

Procedimiento propuesto para selección de secuencia de despegue de aviones en pista

Fernanda Flores¹

Diego García Tinajero¹
Jannet Tamayo¹

Adrián Martínez¹
Iván Vega¹

Aldo Rangel ¹

¹Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
Avenida de la plenitud 103, Fracc. José Vasconcelos
CP 20200, Aguascalientes, Ags.

Resumen

En este trabajo se propone una metodología para dar solución al problema de la selección de una secuencia de despegue de aviones, cuando éstos se encuentran en la pista. El problema se aborda para una estructura de pista determinada, con espacios de espera y dos posibles entradas para la pista; contemplando así la opción de recorrido de pista completa y pista parcial para el despegue.

I. Introducción

El mundo moderno está atravesando una difícil situación económica, derivada de la emergencia sanitaria causada por el COVID-19 y, la industria de la aviación mundial no está exenta. Por lo tanto, en todo el mundo, las aerolíneas necesitan adaptarse y evolucionar, encontrando nuevas formas de luchar en el competitivo mundo de la aviación comercial. La optimización es actualmente la clave para tener éxito.

Existen diversas técnicas empleadas para la resolución de problemas de optimización. De acuerdo al tipo de problema que se desea resolver, alguna o algunas técnicas resultan ser más eficientes que otras. Dado el problema de la selección de secuencia de despegue de aviones en pista, en este trabajo se propuso el uso de algoritmos genéticos para encontrar las soluciones que mejor desempeño pudieran tener en la evaluación de la función objetivo.

El enfoque del algoritmo genético (GA, por sus siglas en inglés) para la optimización se basa en el concepto de supervivencia del más apto. El GA emula los procesos de evolución y por lo tanto es un algoritmo evolutivo. En tal proceso, los elementos más fuertes se vuelven más fuertes mientras que los elementos más débiles son eliminados.

La solución de un problema de optimización utilizando la metodología GA implica una búsqueda estocástica del espacio de solución utilizando cadenas de números enteros, conocidos como cromosomas, que representan los parámetros que se están optimizando. Cada número entero dentro de estos cromosomas se conoce como gen y, para estas aplicaciones de modelado, cada gen tiene un valor decimal entre 0 y 9. Cabe señalar que este no es el enfoque tradicional de GA donde los genes son

cantidades binarias. La ventaja de la representación decimal para este tipo de aplicación es que permite una gama más amplia de valores posibles en cromosomas más pequeños y es especialmente adecuada para la optimización de modelos y diseños.

Se genera aleatoriamente una población inicial de cromosomas y estos se decodifican para obtener los parámetros correspondientes. Estos valores de parámetros se introducen luego en el modelo del sistema. Se ejecuta una simulación y se obtienen resultados para cada conjunto de parámetros dentro de la población, utilizando una medida de rendimiento basada en una función de costo, la función objetivo. Cuando se encuentran todos los valores de costo, se clasifican en orden junto con los cromosomas correspondientes. Los valores de menor costo (para el caso de minimización o los de mayor costo para el caso de maximización) se eligen como los mejores y luego se someten a operaciones de reproducción, cruce y mutación. Existen diferentes alternativas para dichas operaciones [1].

II. Marco teórico

El despegue es la fase del vuelo en la que una aeronave pasa por una transición de moverse por el suelo (rodaje) a volar en el aire, generalmente comenzando en una pista. Por lo general, los motores funcionan a plena potencia durante el despegue. Siguiendo el movimiento de rodaje, la aeronave se detiene en la línea de salida de la pista.

La velocidad de despegue requerida varía con la densidad del aire, el peso de la aeronave y la configuración de la aeronave. La densidad del aire se ve afectada por factores como la elevación del campo y la temperatura del aire.

Las velocidades necesarias para el despegue son relativas al movimiento del aire. Un viento de frente reducirá la velocidad respecto al suelo necesaria para el despegue, ya que hay un mayor flujo de aire sobre las alas. Por eso los aviones siempre despegan contra el viento. No se prefiere el viento lateral ya que perturbaría la estabilidad de la aeronave. Las velocidades de aire de despegue típicas para los aviones de pasajeros están en el rango de 130 a 155 nudos (240 a 285 km/h). Para un avión determinado, la velocidad de despegue suele ser directamente proporcional al peso del avión; cuanto más pesado sea el peso, mayor será la velocidad necesaria [2].

III. Modelo propuesto

Partimos primero definiendo la estructura de las soluciones, éstas consisten en un vector de tamaño definido por el número de aviones a la espera en la pista para despegar. Este vector contendrá el turno de cada uno de los aviones formados a la espera de despegar. Así pues, el primer avión en la fila en la pista de carreteo corresponderá a la primera posición del vector el cual tendrá como su turno de despegue y así sucesivamente (ver figura 1).

A partir de lo anterior, se decidió basar el modelo de acuerdo a los algoritmos genéticos [1]. Para esto empezamos por una población inicial aleatoria de tamaño n , cada individuo consiste de un vector solución como se definió anteriormente. Después cada uno de estos individuos se evaluarán para verificar su factibilidad y su valor en la función objetivo. De lo anterior seleccionamos los m mejores individuos de acuerdo a su valor en la función objetivo, y de los seleccionados obtenemos n hijos mediante mecanismos de cruzamiento. Los hijos obtenidos pasarán por un mecanismo de mutación y finalmente serán evaluados verificando su factibilidad y su valor en la función objetivo. Posteriormente reemplazamos la población inicial para la siguiente iteración con los mejores n individuos de la población seleccionada y los hijos obtenidos. La figura 2 ejemplifica de manera gráfica el modelo.

2	4	1	3
1	2	3	4

Figura 1. Estructura general de las soluciones del modelo. En este ejemplo, el primer avión de la fila será el segundo en despegar, el segundo avión será el cuarto en despegar, etc.

Se hablará más a fondo sobre la evaluación más adelante. Los procesos de selección, cruzamiento y mutación son los mismos que en un algoritmo genético estándar.

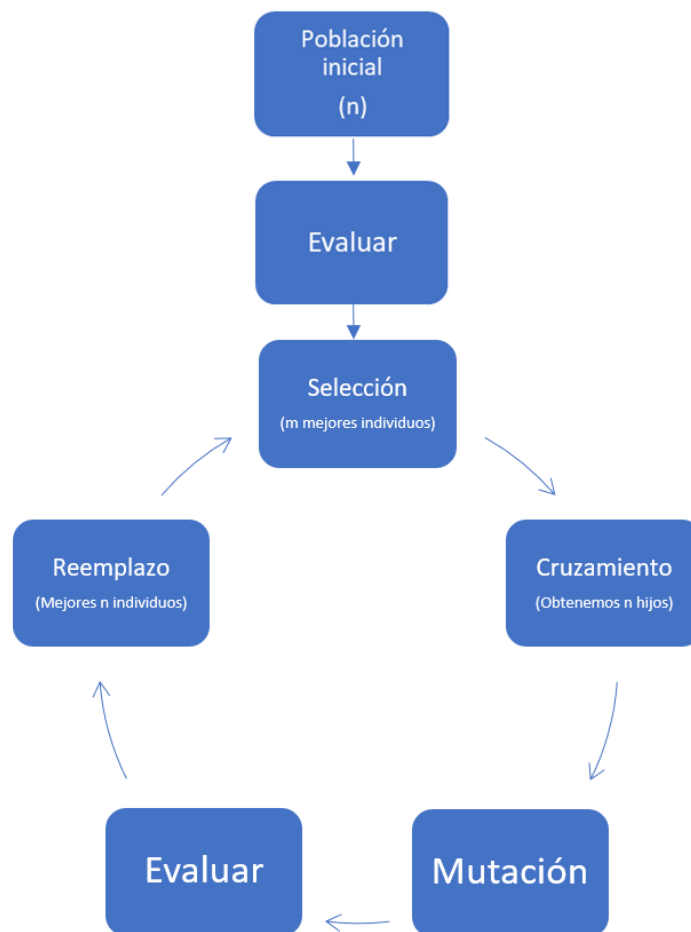


Figura 2. Modelo general propuesto

III.1. Evaluación

La evaluación se divide en dos partes, factibilidad de la solución y la obtención de su valor en la función objetivo. Si una solución no es factible calculamos su función objetivo de manera penalizada

para que esta solución tenga menos probabilidad de salir seleccionada en los siguientes pasos del modelo.

La determinación de una solución como factible o no depende de la estructura de la pista de aterrizaje de cada aeropuerto, las características de cada avión y las restricciones de ventana de tiempo para hubs. Para este trabajo suponemos la estructura como se muestra en la figura 3.

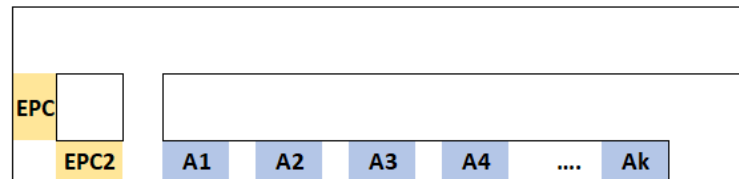


Figura 3. Estructura de la pista de aterrizaje, con la posibilidad de despegar usando la pista completa o parcial. A_i aviones a la espera de despegue. EPC y EPC2 espacio de espera para la pista completa 1 y 2 respectivamente

En este caso, los aviones pueden despegar usando la pista completa o la parcial y la ruta para despegar por la pista completa tiene dos espacios de espera. Para determinar la factibilidad de una solución bajo una pista con estas características hacemos uso de un vector que simule los espacios de espera para la pista completa.

Así pues, en la solución se buscaran los turnos en orden empezando por el avión 1 hasta el avión k, si el primer avión no tiene el turno 1 pasará al vector auxiliar de espera y así será mientras no encontremos este turno. Si encontramos el turno verificamos entonces si el siguiente turno consecutivo o los siguientes dos turnos consecutivos están en el vector de espera, si lo están los retiramos de este vector, sino se procede a buscar el siguiente turno en la solución a partir del siguiente avión que tenía el turno recientemente evaluado y así sucesivamente hasta haber revisado toda la solución. La solución será infactible cuando el vector de espera tenga más de dos aviones, pues solo hay dos espacios de espera, o si el orden de los turnos en el vector de espera no es ascendente, pues esto implicaría que en el espacio de espera 1 hay un avión con un turno superior a otro avión en el espacio de espera 2 (ver figura 4).

Si se da el caso en el que los aviones más grandes solo pueden despegar por la pista completa, la solución será infactible cuando un avión con estas características tiene que despegar cuando hay aviones en los espacios de espera para la pista completa.

Para verificar la factibilidad con respecto a la ventana de tiempo para hubs, es necesario calcular los tiempos de despegue de cada aeronave de acuerdo a los turnos asignados en la solución, los cuales además son necesarios para evaluar la función objetivo. Para eso es necesario tener una matriz de datos asociado a los aviones que se encuentran esperando para despegar. Los datos estarán compuestos con las características del avión, su tiempo de llegada a la pista de carreteo, si es un vuelo a un centro de conexión así como su tiempo asignado de llegada. Así pues, los tiempos de despegue de cada aeronave estarán sujetos a los turnos asignados y a las restricciones de separación entre aeronaves de la siguiente manera:

Tiempo de despegue de la aeronave en el turno j :

$$T_j = \sum_{i=1}^{j-1} T_i + S_{j-1,j} + S_{SID}\Delta_{j-1,j}$$

Donde:

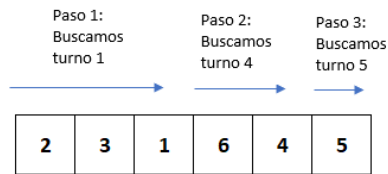
$S_{j-1,j}$ es la separación mínima requerida de despegue entre la clase de avión del turno j y la clase de avión del turno $j - 1$

$\Delta_{j-1,j} = 1$ si los aviones del turno j y $j - 1$ tienen la misma ruta espacial (SID-route), 0 en otro caso.

S_{SID} es la separación adicional para aviones en la misma ruta espacial.

Ya obtenidos los tiempos de despegue, la solución será infactible si el tiempo de despegue de un avión en dirección a un centro de conexión no satisface la ventana de tiempo asignado.

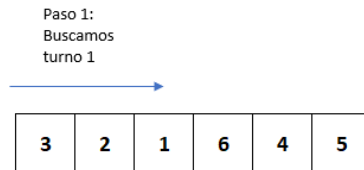
Caso factible



Vector de espera

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
EPC1	2	6	6
EPC2	3		

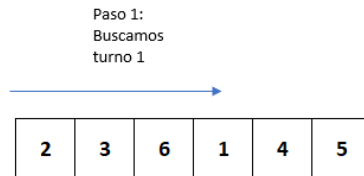
Caso infactible: Vector de espera sin orden ascendente



Vector de espera

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
EPC1	3		
EPC2	2		

Caso infactible: Vector de espera de tamaño mayor a 3



Vector de espera

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
EPC1	2		
EPC2	3		
	6		

Figura 4. Ejemplos de solución factible e infactibles a nivel de estructura de la pista

Una vez que se determinó si la solución es factible o no, el siguiente paso es evaluarla en la función objetivo. Las opciones de función objetivo a minimizar son:

- Tiempo en que despegue el último avión:

$$T_{max} = \max_j T_j$$

- Tiempo de espera total:

$$TWT = \sum_j (T_j - T0_j)$$

Donde $T0_j$ es el tiempo de llegada del avión j a la pista de carreteo.

Si la solución se había identificado como infactible se sumará un valor m lo suficientemente grande al valor de la función objetivo de dicha solución.

IV. Conclusiones

Aunque ya hay métodos definidos para la implementación de algoritmos genéticos y de las operaciones involucradas, es importante encontrar la forma de representar las soluciones de un problema de tal forma que pueda abordarse correctamente con GA.

De igual forma, es importante garantizar que las soluciones encontradas sean factibles, lo cual puede realizarse de distintas maneras. En este trabajo se propone penalizar en el valor de la función objetivo a aquellos individuos de la población que sean infactibles.

El principal objetivo de este trabajo fue proponer una metodología para encontrar soluciones factibles al problema de la selección de secuencia del despegue de aviones en pista, bajo algunas condiciones de diseño de la pista, así como diferentes funciones objetivo.

V. Bibliografía

Referencias

- [1] Murray-Smith, D. J. (2012). *Modelling and simulation of integrated systems in engineering: issues of methodology, quality, testing and application*. Elsevier.
- [2] Dr. Corieri Patricia. (2017). Phases Of A Flight. Visitado el 12 de junio de 2022, de RESTARTS Sitio web: <https://www.fp7-restarts.eu/index.php/home/root/state-of-the-art/objectives/2012-02-15-11-58-37/71-book-video/parti-principles-of-flight/126-4-phases-of-a-flight.html#:~:text=Takeoff%20is%20the%20phase%20of,starting%20line%20of%20the%20runway.>