

Optimización del Calendario de la Fórmula 1: Un Enfoque Algorítmico*

Andrés Felipe Aparicio Mestre¹, Emmanuel López Rodríguez¹, María Paula Duque Muñoz¹, and Johan Madroñero Cuervo¹

Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

anapariciom@unal.edu.co

emlopezr@unal.edu.co

maduquem@unal.edu.co

jmadronero@unal.edu.co

Abstract. El presente artículo aborda el problema de la optimización del calendario de la Fórmula 1, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, optimizar los vuelos necesarios para los equipos y la logística del campeonato. Se propone un enfoque basado en algoritmos y técnicas de optimización para determinar un orden eficiente de las carreras que minimice la distancia total de los vuelos y, por lo tanto, reduzca el impacto ambiental de esta competencia. Se presenta inicialmente una comparación con distintas aproximaciones al problema, analizando las limitaciones y los beneficios potenciales de cada una. Los resultados obtenidos muestran la eficiencia y viabilidad de la solución propuesta, respaldando su potencial para mejorar significativamente el calendario de la Fórmula 1 en términos de emisiones y logística de viajes.

Keywords: Fórmula 1 · F1 · Optimización · Emisiones de gases · Algoritmo del agente viajero · Algoritmos voraces · Algoritmo de búsqueda exhaustiva

* Análisis y Diseño de Algoritmos 2023 - 1S

1 Introducción

La Fórmula 1, abreviada como F1, es la máxima categoría del automovilismo deportivo a nivel mundial. Es un campeonato internacional en el que compiten los mejores pilotos y equipos de carreras utilizando automóviles de alta velocidad y tecnología avanzada. El calendario de carreras de la Fórmula 1 se establece cada año y consta de varias carreras celebradas en diferentes países alrededor del mundo. El proceso de planificación del calendario es llevado a cabo por la Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), el organismo rector del deporte.

La temporada de la Fórmula 1 generalmente comienza en marzo o abril y se extiende hasta noviembre o diciembre. Durante este período, se llevan a cabo alrededor de 20 a 23 Grandes Premios en circuitos de carreras permanentes, semi-permanentes o temporales. En el proceso de selección de los circuitos para el calendario de la Fórmula 1 se consideran diversos factores, como la infraestructura de los circuitos, la seguridad, la capacidad para atraer espectadores y la tradición histórica de la carrera. Además, se busca una distribución geográfica equilibrada para garantizar la presencia global de la Fórmula 1.

Dichos calendarios no destacan precisamente por su enfoque en la sostenibilidad [1], lo que resulta en una logística poco eficiente en términos de emisiones de carbono. A pesar de esta situación, la Fórmula 1 se ha propuesto un objetivo ambicioso: alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2030, donde la logística desempeña un papel fundamental. De hecho, alrededor del 45% de las emisiones totales de carbono en la Fórmula 1 se originan en la logística, mientras que otro 28% se atribuye a los viajes de negocios [1]. La figura 1 presenta el recorrido actual planteado para el año 2023.



Fig. 1. Representación gráfica del recorrido de la F1 en 2023.

Para abordar este desafío y optimizar el calendario de la Fórmula 1 desde una perspectiva sostenible, se recurre al análisis y diseño de algoritmos. En este artículo se pretende explorar diferentes enfoques presentes en el diseño de algoritmos, como algoritmos voraces y el conocido problema del agente viajero. Estos métodos proporcionan herramientas y técnicas que pueden contribuir a la creación de un calendario más eficiente, reduciendo las emisiones de carbono y avanzando hacia la neutralidad.

Es fundamental tener en cuenta que la propuesta presentada es un punto de partida y un enfoque inicial para abordar la optimización del calendario de la Fórmula 1 desde una perspectiva de sostenibilidad. La implementación efectiva de un calendario optimizado requeriría una cuidadosa consideración de todas las restricciones y factores involucrados, así como la colaboración de todas las partes interesadas, incluyendo circuitos, equipos y organizadores de la Fórmula 1.

1.1 Alcance del problema y limitaciones

Dado el alcance y la complejidad del análisis del calendario de la Fórmula 1, no es posible abordar todas las variables y pequeños detalles que pueden influir en su diseño por lo que, a continuación, se enumerarán algunas consideraciones que no se tendrán en cuenta durante este análisis:

Contratos existentes Algunos circuitos pueden tener contratos particulares que determinan la fecha y el orden de las carreras. Estos contratos a menudo están sujetos a negociaciones confidenciales y no están disponibles para su análisis en este contexto.

Consideraciones climáticas Si bien el clima es un factor crítico en la programación de las carreras, no se abordarán las variaciones específicas del clima en este análisis. Los patrones climáticos y las condiciones meteorológicas locales pueden influir en la elección de fechas y horarios de las carreras, pero su consideración detallada escapa del alcance del presente análisis.

Restricciones logísticas Los equipos de Fórmula 1 tienen sedes en diferentes ubicaciones, principalmente en Europa. Esto implica que los equipos y el personal deben regresar a sus sedes entre carreras. La optimización de la distancia de vuelo debe tener en cuenta estos movimientos entre las pistas y las sedes de los equipos. La logística adicional involucrada agrega complejidad a la planificación y puede limitar las opciones óptimas de programación.

Cambios imprevistos Aunque se haya realizado una planificación cuidadosa, pueden ocurrir cambios imprevistos que afecten el calendario propuesto. Esto incluye dancelaciones de carreras, cambios de ubicación o fechas modificadas debido a situaciones imprevistas o crisis. Estos eventos pueden requerir ajustes en el calendario y afectar la optimización de la distancia de vuelo.

2 Método

Para resolver este problema, se consideraron e implementaron dos enfoques: uno basado en un algoritmo voraz y otro utilizando búsqueda exhaustiva.

En primer lugar, se realizó el procesamiento de los datos, obteniendo las coordenadas de todos los circuitos del calendario 2023 de la Formula 1. Utilizando la fórmula del semiverseno (Haversine Formula) se calcularon las distancias entre los circuitos y se construyó un grafo representado en un diccionario de diccionarios.

2.1 Cálculo de distancias y la fórmula del semiverseno

Para calcular las distancias entre los circuitos, se utilizó la fórmula del semiverseno (Haversine formula). Esta fórmula se basa en la trigonometría esférica y permite calcular la distancia entre dos puntos en una esfera (como la Tierra) dado su radio y las coordenadas latitud-longitud de ambos puntos [2]. La fórmula del semiverseno se define de la siguiente manera:

$$d = 2R \arcsin \sqrt{\sin^2 \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin^2 \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2}}$$

2.2 Algoritmo Voraz

El algoritmo implementado inicialmente se basa en un enfoque voraz. En cada paso, se selecciona la distancia más cercana disponible entre las ciudades restantes y se agrega al recorrido actual. El objetivo es minimizar la distancia total recorrida en cada paso. Este algoritmo se repite hasta que no quedan ciudades disponibles.

Dicho algoritmo se repite 23 veces tomando como punto inicial cada uno de los circuitos contemplados para la competencia. Con esto se obtiene 23 rutas distintas para recorrer todas las ciudades. Por último, se selecciona la que tenga la menor distancia total recorrida. Con este método se obtiene una solución que disminuye la distancia total recorrida en un 61.2% en comparación con el recorrido actual presentado por la F1[3].

El algoritmo voraz proporciona una solución inicial que puede mejorarse posteriormente utilizando otros enfoques, como la búsqueda exhaustiva.

Eficiencia Una vez obtenida las distancias entre los circuitos con la fórmula del semiverseno, la construcción del grafo inicial de las distancias entre los circuitos tiene una eficiencia de $O(n^2)$ y el cálculo del recorrido iniciando en una ciudad tiene una eficiencia de $O(n^2)$ dado que para las n ciudades se debe encontrar la mínima distancia entre las otras $n - 1$ ciudades restantes. Luego, este proceso se realiza nuevamente para cada uno de los distintos puntos de partida lo que arroja una eficiencia total de $O(n^3)$. La figura 2 muestra el nuevo recorrido optimizado:



Fig. 2. Representación gráfica del recorrido optimizado para la F1 en 2023.

2.3 Algoritmo de búsqueda exhaustiva

Continuando con el análisis, se identificaron dos subconjuntos de circuitos en los que había potencial de mejora. Para el conjunto de circuitos en América (nodos 1-6), se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar la mejor solución. Se consideraron todas las posibles combinaciones de recorridos que comienzan en Sao Paulo, Brasil, y terminan en Montreal, Canadá y se encontró una solución óptima que disminuye la distancia total recorrida en comparación con el recorrido óptimo del algoritmo voraz.

Para el subconjunto de circuitos en Europa (nodos 9-14), también se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar la mejor solución. Se consideraron todas las posibles combinaciones de recorridos que comienzan en Spa-Francorchamps, Bélgica, y terminan en Spielberg, Austria. Para este caso se encontró una solución óptima que elimina el cruce existente (figura 3) en el recorrido óptimo del algoritmo voraz y disminuye la distancia total recorrida.

Por último, en el subconjunto de circuitos de Oriente Medio (nodos 16-21), la búsqueda exhaustiva realizada consideró todas las posibles combinaciones de recorridos que comienzan en Baku, Azerbaiyán, y terminan en Marina Bay, Singapur. Se encontró una solución óptima que disminuye la distancia total recorrida en comparación con el recorrido óptimo del algoritmo voraz.

Eficiencia Después de un análisis gráfico de los resultados se identificaron subconjuntos de circuitos debido a su agrupación geográfica. Para cada uno de ellos se observan comportamiento tales como cruces en los recorridos o potenciales mejoras. Para estos casos el numero de circuitos abarcados ronda los 6. Dado que el numero de nodos a evaluar es bajo es posible permitirse usar búsqueda exhaustiva para buscar la mejor solución. la implementación de este algoritmo tiene una eficiencia de $O(n!)$ y esto se repite par los 3 subconjuntos. La figura 4 presenta el recorrido final optimizado:

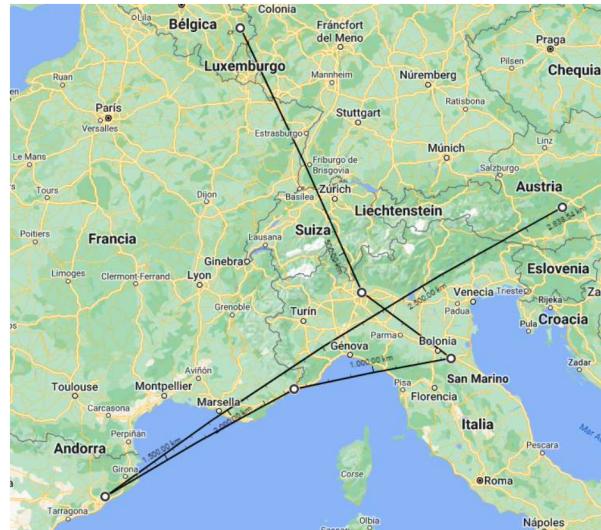


Fig. 3. Representación gráfica del cruce en el recorrido de los circuitos Europeos de la F1.

3 Resultados

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Valores actuales del calendario de la F1

- Distancia total recorrida: 132163.47 Km

3.1 Valores obtenidos con el algoritmo voraz

- Distancia total recorrida: 51280.4 Km
- Mejora con respecto al recorrido actual: 61.2%

3.2 Valores obtenidos con el algoritmo de búsqueda exhaustiva

Mejoramiento de la solución para el conjunto de circuitos en América (nodos 1-6)

- Distancia total recorrida actual: 15611.23 Km
- Distancia total recorrido óptimo: 15234.17 Km
- Mejora con respecto al recorrido actual: 2.42%

Mejoramiento de la solución para el conjunto de circuitos en Europa (nodos 9-14)

- Distancia total recorrida actual: 2835.98 Km
- Distancia total recorrido óptimo: 2404.45 Km
- Mejora con respecto al recorrido actual: 15.22%



Fig. 4. Representación gráfica del recorrido completamente optimizado de la F1 en 2023.

Mejoramiento de la solución para el conjunto de circuitos en Medio Oriente (nodos 16-21)

- Distancia total recorrida actual: 11014.56 Km
- Distancia total recorrido óptimo: 9907.65Km
- Mejora con respecto al recorrido actual: 10.05%

3.3 Análisis de alternativas

Aproximación exclusiva con búsqueda exhaustiva

Una posible aproximación al problema, alternativa a la descrita en el artículo, es abordarlo desde un inicio como un caso de búsqueda exhaustiva, en el cual se buscan todos los posibles recorridos que se pueden generar desde una ciudad inicial hacia el resto, y esto se repite para todas las posibles ciudades iniciales, generando todos los posibles recorridos entre los circuitos. Dicha aproximación tendría una eficiencia de $O(n!)$. Esto sería inviable dado que, para el problema descrito donde se contemplan 23 circuitos, esto representaría más de 2.58×10^{22} instrucciones.

Aproximación con algoritmo del agente viajero usando programación dinámica

Este es un problema que se ajusta al algoritmo del agente viajero. Este problema tiene múltiples soluciones, pero en programación dinámica se resuelve con el algoritmo de Held-Karp[4]. Dicho algoritmo tiene una eficiencia de $O(n^2 2^n)$. Para el caso descrito, en donde se tienen 23 destinos, esto representaría 4437573632 instrucciones.

Aproximaciones utilizada

De los resultados obtenidos, descritos en la sección 3, donde se utilizaron las dos aproximaciones diferentes para la solución de este problema, se observan que se obtiene una eficiencia final de $O(n^2 + n^3 + m!)$ con $m < n$. Esto, para el caso descrito con 23 destinos, representa un total 13416 instrucciones. Por lo anterior, la aproximación seleccionada brinda una eficiencia significativamente mayor, reflejada en una cantidad de instrucciones mucho menor, comparado con las otras dos alternativas anteriores.

Con el calendario obtenido luego de la implementación de la solución se genera una optimización del 62.65% con respecto al calendario actual de la F1. De esta manera, el recorrido óptimo encontrado es el siguiente:

1. Sao Paulo, Brazil
2. Miami, United States
3. Mexico City, Mexico
4. Austin, United States
5. Las Vegas, United States
6. Montreal, Canada
7. Silverstone, United Kingdom
8. Zandvoort, Netherlands
9. Spa-Francorchamps, Belgium
10. Barcelona, Spain
11. Montecarlo, Monaco
12. Monza, Italy
13. Imola, Italy
14. Spielberg, Austria
15. Budapest, Hungary
16. Baku, Azerbaijan
17. Jeddah, Saudi Arabia
18. Sakhir, Bahrain
19. Lusail, Qatar
20. Abu Dhabi, United Arab Emirates
21. Marina Bay, Singapore
22. Suzuka, Japan
23. Melbourne, Australia

Tal que, dicho recorrido, es posible realizarlo en el orden inverso sin afectar la optimización.

4 Conclusiones

En este artículo, se abordó el problema de encontrar el recorrido óptimo para los circuitos del calendario 2023 de la Formula 1 tal que se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al optimizar los vuelos necesarios para los equipos y la logística del campeonato. Partiendo del análisis de diferentes enfóques algorítmicos, se logró, mediante el uso de un algoritmo voráz, mejorado

con una búsqueda exhaustiva, lograr una mejora significativa en el recorrido actual y disminuir la distancia total recorrida. También se concluyó que este enfoque algorítmico utilizado es más eficiente (62.65%) que otras alternativas planteadas.

Sin embargo, es importante resaltar que esta solución funciona muy adecuadamente en el caso descrito al contar con solo 23 destinos independientes a considerar; sin embargo, en el contexto de otros deportes con más programaciones de eventos que puedan llegar a ser simultáneos, el algoritmo no solo se pude llegar a ver ineficiente, también sería difícil garantizar que la solución obtenida sea la óptima. Esta solución es aplicable para pocos destinos o actividades que no se realizan o programan de manera simultanea.

Por otro lado, otro factor que puede representar una desventaja en esta solución es el hecho que los algoritmos utilizados no son 100% autónomos, dado que, para diferentes etapas del análisis, es necesario que el usuario identifique los potenciales de mejora y que implemente en ellos el algoritmo de búsqueda exhaustiva.

Esta solución es una aproximación inicial a un problema con muchas otras variables que no se tuvieron en cuenta lo que puede llegar a afectar la forma en que dicha solución llegue a ser implementada para el análisis y desarrollo de un algoritmo completo. Sin embargo, representa un muy buen punto de partida y permite ser una base de sustento para demostrar que la Fórmula 1 tiene espacio para mejorar en su logística y completar su objetivo de conseguir la neutralidad de emisiones de carbono para el 2030.

References

1. Zero Carbon Academy, <https://www.zerocarbonacademy.com>. Last accessed 21 Jun 2023
2. Haversine formula (2023) Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula Last accessed 25 Jun 2023
3. Formula 1 Homepage, <https://www.formula1.com/en/racing/2023.html>. Last accessed 25 Jun 2023.
4. Held–Karp algorithm (2023) Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Held-Karp_algorithm. Last accessed 25 Jun 2023.