

# Planificar Asistencia a Partidos de un Mundial de Fútbol

## Algoritmos Evolutivos - UdelAR

Agustín Occhiuzzi Rodriguez

Facultad de Ingeniería, UdelAR

Maldonado, Uruguay

CI: 5.480.562-4

agusoryt@gmail.com

Juan Francisco Duarte Medina

Facultad de Ingeniería, UdelAR

Maldonado, Uruguay

CI: 5.201.302-9

dfrancisco0202@gmail.com

**Resumen**—En este artículo se presenta cómo se podría resolver el problema de asistencia a partidos de un campeonato del mundo de fútbol para diferentes grupos de personas, usando un algoritmo evolutivo multiobjetivo que nos permita encontrar una asignación óptima de los partidos para cada una de los grupos de forma eficiente computacionalmente para cualquier instancia del problema.

### I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente un campeonato mundial de la FIFA (a partir de 2026), consiste en un torneo realizado en uno o varios países en el que participan 48 equipos que representan diferentes países. El campeonato se organiza en 12 grupos de 4 equipos, de forma que cada país juega 3 partidos en la fase de grupos y luego los mejores 32 se disputarán la fase final. En total en el campeonato se disputan 104 partidos.

En el o los países que se organiza el campeonato se tienen en cuenta diferentes criterios a la hora de elegir los estadios en los que se disputarán los partidos, estos deben contar con una amplia capacidad (entre 60.000 y 80.000 espectadores). Además las ciudades elegidas suelen estar conectadas por más de un medio de transporte para facilitar el viaje de los espectadores y equipos.

Dado que el campeonato es disputado por equipos de diferentes países, se espera que los espectadores provengan de todo el mundo, cada uno con diferentes preferencias a la hora de elegir a los partidos que asistirá. Para simplificar nuestro problema, nos limitamos a agrupar a las personas en diferentes grupos o hinchadas, los grupos pueden estar formados según países (ej. hinchas de Uruguay, Argentina), por continentes (ej. hinchas de América, Europa) o por criterios neutrales, como aquellos interesados en ver partidos con equipos de mayor ranking FIFA. Cada uno de los grupos cuentan con diferentes preferencias de partidos y presupuestos.

Debido a que más de un partido se disputa el mismo día a la misma hora o con poca diferencia horaria, es imposible que un hincha pueda ver más de un partido si estos están en estadios distantes o con horarios superpuestos.

En nuestro problema, aparecen varias restricciones clave:

- **Superposición de Partidos:** Más de un partido se juega el mismo día y en horarios cercanos, lo cual impide que un espectador asista a dos partidos en el mismo día si los estadios están lejos entre sí o los horarios son simultáneos.
- **Costos de Traslado:** Cada grupo cuenta con un presupuesto limitado, por lo que es necesario optimizar los costos de viaje entre ciudades sede. Además, el tiempo de traslado entre estadios se toma en cuenta, incluyendo el tiempo de viaje, la duración de los partidos y un margen de holgura para asegurar que los horarios no queden demasiado ajustados.
- **Preferencias y Disponibilidad de Partidos:** Los grupos desean asistir a partidos que sean de interés particular según el equipo o ranking.

El objetivo es implementar un algoritmo evolutivo multiobjetivo que permita a cada grupo encontrar una secuencia de partidos que maximice su interés y minimice los costos de traslado, respetando las restricciones de presupuesto y superposición de horarios.

### II. JUSTIFICACIÓN DE USO DE ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Este problema es de optimización ya que buscamos la mejor solución para el problema de la asistencia a los partidos del mundial. Aunque esta solución óptima podría verificarse de manera sencilla, el proceso de encontrarla se vuelve computacionalmente costoso cuando consideramos un número de hinchadas numeroso y todas las restricciones y detalles del problema. De esta forma, un algoritmo evolutivo multiobjetivo nos pareció lo adecuado.

Usaremos un algoritmo multiobjetivo ya que para nuestro problema requiere optimizar simultáneamente dos aspectos, minimizar los costos de traslado y maximizar el interés en los partidos. Con este tipo de algoritmos podemos generar un

conjunto de soluciones que representen distintos compromisos entre los objetivos, esto permite tener un margen de elección de solución a posteriori adaptándose a diferentes preferencias y presupuestos de los grupos.

Los algoritmos evolutivos son una buena opción para problemas complejos y de gran dimensión, como el nuestro, que puede verse como un problema de asignación de tareas a un conjunto de recursos (en este caso, los partidos a los que asistirán las hinchadas). Aunque con un algoritmo greedy se podría lograr una solución, no tendría porque ser óptima dado a la gran dimensión de restricciones del problema. Por estas razones el uso de un algoritmo evolutivo es una herramienta adecuada en este contexto.

### III. ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN

Como fue mencionado, para la resolución de este problema se utilizará un algoritmo multiobjetivo, en específico el algoritmo NSGA-II implementado en J-Metal. A continuación se detallarán aspectos fundamentales a considerar a la hora de resolver el problema.

#### A. Representación de Soluciones

Para poder representar las soluciones optamos por una matriz tamaño  $G \times P$ , donde  $G$  son los grupos y  $P$  son los partidos, al ser la cantidad de partidos a la que asiste una hinchada de cantidad variable, nos tomamos el valor  $P$  como una cota máxima de partidos que podría ir una hinchada con solo las restricciones de superposición. Cada fila representa a un grupo de personas que asiste a los partidos (las "hinchadas") y las columnas representarán los partidos a los cuales asiste cada hinchada, en cada celda habrá un identificador del partido y se ubicaron en orden en el que la hinchada asiste a ese partido, después del último partido que asiste esa hinchada se encontraran valores null hasta el final de la matriz.

#### B. Funciones objetivo

Definimos  $G$  como el conjunto de todos los grupos de hinchas donde  $g \in G$  representa un grupo específico. Podemos ver que cada fila de nuestra matriz solución es una secuencia de partidos para un grupo determinado. Esta secuencia tendrá una cantidad de partidos  $k$ , este número  $k$  es variable para cada uno de las hinchadas ya que irán a cantidad de partidos diferentes.

Las funciones objetivo que aplicaremos sobre las secuencias de partidos de cada grupo serán las siguientes:

- Función para costos de traslado:

$$f_1(G) = \sum_{g \in G} \sum_{i=1}^{k-1} C(p_i^g, p_{i+1}^g)$$

Donde  $C(p_i^g, p_{i+1}^g)$  es el costo de traslado del partido  $p_i$  al partido  $p_{i+1}$  del grupo  $g \in G$ , este es igual para todos los

grupos independientemente debido a que los partidos se juegan en ciudades y por tanto es ir de una ciudad a otra.

- Función para interés de los partidos:

$$f_2(G) = \sum_{g \in G} \sum_{i=1}^k I(g, p_i^g)$$

Donde  $I(g, p_i)$  es el interés del grupo  $g$  en ir al partido  $p_i$  de ese mismo grupo.

Nuestro problema se basa en maximizar  $f_2$  y minimizar  $f_1$  sujeto a las siguientes restricciones:

- Superposición de horarios:

$$T(p_i, p_{i+1}) + duracion(p_i) + margen \leq hora\_inicio(p_{i+1}) - hora\_fin(p_i)$$

Donde  $T(p_i, p_{i+1})$  es el tiempo de traslado de el partido  $p_i$  al  $p_{i+1}$ . Entonces para cada par de partidos consecutivos, el tiempo total de traslado y duración debe ser menor que el intervalo entre los horarios de los partidos consecutivos.

- Presupuesto máximo:

$$\sum_{i=1}^{k-1} C(p_i^g, p_{i+1}^g) \leq presupuesto(g)$$

El costo total del traslado de un grupo no debe exceder un presupuesto máximo del grupo.

#### C. Operadores Evolutivos

- 1) Cruzamiento: Se aplica el operador de cruzamiento 2PX a cada una de las matrices de soluciones.. Para realizar el cruzamiento, se seleccionan dos matrices padres, cada una de las cuales contiene las secuencias de partidos para todos los grupos de hinchas. A continuación, para cada fila de las matrices (es decir, para cada grupo de hinchas), se eligen aleatoriamente dos puntos de corte.  
Hijo 1: La parte de uno de los padres fuera de los puntos de corte (antes del primer corte y después del segundo corte) se combina con la parte del otro padre dentro de los puntos de corte (entre los dos cortes).  
Hijo 2: Se intercambia lo anterior, es decir, toma la parte del segundo padre fuera de los puntos de corte y la parte del primer padre dentro de los cortes.  
Luego de generar los hijos debemos reparar las soluciones en caso de obtener una solución no factible, por ejemplo si aparecen partidos repetidos o que no respeten las restricciones del problema.
- 2) Mutación: Vamos a tomar de forma aleatoria un individuo y de misma forma vamos a tomar una fila de este mismo. Luego tomamos una posición

nuevamente de manera aleatoria y aquí hay 2 opciones :

Opción 1: si la posición tiene un partido se cambia este mismo por uno viable de forma aleatoria, es decir que este sea ese mismo día o ocurra después del anterior y antes que el posterior. En caso de no ser posible se vuelve a sortear una posición.

Opción 2 : si en la posición no se encuentra un partido se vuelve a sortear la posición hasta encontrar una que contenga un partido.

- 3) Selección: Como fue mencionado se utilizará el algoritmo NSGA-II para la resolución del problema, en el cual la selección se basa en dominancia de Pareto y crowding distance. Primero, las soluciones se ordenan en frentes de Pareto, donde las soluciones no dominadas forman el primer frente y las dominadas por el primero forman el segundo, y así sucesivamente. Dentro de cada frente, se utiliza la crowding distance para seleccionar soluciones más diversas, favoreciendo aquellas con mayor distancia. Finalmente, se realiza una selección por torneo, donde se eligen dos soluciones aleatorias y se selecciona la mejor en base a su frente de Pareto y crowding distance.

#### IV. PROPUESTA DE EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

##### A. Generación de instancias

Vamos a generar cada una de las instancias iniciales de la siguiente manera:

Tomamos la cantidad de partidos  $P$  como la cantidad de partidos que pueden ir los  $G$  grupos sin que se superpongan los mismos, observando el calendario oficial de la FIFA y calculando con los costos de traslado, es inviable, para un grupo, ir a más de 2 partidos en un mismo día, por lo cual una cota superior de los partidos que puede asistir en el mundial cada una de las hinchadas (grupos) será el doble de los días de los cuales se juegue un partido.

Por cada fila de la matriz vamos agregando de forma aleatoria los identificadores de los partidos en orden, es decir, primero se elige un partido aleatorio y luego el siguiente (también elegido aleatoriamente) debe respetar la condición de traslado, no debe ser anterior al partido recién agregado ni ser inviable en cuestión de traslado. Este proceso termina cuando ya no es posible agregar un partido al grupo, es decir o se alcanzó el presupuesto del grupo o ya no quedan partidos posteriores al último agregado, y se procede con el siguiente grupo hasta completar las filas de la matriz.

##### B. Comparación con Técnicas Alternativas

Para evaluar la efectividad del algoritmo evolutivo en la planificación de un calendario favorable a las hinchadas (grupos) , se utilizarán dos enfoques para comparar resultados:

Algoritmo Greedy: en este caso comenzaremos seleccionando los partidos más interesantes para cada grupo de hinchas, ya que el objetivo principal es maximizar el interés total. A medida que agregamos partidos a la secuencia de cada grupo, verificaremos que los costos de traslado y los tiempos entre partidos sean factibles. Por último, para cada grupo de hinchas, seleccionaremos los partidos uno por uno, asegurándonos de no exceder el presupuesto ni causar conflictos de horario.

Por otro lado se utilizará el algoritmo evolutivo y se comparan las soluciones para cada caso

##### C. Calidad de Soluciones

La calidad de las soluciones será evaluada a partir de la diversidad en el frente de Pareto. Se buscará maximizar el número de soluciones no dominadas en el frente de Pareto, ofreciendo alternativas en cuanto a los costos de viaje e interés de los diferentes grupos.

##### D. Eficiencia Computacional

El algoritmo evolutivo se implementará con la biblioteca NSGA-II, registrando el tiempo de ejecución y desviación estándar en cada configuración. También se considerará el número de generaciones necesarias para lograr la convergencia al frente de Pareto.

##### E. Métricas

Para las métricas se evaluarán los siguientes valores:

- I. Valores de fitness promedio y desviación estándar de las soluciones obtenidas por el algoritmo evolutivo frente al algoritmo Greedy. Se comparará el valor promedio y la dispersión en términos de costos e intereses.
- II. Para verificar la diversidad de nuestras soluciones usaremos spread y spacing. El spread mide la distancia entre las soluciones no dominadas y los puntos extremos del frente de Pareto. Esto ayuda a determinar si se cubren bien todos los posibles compromisos en el frente, buscaremos un valor bajo (soluciones abarcan bien el frente de Pareto). En el spacing calculamos la distancia entre cada solución no dominada y su vecino más cercano en el espacio de las funciones objetivo, buscando que sea cercano a cero (soluciones uniformes) .
- III. Se reportará la cantidad de puntos no dominados y la diversidad en el frente de Pareto, buscando una buena

distribución en el espacio de soluciones en términos de interés y costos de viaje. Esta evaluación permitirá concluir si el algoritmo evolutivo logra ofrecer secuencias de partidos óptimas y diversas para cada grupo de hinchas en comparación con el enfoque Greedy.