## Métaheurísticas basadas en poblaciones (algoritmos genéticos)

Técnica de búsqueda iterativa inspirada en los principios de selección natural como estrategia de optimización. El algoritmo crea sucesivas generaciones dando más importancia a las mejores soluciones alcanzadas hasta la fecha. Cada solución tiene asociada un valor que indica lo buena que es (valor de fitness). Cuanto mayor sea este, mayor será su probabilidad de sobrevivir y reproducirse.

Se ha de tener muy presente que la mayoría de las funciones objetivo estándar tienden a finalizar en mínimos/máximos locales. Los algoritmos genéticos no evitan este problema.

Ventajas: Solucionan problemas complejos en un periodo de tiempo aceptable.

Desventajas: No garantizan una solución óptima.

**Cuando usar algoritmos genéticos**

Los algoritmos genéticos son preferibles frente a soluciones deterministas cuando el conjunto de posibilidades que arroja el problema, es superior a la capacidad de cálculo disponible. Por ejemplo, el problema del viajante con 47 ciudades supone 0,2 decillones de combinaciones diferentes (sin repetición). Este problema excede, con mucho, la capacidad de cálculo de un ordenador estándar.

**Pseudocódigo**

Inicio

Generar aleatoriamente una población inicial de soluciones.

Evaluar las soluciones según la función objetivo (maximizar beneficio, minimizar distancia, maximizar rentabilidad media…)

Repetir hasta que se cumpla la condición de parada.

Generación = Generación +1

Seleccionar padres (en función de la distancia con el objetivo si se conoce, si no, en función de la distancia con la mejor solución encontrada).

Recombinar padres (seleccionar nº de ptos de corte en función de la longitud del cromosoma)

Evaluar si la solución muta (% de probabilidad bajo).

Reemplazar generación (el mejor padre sobrevive siempre intacto).

Evaluar nueva generación.

Si se cumple condición de parada (hallado máximo, llevar un nº de generaciones sin mejora, o haber pasado un nº concreto de generaciones).

Devolver (mejor solución).

Fin.

Los mejores individuos de una generación tienen mayor probabilidad de ser padres que el resto (pero todos tienen probabilidad de serlo).

**Codificación del problema**

Es recomendable que la información a optimizar se encuentre en una cadena de bits (0,1), por lo que el primer problema es la codificación del mismo.

Los cromosomas suelen codificarse como una cadena binaria, donde cada bit es un gen 🡪 11101000100010010101111010101 Sin embargo, no siempre es posible (o recomendable) codificar así el problema. En el caso del problema del viajante, donde hay que recorrer un conjunto de ciudades sin repetición, nos podemos decantar por meter en un vector el nombre de las ciudades y extraer una a una.

**Generación de la población inicial**

Es muy recomendable que los algoritmos genéticos trabajen con un número fijo de cadenas binarias de longitud fija. No obstante, existen estudios que utilizan un número variable de cadenas de longitud fija. Esta variabilidad podría afectar a la convergencia de la solución, por lo que se recomienda utilizar un número fijo de cadenas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | Nº de gen por cad | Nº de cad | | 3 | 19 | | 5 | 25 | | 10 | 33 | | 20 | 40 | | 100 | 48 | | 1000 | 50 | | ¿Cómo sacamos el número de la población inicial para cada problema? No existe una solución formal, por lo que se recomienda utilizar la variable del número de genes para determinar el número de cadenas (cromosomas) según la siguiente relación 🡪 NCro=Ngen\*50/(5+Ngen).  Un número inferior a 10 haría que el algoritmo fuera muy lento a la hora de encontrar una solución, y un número superior a 50 haría que el proceso de creación, selección y cruce fuera excesivamente lento. |

**Definir la función objetivo**

La función objetivo es “la resolución al problema planteado”. La diferencia con esta solución será el criterio de selección que utilizaremos para seleccionar los “padres” de la siguiente generación.

El objetivo que buscamos puede ser conocido con exactitud o no. En el caso del problema del viajante, la función objetivo será minimizar la distancia recorrida, sin conocer de antemano cual es la menor distancia real. En el caso de optimizar una apuesta deportiva, la función objetivo podría ser compuesta: maximizar la rentabilidad media del apostante, que el dinero disponible no bajase nunca de un umbral determinado y que el resultado final sea positivo. La definición de la función objetivo es el punto más importante del algoritmo.

**Estrategias de selección**

Existen diversas estrategias de selección:

Selección por torneo: Se escoge aleatoriamente un nº de soluciones posibles, se elige al mejor individuo del grupo.

Emparejamiento variado inverso: Se elige un padre aleatoriamente y, para el otro, se eligen al azar n padres y se escoge el más distinto al primero.

Selección por ruleta: Se asigna una probabilidad de selección proporcional a lo cerca o lejos que esté de la mejor solución posible o conocida.

Ejemplo práctico de selección por ruleta: Depende de la función de aptitud, la cual cuantifica lo óptima que es una solución. El objetivo es que la nueva generación sea mejor que las anteriores. La probabilidad de selección de una cadena (viajante) es directamente proporcional a su aptitud, por lo que podría ser seleccionado un miembro de la población muy apto (con mayor probabilidad) o poco apto (con menor probabilidad).

A excepción del mejor viajante, todo individuo seleccionado se reemplaza por su sucesor después del cruzamiento y la mutación; los individuos no seleccionados mueren inmediatamente. Sin embargo, el mejor caso siempre sobrevive en la generación siguiente para garantizar que esta, como mínimo, es igual de buena que la anterior.

¿Cuántos padres hay que seleccionar? Por norma general dos padres dan lugar a dos hijos, por lo que en una población de 10 cromosomas habría que repetir el proceso 5 veces. No obstante dos padres pueden tener un solo hijo o generar la siguiente generación entera. Es una decisión que hay que tomar al construir el AG, dependiendo del problema a resolver.

¿Es necesario seleccionar siempre dos padres? Para el caso del viajante podríamos seleccionar un solo padre para solventar el problema de la repetición de ciudades. A ese padre, se le indican uno o varios puntos de corte dentro de su cromosoma y se le reinserta la información alterando el orden del mismo, aleatoriamente.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Albacete | Alicante | Almería | Ávila | Badajoz | Barcelona | Bilbao | Burgos | Cáceres |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Albacete | Alicante | Badajoz | Almería | Barcelona | Ávila | Bilbao | Burgos | Cáceres |

El procedimiento de un solo padre tiene la siguiente crítica: Los hijos deben heredar alguna característica de cada padre, sino, es una mutación. ¿Cómo podríamos utilizar ambos padres?

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Padre 1 | 7 | 3 | 1 | 8 | 2 | 4 | 6 | 5 | | Padre 2 | 4 | 3 | 2 | 8 | 6 | 7 | 1 | 5 | | Hijo | 4 | 3 | 1 | 8 | 2 | 6 | 7 | 5 | | En este caso, se elige la parte amarilla del primer padre para que la herede el hijo. Dado que los números no pueden repetirse, el hijo hereda el resto del segundo padre, en el orden en que lo números restantes aparecían en el cromosoma del padre 2. |

¿Cómo se utiliza la función objetivo para seleccionar padres?

Probabilidad de selección P= f(cromosoma)/∑f(cromosomas)

x = rnd()

If x < P es seleccionado (P actúa como un umbral)

Si no conocemos el resultado deseado, para calcular el denominador podemos sumar todos los resultados obtenidos en la generación actual. Sin embargo, este sistema no selecciona bien los cromosomas al presentar estos diferencias mínimas si hay muchos, (igualando la probabilidad de selección entre ellos). Ejemplo con el problema del viajante (16 ciudades – 38 cromosomas)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Viajante 1 | Viajante 2 | Viajante 3 | Viajante 4 | Viajante 5 | … | Total |
| 35.799 km | 45.777 km | 39.696 km | 48.397 km | 39.529 km | … | 1.565.730 km |
| 2,29% | 2,92% | 2,54% | 3,09% | 2,52% |  | % sobre el total |

Hay que ajustar la manera de cálculo. Si no conocemos el resultado deseado, podemos utilizar como denominador, tan solo, el mejor resultado de la generación actual.

Para realizar la selección de los padres de la generación siguiente se establece la siguiente relación: =2-(distancia recorrida por cromosoma/distancia recorrida por el mejor cromosoma).

1.000 km 🡪 prob 100% de ser seleccionado.

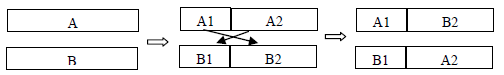
1.500 km 🡪 prob 50% de ser seleccionado.

1.100 km 🡪 prob 90% de ser seleccionado.

El mejor cromosoma tendrá una probabilidad de ocurrencia del 100%, mientras que el resto tendrá una oportunidad de ocurrencia menor (entre el 0% y el 100%). Sí la probabilidad es un 60% de ocurrencia, se saca un número aleatorio y, sí es menor al 60% se seleccionará para crear un "hijo" y, sí es mayor, no saldrá seleccionado. Este proceso se repetirá hasta que se complete la matriz de descendencia.

**Cruzamiento**

Es el intercambio de genes entre los cromosomas de los dos progenitores.



Podemos realizar el cruzamiento de muchas maneras:

Cruzamiento de un único punto: A partir de ese punto se intercambian las cadenas de los progenitores.

Cruzamiento de N puntos. El nº de puntos de ruptura es constante.

Cruzamiento segmentado: El nº de puntos de ruptura es variable.

Cruzamiento uniforme: Para cada posición, se decide al azar si se intercambian las posiciones (cuando la codificación es binaria).

Cruzamiento aleatorio: Para cada posición, se decide al azar si se hereda de un progenitor o del otro (cuando la codificación es binaria).

En el caso del problema del viajante, cuando la cadena de ciudades es corta, se recomienda el uso de un único punto de corte, alterando (aleatoriamente), cual es el tramo que se extrae y mezcla (antes del punto de corte o después del punto de corte).

Si la cadena de ciudades es larga, se recomienda el uso de N puntos de corte, alterando el contenido entre ambos puntos. En este caso se recomienda el uso de dos puntos en vez de uno porque, el resultado de aplicar un solo punto de corte a un material genético de cadenas largas, se asemeja más a una generación aleatoria de soluciones, que a una mejora genética. Hemos de tener en cuenta que la primera y última ciudad no pueden variarse.

**Mutación**

El proceso de cruzamiento no es suficiente para llegar a una solución óptima, debido a que no introduce nueva información extrínseca, por lo que se puede caer en el problema del mínimo / máximo local. La mutación consiste en la variación aleatoria de los genes que componen los cromosomas.

Siendo Pm la probabilidad de que la mutación tenga lugar, ¿Qué tipos de mutaciones pueden darse?

Inversión de un solo bit (codificación binaria).

Inversión por fragmentos: el fragmento entero es invertido.

Selección aleatoria: la cadena elegida es reemplazada por una completamente nueva y aleatoria.

Por norma general, se utiliza un valor de Pm cte, sin embargo podría utilizarse una Pm variable: probabilidad\_mutacion = Rnd() / 10 'En cada generación la probabilidad de mutación es distinta.

mutacion = Rnd()

If mutacion > probabilidad\_mutacion Then 🡪 La cadena muta por completo.

La probabilidad de mutación debe ser suficientemente baja como para permitir al algoritmo que converja (3% - 5%).

Prevención de endogamia: Cada vez que un padre tiene un hijo, este incrementa sus probabilidades de mutar en función del nº de hermanos que tenga en la generación.

**Estrategias de reemplazo generacional**

Se crea una nueva generación que reemplaza a la anterior. Excepto el mejor viajante de la generación anterior, que permanece inalterado (para la que la siguiente generación sea, como mínimo, igual de buena).

Estrategias de reemplazo existentes:

Reemplazar al peor de la población (búsqueda de soluciones élite).

Torneo restringido: Se reemplazan a los más parecidos (obj es mantener cierta diversidad).

Peor entre semejantes: Se reemplaza al peor cromosoma entre los más parecidos (equilibrio entre élite y diversidad).

Crowding determinístico: El hijo reemplaza a su padre más parecido (mantiene la diversidad).

Reemplazo total: La generación de hijos reemplaza a sus padres, a excepción del mejor de la generación anterior.

**Duración - reinicio**

Posibles criterios de finalización:

Se cumple la función objetivo (en el caso de conocer el valor).Ojo, puede no alcanzarse ese valor con exactitud; para evitar un bucle infinito, el algoritmo se detendría al alcanzar un umbral de éxito.

Utilizar un número determinado de generaciones y dar, como resultado válido, el mejor de dicha generación. Lo más probable es que con este método no se alcance el valor deseado, sino un máximo o mínimo local.

Calcular la mejora obtenida por la generación siguiente. Si esta mejora es menor al 0,01% durante 20 – 50 generaciones, determinamos que se ha alcanzado una solución óptima.

El algoritmo debe ser reiniciado para comprobar que se ha alcanzado la solución óptima.

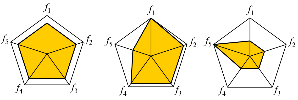
En caso de convergencia prematura del algoritmo, se recomienda su reinicialización con una generación inicial aleatoria nueva.

## Problemas multiobjetivo

Existen problemas donde se deben optimizar varios obj (minimizar consumo de energía, maximizar potencia, maximizar estabilidad del sistema). Hay que maximizar la eficiencia de la solución escogiendo soluciones no dominadas (similar a la frontera de Markowitz).

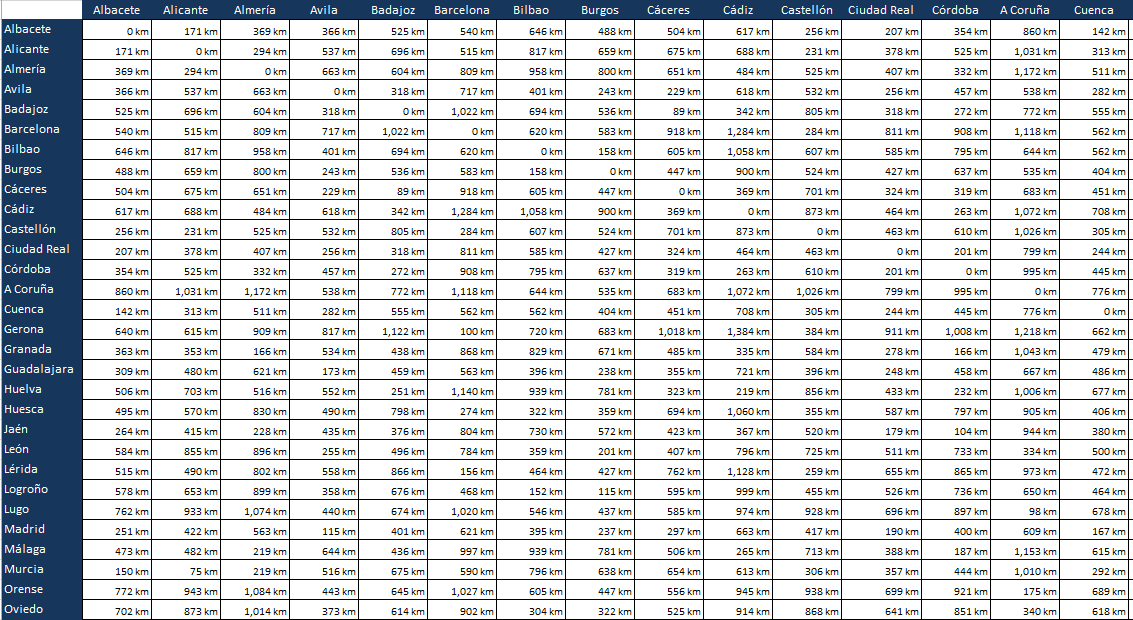
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Se necesita:  Método de búsqueda basado en múltiples objetivos.  Sistema de equilibrio entre los objetivos.  Orden para el proceso de optimización.  Se usan modelos evolutivos usando pesos para la agregación de los objetivos. |  |

Ej, optimizando una función con 5 objetivos



# Caso a resolver: Resuelve el problema del viajante

Dada una matriz de distancias de 47 ciudades. Empezando y terminando el viaje en Albacete, encuentra la ruta óptima para recorrer todas las ciudades (una sola vez) y volver a la ciudad de origen.



**Objetivo**: Diseña el algoritmo genético.

**Tiempo objetivo**: 15 minutos.

**Objetivo**: Programa el algoritmo genético.

**Tiempo objetivo**: 90 minutos.

# Caso a resolver: Encuentra la apuesta óptima.

Conociendo los resultados de las últimas 18 carreras de F1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pos | Ptos | Escudería | 2015 | 1º | 2º | 3º | 4º | 5º | 6º | 7º | 8º | 9º | 10º | 11º | 12º | 13º | 14º | 15º | 16º | 17º | 18º | 19º |
| 1 | 25 | Mercedes | Hamilton | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 6 | 1 | 1 | RET | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |  |
| 2 | 18 | Ferrari | Vettel | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 1 | 12 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | RET | 3 |  |
| 3 | 15 | Mercedes | Rosberg | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 8 | 2 | 17 | 4 | 2 | RET | 2 | 1 | 1 |  |
| 4 | 12 | Ferrari | Kimi | RET | 4 | 4 | 2 | 5 | 6 | 4 | RET | 8 | RET | 7 | 5 | 3 | 4 | 8 | RET | RET | 4 |  |
| 5 | 10 | Williams | Bottas | RET | 5 | 6 | 4 | 4 | 14 | 3 | 5 | 5 | 13 | 9 | 4 | 5 | 5 | 12 | RET | 3 | 5 |  |
| 6 | 8 | Williams | Massa | 4 | 6 | 5 | 10 | 6 | 15 | 6 | 3 | 4 | 12 | 6 | 3 | RET | 17 | 4 | RET | 6 | RET |  |
| 7 | 6 | Red Bull | Kvyat | RET | 9 | RET | 9 | 10 | 4 | 9 | 12 | 6 | 2 | 4 | 10 | 6 | 13 | 5 | RET | 4 | 7 |  |
| 8 | 4 | Red Bull | Ricciardo | 6 | 10 | 9 | 6 | 7 | 5 | 13 | 10 | RET | 3 | RET | 8 | 2 | 15 | 15 | 10 | 5 | 11 |  |
| 9 | 2 | Force India | Pérez | 10 | 13 | 11 | 8 | 13 | 7 | 11 | 9 | 9 | RET | 5 | 6 | 7 | 12 | 3 | 5 | 8 | 12 |  |
| 10 | 1 | Lotus | Grosjean | RET | 11 | 7 | 7 | 8 | 12 | 10 | RET | RET | 7 | 3 | RET | 13 | 7 | RET | RET | 10 | 8 |  |
| 11 | 0 | Force India | Hulkenberg | 7 | 14 | RET | 13 | 15 | 11 | 8 | 6 | 7 | RET | RET | 7 | RET | 6 | RET | RET | 7 | 6 |  |
| 12 | 0 | Toro Rosso | Verstappen | RET | 7 | RET | RET | 11 | RET | 15 | 8 | RET | 4 | 8 | 12 | 8 | 9 | 10 | 4 | 9 | 9 |  |
| 13 | 0 | Sauber | Nars | 5 | 12 | 8 | 12 | 12 | 9 | 16 | 11 | RET | 11 | 11 | 13 | 10 | 20 | 6 | 9 | RET | 13 |  |
| 14 | 0 | Lotus | Maldonado | RET | RET | RET | 15 | RET | RET | 7 | 7 | RET | 14 | RET | RET | 12 | 8 | 7 | 8 | 11 | 10 |  |
| 15 | 0 | Toro Rosso | Sainz | 9 | 8 | 14 | RET | 9 | 10 | 12 | RET | RET | RET | RET | 11 | 9 | 10 | RET | 7 | 13 | RET |  |
| 16 | 0 | Mclaren | Alonso | RET | RET | 12 | 11 | RET | RET | RET | RET | 10 | 5 | 13 | 18 | RET | 11 | 11 | 11 | RET | 15 |  |
| 17 | 0 | Sauber | Ericsson | 8 | RET | 10 | 14 | 14 | 13 | 14 | 13 | 11 | 10 | 10 | 9 | 11 | 14 | RET | RET | 12 | 16 |  |
| 18 | 0 | Mclaren | Button | 11 | RET | 13 | RET | 16 | 8 | RET | RET | RET | 9 | 14 | 14 | RET | 16 | 9 | 6 | 14 | 14 |  |
| 19 | 0 | Manor | Rossi | RET | 15 | 16 | 17 | 18 | 16 | RET | 14 | 12 | 15 | 15 | 16 | 14 | 18 | 13 | 12 | 15 | 18 |  |
| 20 | 0 | Manor | Stevens | RET | RET | 15 | 16 | 17 | 17 | 17 | RET | 13 | 16 | 16 | 15 | 15 | 19 | 14 | RET | 16 | 17 |  |

Y estando así las apuestas, ¿Cuál es la mejor apuesta posible?

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | 1,66 | Ganador | Hamilton | | 9,00 | Ganador | Vettel | | 2,62 | Ganador | Rosberg | | 34,00 | Ganador | Kimi | | 34,00 | Ganador | Bottas | | 41,00 | Ganador | Massa | | 67,00 | Ganador | Kvyat | | 67,00 | Ganador | Ricciardo | | 151,00 | Ganador | Pérez | | 501,00 | Ganador | Grosjean | | 151,00 | Ganador | Hulkenberg | | 251,00 | Ganador | Verstappen | | 2.501,00 | Ganador | Nars | | 501,00 | Ganador | Maldonado | | 251,00 | Ganador | Sainz | | 1.501,00 | Ganador | Alonso | | 2.501,00 | Ganador | Ericsson | | 1.501,00 | Ganador | Button | | 5.001,00 | Ganador | Rossi | | 5.001,00 | Ganador | Stevens | | 1,16 | Podium | Hamilton | | 1,61 | Podium | Vettel | | 1,20 | Podium | Rosberg | | 6,00 | Podium | Kimi | | 4,50 | Podium | Bottas | | 4,50 | Podium | Massa | | 8,00 | Podium | Kvyat | | 8,00 | Podium | Ricciardo | | 13,00 | Podium | Pérez | | 41,00 | Podium | Grosjean | | 13,00 | Podium | Hulkenberg | | 21,00 | Podium | Verstappen | | 251,00 | Podium | Nars | | 67,00 | Podium | Maldonado | | 26,00 | Podium | Sainz | | 101,00 | Podium | Alonso | | 251,00 | Podium | Ericsson | | 101,00 | Podium | Button | | 1.501,00 | Podium | Rossi | | 1.501,00 | Podium | Stevens | | |  |  |  | | --- | --- | --- | | 1,12 | 6 mejores | Hamilton | | 1,16 | 6 mejores | Vettel | | 1,14 | 6 mejores | Rosberg | | 1,66 | 6 mejores | Kimi | | 1,53 | 6 mejores | Bottas | | 1,61 | 6 mejores | Massa | | 2,50 | 6 mejores | Kvyat | | 2,00 | 6 mejores | Ricciardo | | 2,50 | 6 mejores | Pérez | | 7,00 | 6 mejores | Grosjean | | 2,50 | 6 mejores | Hulkenberg | | 5,00 | 6 mejores | Verstappen | | 34,00 | 6 mejores | Nars | | 11,00 | 6 mejores | Maldonado | | 6,50 | 6 mejores | Sainz | | 13,00 | 6 mejores | Alonso | | 34,00 | 6 mejores | Ericsson | | 13,00 | 6 mejores | Button | | 1.501,00 | 6 mejores | Rossi | | 1.501,00 | 6 mejores | Stevens | | 1,07 | Puntúa | Hamilton | | 1,11 | Puntúa | Vettel | | 1,10 | Puntúa | Rosberg | | 1,25 | Puntúa | Kimi | | 1,16 | Puntúa | Bottas | | 1,20 | Puntúa | Massa | | 1,44 | Puntúa | Kvyat | | 1,33 | Puntúa | Ricciardo | | 1,44 | Puntúa | Pérez | | 2,20 | Puntúa | Grosjean | | 1,44 | Puntúa | Hulkenberg | | 2,00 | Puntúa | Verstappen | | 4,33 | Puntúa | Nars | | 2,75 | Puntúa | Maldonado | | 2,10 | Puntúa | Sainz | | 3,00 | Puntúa | Alonso | | 4,33 | Puntúa | Ericsson | | 3,00 | Puntúa | Button | | 101,00 | Puntúa | Rossi | | 101,00 | Puntúa | Stevens | | |  |  |  | | --- | --- | --- | | 0,00 | No puntúa | Hamilton | | 5,25 | No puntúa | Vettel | | 5,50 | No puntúa | Rosberg | | 3,40 | No puntúa | Kimi | | 4,00 | No puntúa | Bottas | | 3,40 | No puntúa | Massa | | 2,55 | No puntúa | Kvyat | | 2,30 | No puntúa | Ricciardo | | 2,40 | No puntúa | Pérez | | 1,50 | No puntúa | Grosjean | | 2,20 | No puntúa | Hulkenberg | | 2,20 | No puntúa | Verstappen | | 1,30 | No puntúa | Nars | | 1,34 | No puntúa | Maldonado | | 1,75 | No puntúa | Sainz | | 1,30 | No puntúa | Alonso | | 1,20 | No puntúa | Ericsson | | 1,30 | No puntúa | Button | | 0,00 | No puntúa | Rossi | | 0,00 | No puntúa | Stevens | | 1,06 | Termina | Hamilton | | 1,10 | Termina | Vettel | | 1,08 | Termina | Rosberg | | 1,12 | Termina | Kimi | | 1,10 | Termina | Bottas | | 1,14 | Termina | Massa | | 1,20 | Termina | Kvyat | | 1,12 | Termina | Ricciardo | | 1,25 | Termina | Pérez | | 1,40 | Termina | Grosjean | | 1,25 | Termina | Hulkenberg | | 1,28 | Termina | Verstappen | | 1,25 | Termina | Nars | | 1,61 | Termina | Maldonado | | 1,50 | Termina | Sainz | | 1,40 | Termina | Alonso | | 1,22 | Termina | Ericsson | | 1,40 | Termina | Button | | 1,28 | Termina | Rossi | | 1,25 | Termina | Stevens | | |  |  |  | | --- | --- | --- | | 8,00 | No termina | Hamilton | | 6,50 | No termina | Vettel | | 7,00 | No termina | Rosberg | | 5,50 | No termina | Kimi | | 6,50 | No termina | Bottas | | 5,00 | No termina | Massa | | 4,33 | No termina | Kvyat | | 5,50 | No termina | Ricciardo | | 3,75 | No termina | Pérez | | 2,75 | No termina | Grosjean | | 3,75 | No termina | Hulkenberg | | 3,50 | No termina | Verstappen | | 3,75 | No termina | Nars | | 2,20 | No termina | Maldonado | | 2,50 | No termina | Sainz | | 2,75 | No termina | Alonso | | 4,00 | No termina | Ericsson | | 2,75 | No termina | Button | | 3,50 | No termina | Rossi | | 3,75 | No termina | Stevens | |

|  |  |
| --- | --- |
| **Objetivo**: Diseña el algoritmo genético.  **Tiempo objetivo**: 15 minutos. | **Objetivo**: Programa el algoritmo genético.  **Tiempo objetivo**: 90 minutos. |

# Caso a resolver: Encuentra la apuesta óptima.

Sabiendo que hay 161 apuestas posibles y que cada ficha tiene un valor de 2,5 €, ¿Cuál es la mejor apuesta posible si los números que más salen son el 5, 11, 23 y 36?

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **0** | **3** | **6** | **9** | **12** | **15** | **18** | **21** | **24** | **27** | **30** | **33** | **36** | 3ª COL |
| **2** | **5** | **8** | **11** | **14** | **17** | **20** | **23** | **26** | **29** | **32** | **35** | 2ª COL |
| **1** | **4** | **7** | **10** | **13** | **16** | **19** | **22** | **25** | **28** | **31** | **34** | 1ª COL |
|  | 1 a 12 | | | | 13 a 24 | | | | 25 a 36 | | | |  |
|  | 1 a 18 | | Par | | **Rojo** | | **Negro** | | Impar | | 19 a 36 | |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 | **0** | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 0 | | | | | | | 0 | 0 | | | | | | | 0 |
| 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | | 0 | **0** | | | 0 | **0** | | | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | | 0 |

**Beneficio por cada ficha apostada en el caso de acertar.**

Pleno: 35 1 único numero apostado

Semipleno: 17 2 números apostados

Trasversal: 11 3 números apostados

Cuadro: 8 4 números apostados

Seisena: 5 6 números apostados

Columnas o docenas: 2 12 números apostados

Suerte sencilla: 1 18 números apostados

0,5 24 números apostados

|  |  |
| --- | --- |
| **Objetivo**: Diseña el algoritmo genético.  **Tiempo objetivo**: 15 minutos. | **Objetivo**: Programa el algoritmo genético.  **Tiempo objetivo**: 90 minutos. |