Princeton University Press.

McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 771-781. doi:10.1080/026404102320675620

Mendes, R. S., Malacarne, L. C., & Anteneodo, C. (2007). Statistics of football dynamics. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 363(3), 357-363. doi:10.1140/epjb/e2007-00177-4

Montoya Terán, J. M., Solé, R. V., & Rodríguez Fernández, M. Á. (2001). La arquitectura de la naturaleza: complejidad y fragilidad en redes ecológicas. Recuperado a partir de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/11245>

Newman, M. E. J. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 404-409. doi:10.1073/pnas.98.2.404

Newman, M. E. J. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45(2), 167-256. doi:10.1137/S003614450342480

Onody, R. N., & de Castro, P. A. (2004). Complex network study of Brazilian soccer players. *Physical Review E*, 70(3), 037103. doi:10.1103/PhysRevE.70.037103

Park, J., & Newman, M. E. J. (2005). A network-based ranking system for US college football. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2005(10), P10014. doi:10.1088/1742-5468/2005/10/P10014

Radicchi, F. (2011). Who Is the Best Player Ever? A Complex Network Analysis of the History of Professional Tennis. *PLoS ONE*, 6(2), e17249. doi:10.1371/journal.pone.0017249

Ribeiro, H. V., Mendes, R. S., Malacarne, L. C., Jr, S. P., & Santoro, P. A. (2010). Dynamics of tournaments: the soccer case - A random walk approach modeling soccer leagues. *The European Physical Journal B*, 75(3), 8. doi:10.1140/epjb/e2010-00115-5

Riolo, R. L., Cohen, M. D., & Axelrod, R. (2001). Evolution of cooperation without reciprocity. *Nature*, 414(6862), 441-443. doi:10.1038/35106555

Ruiz, L. M. (1999). Rendimiento deportivo, optimización y excelencia en el deporte. *Revista de psicología del deporte*, 8(2), 235-248.

Solé, R. (2009). Complex networks [Redes complejas] (1st. ed.). Barcelona: Tusqets.

Solé, R., & Goodwin, B. (2002). Signs of life: how complexity pervades biology. Basic Books.

Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *Nature*, 410(6825), 268-276. doi:10.1038/35065725

Uzzi, B., Amaral, L. A., & Reed-tsochas, F. (2007). Small-world networks and management science research: a review.

Uzzi, B., & Spiro, J. (2005). Collaboration and Creativity: The Small World Problem. *American Journal of Sociology*, 111(2), 447-504. doi:10.1086/432782

Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of /'small-world/' networks. *Nature*, 393(6684), 440-442. doi:10.1038/30918

Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(8), 585-596. doi:10.1038/nrn2672