



Inteligencia Artificial  
Ingeniería en Sistemas de Información  
Año 2025

## Trabajo Práctico N° 2

### Entrega Final

#### GRUPO N° 06

Apellido y Nombres	Dirección de E-Mail
García Nicolás Francisco	nicolgarcia@frba.utn.edu.ar
del Campo Kenny Francisco	fdelcampokenny@frba.utn.edu.ar
Andrade Federico Valentín	fandrade@frba.utn.edu.ar
Davrieux Maximo	mdavrieux@frba.utn.edu.ar
Fedorenko Martin Fernando	mfedorenko@frba.utn.edu.ar

<b>Fecha de Presentación</b>	01/06/2025
------------------------------	------------

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Buenos Aires



#### APROBADO

El trabajo práctico está bien realizado aplicando correctamente un Algoritmo Genético para la resolución del problema seleccionado.

Los resultados de las corridas están claros y bien explicados.

Además, tanto el análisis como las conclusiones están muy bien elaboradas y completas.

# Sistemas Inteligentes

Martin Fernando Fedorenko, Maximo Davrieux, Federico Valentin Andrade, Francisco del Campo Kenny, Nicolás Francisco García

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires.  
Buenos Aires. Argentina

**Resumen.** En este trabajo práctico se aborda la optimización de la ubicación de lingadas de tubos de acero en estibas de un almacén industrial. Dada la complejidad del problema y la cantidad de combinaciones posibles, se propone un sistema inteligente basado en un algoritmo genético. Este modelo tiene en cuenta diversas restricciones tales como la coincidencia entre las lingadas, capacidad de almacenamiento de las estibas, distancias a centros de origen y destino, entre otros. Cada solución se representa como un cromosoma y se evalúa mediante una función de aptitud configurable para darle mayor o menor importancia a ciertas características. La implementación se realizará en Python, buscando mejorar la eficiencia en la gestión del almacenamiento.

**Palabras Claves:** Optimización, lingadas, estibas, algoritmo genético, sistema inteligente

## 1. Introducción

### 1.1 Descripción del problema

Optimización de ubicación de lingadas<sup>1</sup> de tubos de acero en estibas<sup>2</sup> de un almacén industrial.

Todos los días los distintos centros productivos de una fábrica de tubos producen una determinada cantidad de tubos. Estos se transportan en lingadas hasta las estibas de un almacén para luego ser usados por otros centros. Para seleccionar la ubicación donde será almacenada cada lingada se tienen en cuenta tanto las características propias de cada lingada, las características de las estibas y las características de las lingadas ya almacenadas en las estibas. Es importante mencionar que el almacén dispone aproximadamente de 70 estibas (vacías, parcialmente cargadas, completamente

---

<sup>1</sup> Lingada: paquete o conjunto de tubos envueltos por una eslinga o cincha.

<sup>2</sup> Estiba: estructura de metal hecha para contener tubos de acero.

cargadas) y diariamente hay que ubicar entre 50 y 100 lingadas provenientes de los distintos centros productivos.

## 1.2 Definición del sistema inteligente

Debido a la naturaleza combinatoria del problema, al presentar una gran cantidad de combinaciones posibles entre lingadas y estibas, así como la diversidad de parámetros y restricciones a considerar para obtener una solución satisfactoria se opta por solucionar la problemática mediante la implementación de un **Algoritmo Genético**.

### 1.2.1 Características a evaluar

Para determinar una combinación satisfactoria se tendrán en cuenta las siguientes características:

- Igualdad de orden entre lingada a ubicar y las lingadas ya ubicadas en una estiba.
- Igualdad de colada entre lingada a ubicar y las lingadas ya ubicadas en una estiba.
- Igualdad de producto entre lingada a ubicar y las lingadas ya ubicadas en una estiba.
- Posibilidad de obstrucción entre la lingada a ubicar y las ya ubicadas en la estiba (ocurre obstrucción cuando se coloca una lingada que se va a usar posteriormente a las lingadas ya ubicadas).
- Capacidad de almacenamiento de las estibas (las estibas tienen una capacidad de almacenamiento limitada).
- Ubicación de las estibas en relación al centro origen y centro destino de la lingada.

### 1.2.2 Cromosoma

En cuanto al cromosoma que se utiliza para este algoritmo genético, este está compuesto por una cantidad variable de genes. Dicha cantidad depende de la cantidad de lingadas que se quiera asignar por corrida. Cada gen puede tener como valor un identificador de estiba el cual representa la estiba asignada para dicha lingada.

***[id\_estiba\_1, id\_estiba\_2 ... id\_estiba\_n]***

*Modelo de cromosoma*

Para visualizar de forma más clara el modelo del cromosoma podemos analizar el siguiente ejemplo. El gen N°2 del siguiente individuo corresponde a la segunda lingada de nuestro conjunto de datos. Este gen posee el valor 7A11, lo cual implica que se propuso como ubicación para la segunda lingada la estiba 7A11.

**[7B13, 7A11... 7C05]**

*Ejemplo de individuo*

Es importante mencionar que en el modelo inicial se planteó el siguiente cromosoma:

**[id\_estiba, id\_lingada, id\_nivel]**

*Modelo de cromosoma descartado*

Sin embargo, se descartó debido a que el modelo original tenían que tener fijos los identificadores de lingada y nivel de estiba, lo cual impedía que el algoritmo combine genes. Las únicas combinaciones posibles eran de estibas, lo cual reducía el espacio de búsqueda del algoritmo y limitaba su capacidad de encontrar la solución óptima dentro de la combinación de parámetros (tanto lingadas, estibas como niveles de cada estiba).

### 1.2.3 Función de aptitud

La función de aptitud de este **algoritmo genético** penalizará o recompensará a las distintas combinaciones dependiendo de las características previamente mencionadas. Cabe aclarar que los puntajes van a poder ser configurados para darle mayor o menor importancia a ciertas características.

- Tener igualdad de orden, colada o producto suma N1 puntos cada uno a la aptitud.
- Generar obstrucción penaliza N2 puntos a la aptitud, N2 dependerá de cuántos niveles de obstrucción haya.
- Ubicar una lingada en una estiba cuya zona es más cercana al centro siguiente otorga N3 puntos a la aptitud (cuanto más lejana la zona menor el puntaje).
- En base a la ubicación de la estiba en relación al centro origen y centro destino se otorgará un puntaje N4 proporcional a la distancia.
- En el caso de sobrepasar la capacidad máxima de una estiba se penalizará N5 puntos a la aptitud.
- En caso de no sobrepasar la capacidad de la estiba, se recompensará una cantidad proporcional a N6 puntos por la cantidad de niveles libres.

### 1.3 Tecnología

Para llevar a cabo el desarrollo de este algoritmo genético se utilizara el lenguaje programación Python junto con el framework DEAP (Distributed Evolutionary Algorithms in Python).

Además, se utilizó la librería de Matplotlib para graficar la evolución de las generaciones.

### 1.4 Resultados

#### 1.4.1 Corrida 1

##### Métodos y parámetros aplicados:

- **Pesos:**
  - $N1 = 100$  # Agrupamiento
  - $N2 = 15$  # Penalización por obstrucción
  - $N3 = 8$  # Cercania zona
  - $N4 = 6$  # Distancia estiba - (destino + origen)
  - $N5 = 30$  # Penalización por sobrecapacidad
  - $N6 = 70$  # Capacidad
- **Algoritmo:** Torneo

##### Gráfico del comportamiento general de la función de aptitud

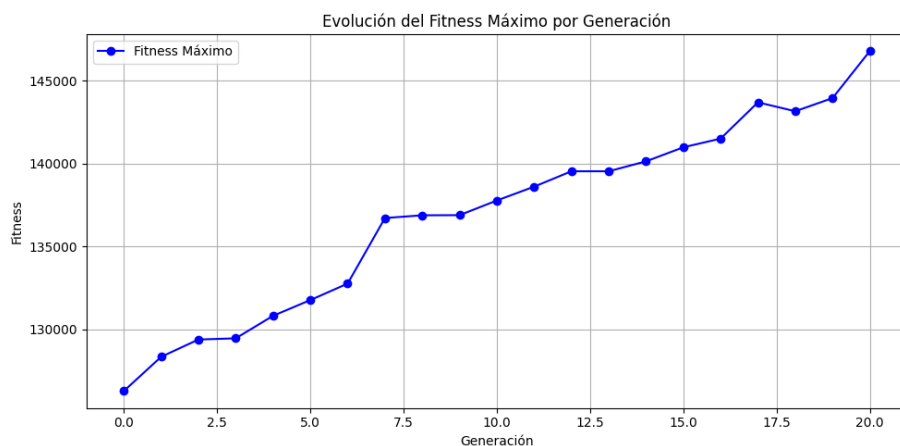
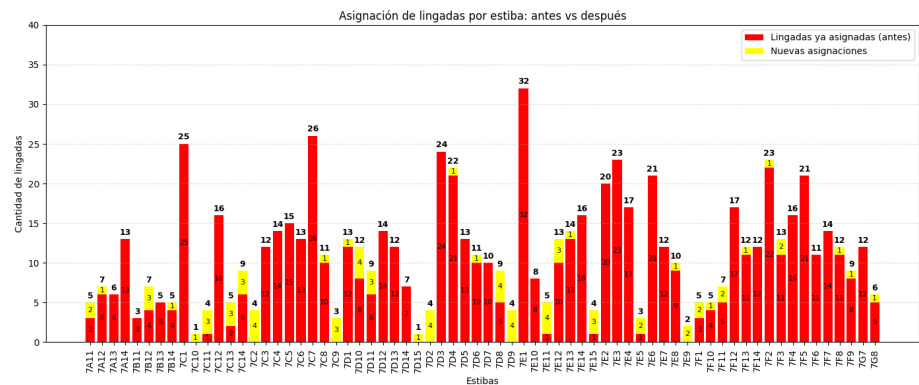


Gráfico de la mejor asignación de lingadas obtenida



Mejor solución obtenida

Lingada 0 → Estiba '7F10', Nivel 5	Lingada 38 → Estiba '7C9', Nivel 2
Lingada 1 → Estiba '7F1', Nivel 4	Lingada 39 → Estiba '7C14', Nivel 8
Lingada 2 → Estiba '7E11', Nivel 2	Lingada 40 → Estiba '7D6', Nivel 11
Lingada 3 → Estiba '7D2', Nivel 1	Lingada 41 → Estiba '7E15', Nivel 3
Lingada 4 → Estiba '7E12', Nivel 11	Lingada 42 → Estiba '7C2', Nivel 3
Lingada 5 → Estiba '7E12', Nivel 12	Lingada 43 → Estiba '7F3', Nivel 13
Lingada 6 → Estiba '7D2', Nivel 2	Lingada 44 → Estiba '7E15', Nivel 4
Lingada 7 → Estiba '7C13', Nivel 3	Lingada 45 → Estiba '7E5', Nivel 3
Lingada 8 → Estiba '7F2', Nivel 23	Lingada 46 → Estiba '7D9', Nivel 4
Lingada 9 → Estiba '7D1', Nivel 13	Lingada 47 → Estiba '7C14', Nivel 9
Lingada 10 → Estiba '7D15', Nivel 1	Lingada 48 → Estiba '7D8', Nivel 6
Lingada 11 → Estiba '7D11', Nivel 7	Lingada 49 → Estiba '7D8', Nivel 7
Lingada 12 → Estiba '7C9', Nivel 1	Lingada 50 → Estiba '7E11', Nivel 3
Lingada 13 → Estiba '7D9', Nivel 1	Lingada 51 → Estiba '7A11', Nivel 5
Lingada 14 → Estiba '7B12', Nivel 5	Lingada 52 → Estiba '7E11', Nivel 4
Lingada 15 → Estiba '7C8', Nivel 11	Lingada 53 → Estiba '7F11', Nivel 7
Lingada 16 → Estiba '7C10', Nivel 1	Lingada 54 → Estiba '7F1', Nivel 5
Lingada 17 → Estiba '7C2', Nivel 1	Lingada 55 → Estiba '7C2', Nivel 4
Lingada 18 → Estiba '7D4', Nivel 22	Lingada 56 → Estiba '7B12', Nivel 6
Lingada 19 → Estiba '7F3', Nivel 12	Lingada 57 → Estiba '7C9', Nivel 3
Lingada 20 → Estiba '7C14', Nivel 7	Lingada 58 → Estiba '7E12', Nivel 13
Lingada 21 → Estiba '7D11', Nivel 8	Lingada 59 → Estiba '7D2', Nivel 4
Lingada 22 → Estiba '7C11', Nivel 2	Lingada 60 → Estiba '7F8', Nivel 12
Lingada 23 → Estiba '7D2', Nivel 3	Lingada 61 → Estiba '7D8', Nivel 8
Lingada 24 → Estiba '7D11', Nivel 9	Lingada 62 → Estiba '7D10', Nivel 10
Lingada 25 → Estiba '7B14', Nivel 5	Lingada 63 → Estiba '7E13', Nivel 14
Lingada 26 → Estiba '7E15', Nivel 2	Lingada 64 → Estiba '7D8', Nivel 9
Lingada 27 → Estiba '7E8', Nivel 10	Lingada 65 → Estiba '7G8', Nivel 6
Lingada 28 → Estiba '7D9', Nivel 2	Lingada 66 → Estiba '7B12', Nivel 7

Lingada 29 → Estiba '7E5', Nivel 2	Lingada 67 → Estiba '7C13', Nivel 4
Lingada 30 → Estiba '7D10', Nivel 9	Lingada 68 → Estiba '7F9', Nivel 9
Lingada 31 → Estiba '7C2', Nivel 2	Lingada 69 → Estiba '7D10', Nivel 11
Lingada 32 → Estiba '7F11', Nivel 6	Lingada 70 → Estiba '7C13', Nivel 5
Lingada 33 → Estiba '7D9', Nivel 3	Lingada 71 → Estiba '7E9', Nivel 2
Lingada 34 → Estiba '7A12', Nivel 7	Lingada 72 → Estiba '7C11', Nivel 4
Lingada 35 → Estiba '7E9', Nivel 1	Lingada 73 → Estiba '7E11', Nivel 5
Lingada 36 → Estiba '7A11', Nivel 4	Lingada 74 → Estiba '7F13', Nivel 12
Lingada 37 → Estiba '7C11', Nivel 3	Lingada 75 → Estiba '7D10', Nivel 12

## 1.4.2 Corrida 2

### Métodos y parámetros aplicados:

- **Pesos:**
  - N1 = 100 # Agrupamiento
  - N2 = 15 # Penalización por obstrucción
  - N3 = 8 # Cercanía zona
  - N4 = 6 # Distancia estiba - (destino + origen)
  - N5 = 30 # Penalización por sobrecapacidad
  - N6 = 70 # Capacidad
- **Algoritmo:** Ruleta

### Gráfico del comportamiento general de la función de aptitud

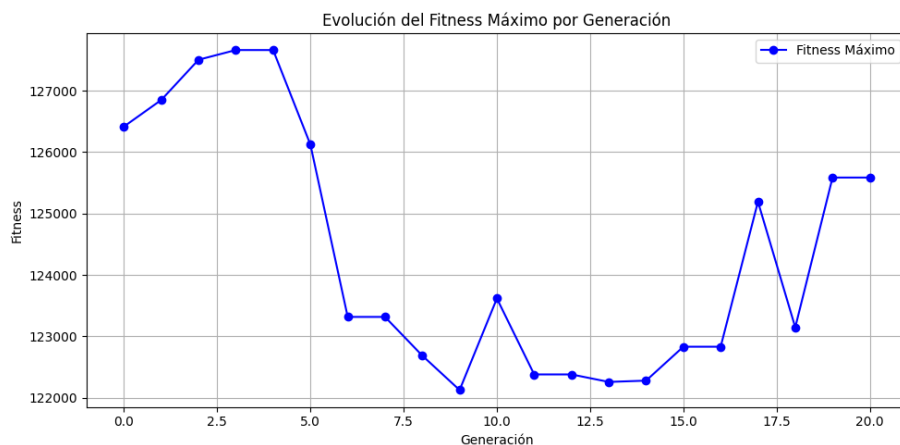
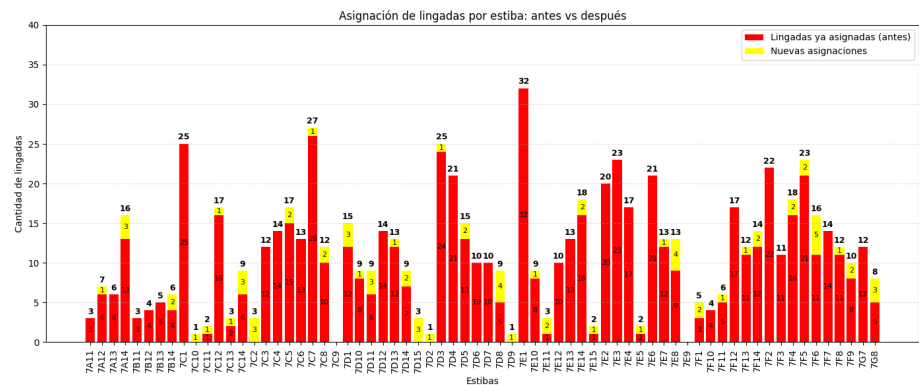


Gráfico de la mejor asignación de lingadas obtenida



Mejor solución obtenida

Lingada 0 → Estiba '7D13', Nivel 13	Lingada 38 → Estiba '7F1', Nivel 5
Lingada 1 → Estiba '7F4', Nivel 17	Lingada 39 → Estiba '7D9', Nivel 1
Lingada 2 → Estiba '7B14', Nivel 5	Lingada 40 → Estiba '7A14', Nivel 15
Lingada 3 → Estiba '7C2', Nivel 1	Lingada 41 → Estiba '7C2', Nivel 2
Lingada 4 → Estiba '7D5', Nivel 14	Lingada 42 → Estiba '7B14', Nivel 6
Lingada 5 → Estiba '7E5', Nivel 2	Lingada 43 → Estiba '7D8', Nivel 9
Lingada 6 → Estiba '7F1', Nivel 4	Lingada 44 → Estiba '7E8', Nivel 10
Lingada 7 → Estiba '7C7', Nivel 27	Lingada 45 → Estiba '7C12', Nivel 17
Lingada 8 → Estiba '7D1', Nivel 13	Lingada 46 → Estiba '7F4', Nivel 18
Lingada 9 → Estiba '7F9', Nivel 9	Lingada 47 → Estiba '7F6', Nivel 12
Lingada 10 → Estiba '7F13', Nivel 12	Lingada 48 → Estiba '7C8', Nivel 12
Lingada 11 → Estiba '7D15', Nivel 1	Lingada 49 → Estiba '7D1', Nivel 15
Lingada 12 → Estiba '7C14', Nivel 7	Lingada 50 → Estiba '7C2', Nivel 3
Lingada 13 → Estiba '7E14', Nivel 17	Lingada 51 → Estiba '7F6', Nivel 13
Lingada 14 → Estiba '7E10', Nivel 9	Lingada 52 → Estiba '7F6', Nivel 14
Lingada 15 → Estiba '7G8', Nivel 6	Lingada 53 → Estiba '7D2', Nivel 1
Lingada 16 → Estiba '7C13', Nivel 3	Lingada 54 → Estiba '7E11', Nivel 2
Lingada 17 → Estiba '7F5', Nivel 22	Lingada 55 → Estiba '7G8', Nivel 7
Lingada 18 → Estiba '7C14', Nivel 8	Lingada 56 → Estiba '7F6', Nivel 15
Lingada 19 → Estiba '7A14', Nivel 14	Lingada 57 → Estiba '7F9', Nivel 10
Lingada 20 → Estiba '7A12', Nivel 7	Lingada 58 → Estiba '7E15', Nivel 2
Lingada 21 → Estiba '7D14', Nivel 8	Lingada 59 → Estiba '7A14', Nivel 16
Lingada 22 → Estiba '7D8', Nivel 6	Lingada 60 → Estiba '7F14', Nivel 14
Lingada 23 → Estiba '7F8', Nivel 12	Lingada 61 → Estiba '7G8', Nivel 8
Lingada 24 → Estiba '7D5', Nivel 15	Lingada 62 → Estiba '7E11', Nivel 3
Lingada 25 → Estiba '7E14', Nivel 18	Lingada 63 → Estiba '7D15', Nivel 2
Lingada 26 → Estiba '7D3', Nivel 25	Lingada 64 → Estiba '7E8', Nivel 11
Lingada 27 → Estiba '7E7', Nivel 13	Lingada 65 → Estiba '7D11', Nivel 7
Lingada 28 → Estiba '7F14', Nivel 13	Lingada 66 → Estiba '7D11', Nivel 8



Lingada 29 → Estiba '7C11', Nivel 2	Lingada 67 → Estiba '7D15', Nivel 3
Lingada 30 → Estiba '7D1', Nivel 14	Lingada 68 → Estiba '7D11', Nivel 9
Lingada 31 → Estiba '7D8', Nivel 7	Lingada 69 → Estiba '7C10', Nivel 1
Lingada 32 → Estiba '7C5', Nivel 16	Lingada 70 → Estiba '7E8', Nivel 12
Lingada 33 → Estiba '7C8', Nivel 11	Lingada 71 → Estiba '7D14', Nivel 9
Lingada 34 → Estiba '7D8', Nivel 8	Lingada 72 → Estiba '7C14', Nivel 9
Lingada 35 → Estiba '7F5', Nivel 23	Lingada 73 → Estiba '7E8', Nivel 13
Lingada 36 → Estiba '7C5', Nivel 17	Lingada 74 → Estiba '7F6', Nivel 16
Lingada 37 → Estiba '7F11', Nivel 6	Lingada 75 → Estiba '7D10', Nivel 9

### 1.4.3 Corrida 3

- **Métodos y parámetros aplicados:**

**Pesos:**

- N1 = 8 # Agrupamiento
- N2 = 15 # Penalización por obstrucción
- N3 = 100 # Cercanía zona
- N4 = 6 # Distancia estiba - (destino + origen)
- N5 = 30 # Penalización por sobrecapacidad
- N6 = 70 # Capacidad

- **Método:** Torneo

### Gráfico del comportamiento general de la función de aptitud

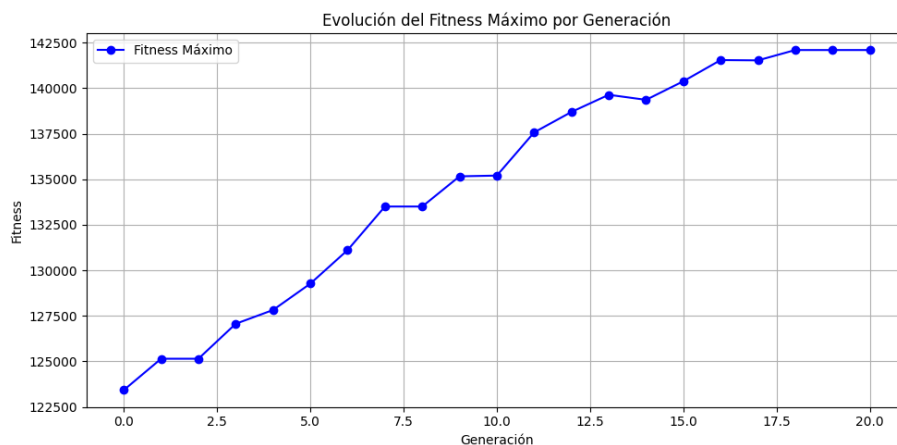
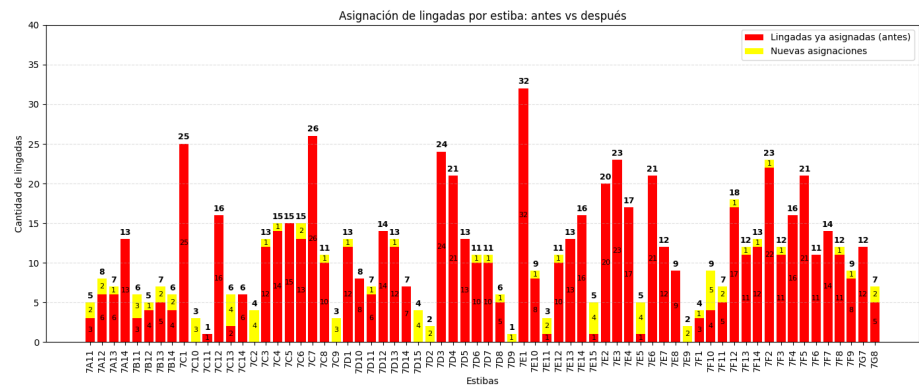


Gráfico de la mejor asignación de lingadas obtenida



Mejor solución obtenida

Lingada 0 → Estiba '7D13', Nivel 13	Lingada 38 → Estiba '7C9', Nivel 2
Lingada 1 → Estiba '7C2', Nivel 1	Lingada 39 → Estiba '7F10', Nivel 7
Lingada 2 → Estiba '7D7', Nivel 11	Lingada 40 → Estiba '7E5', Nivel 3
Lingada 3 → Estiba '7F8', Nivel 12	Lingada 41 → Estiba '7F12', Nivel 18
Lingada 4 → Estiba '7E11', Nivel 2	Lingada 42 → Estiba '7E11', Nivel 3
Lingada 5 → Estiba '7C10', Nivel 1	Lingada 43 → Estiba '7F1', Nivel 4
Lingada 6 → Estiba '7F13', Nivel 12	Lingada 44 → Estiba '7E5', Nivel 4
Lingada 7 → Estiba '7E15', Nivel 2	Lingada 45 → Estiba '7B11', Nivel 4
Lingada 8 → Estiba '7A12', Nivel 7	Lingada 46 → Estiba '7D1', Nivel 13
Lingada 9 → Estiba '7E15', Nivel 3	Lingada 47 → Estiba '7F2', Nivel 23
Lingada 10 → Estiba '7A11', Nivel 4	Lingada 48 → Estiba '7D15', Nivel 3
Lingada 11 → Estiba '7A11', Nivel 5	Lingada 49 → Estiba '7C10', Nivel 3
Lingada 12 → Estiba '7C10', Nivel 2	Lingada 50 → Estiba '7G8', Nivel 7
Lingada 13 → Estiba '7D15', Nivel 1	Lingada 51 → Estiba '7E15', Nivel 4
Lingada 14 → Estiba '7F11', Nivel 6	Lingada 52 → Estiba '7A12', Nivel 8
Lingada 15 → Estiba '7D15', Nivel 2	Lingada 53 → Estiba '7B11', Nivel 5
Lingada 16 → Estiba '7C6', Nivel 14	Lingada 54 → Estiba '7E5', Nivel 5
Lingada 17 → Estiba '7C9', Nivel 1	Lingada 55 → Estiba '7F10', Nivel 8
Lingada 18 → Estiba '7B14', Nivel 5	Lingada 56 → Estiba '7F10', Nivel 9
Lingada 19 → Estiba '7C6', Nivel 15	Lingada 57 → Estiba '7C3', Nivel 13
Lingada 20 → Estiba '7C2', Nivel 2	Lingada 58 → Estiba '7D15', Nivel 4
Lingada 21 → Estiba '7D6', Nivel 11	Lingada 59 → Estiba '7C8', Nivel 11
Lingada 22 → Estiba '7F3', Nivel 12	Lingada 60 → Estiba '7C13', Nivel 3
Lingada 23 → Estiba '7C2', Nivel 3	Lingada 61 → Estiba '7C13', Nivel 4
Lingada 24 → Estiba '7G8', Nivel 6	Lingada 62 → Estiba '7E15', Nivel 5
Lingada 25 → Estiba '7E9', Nivel 1	Lingada 63 → Estiba '7C13', Nivel 5
Lingada 26 → Estiba '7F14', Nivel 13	Lingada 64 → Estiba '7B12', Nivel 5
Lingada 27 → Estiba '7E5', Nivel 2	Lingada 65 → Estiba '7D9', Nivel 1
Lingada 28 → Estiba '7F10', Nivel 5	Lingada 66 → Estiba '7B13', Nivel 7

Lingada 29 → Estiba '7E10', Nivel 9	Lingada 67 → Estiba '7C13', Nivel 6
Lingada 30 → Estiba '7B13', Nivel 6	Lingada 68 → Estiba '7B14', Nivel 6
Lingada 31 → Estiba '7F11', Nivel 7	Lingada 69 → Estiba '7C2', Nivel 4
Lingada 32 → Estiba '7D2', Nivel 1	Lingada 70 → Estiba '7A13', Nivel 7
Lingada 33 → Estiba '7D2', Nivel 2	Lingada 71 → Estiba '7C9', Nivel 3
Lingada 34 → Estiba '7D8', Nivel 6	Lingada 72 → Estiba '7C4', Nivel 15
Lingada 35 → Estiba '7F10', Nivel 6	Lingada 73 → Estiba '7F9', Nivel 9
Lingada 36 → Estiba '7D11', Nivel 7	Lingada 74 → Estiba '7B11', Nivel 6
Lingada 37 → Estiba '7E12', Nivel 11	Lingada 75 → Estiba '7E9', Nivel 2

#### 1.4.4 Corrida 4

##### Métodos y parámetros aplicados:

- **Pesos:**
  - N1 = 100 # Agrupamiento
  - N2 = 45 # Penalización por obstrucción
  - N3 = 8 # Cercanía zona
  - N4 = 6 # Distancia estiba - (destino + origen)
  - N5 = 0 # Penalización por sobrecapacidad
  - N6 = 0 # Capacidad
- **Método:** Torneo

##### Gráfico del comportamiento general de la función de aptitud

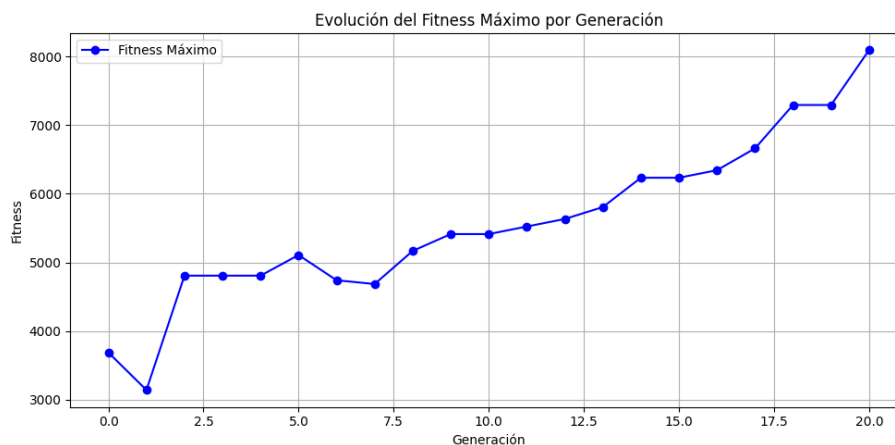
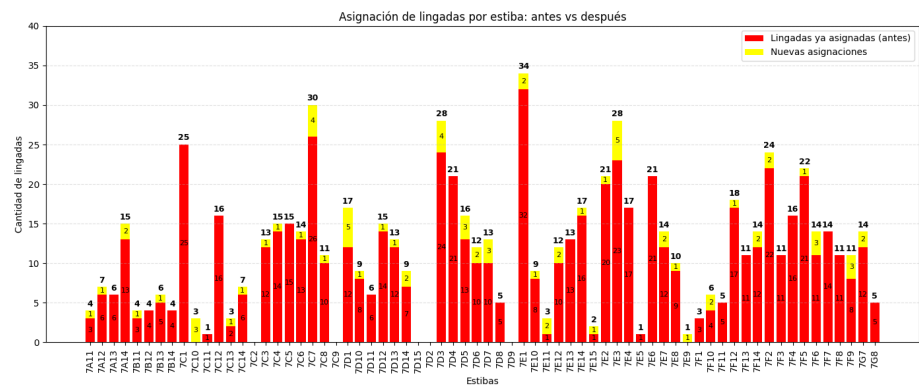


Gráfico de la mejor asignación de lingadas obtenida



Mejor solución obtenida

Lingada 0 → Estiba '7E7', Nivel 13	Lingada 38 → Estiba '7E12', Nivel 11
Lingada 1 → Estiba '7D12', Nivel 15	Lingada 39 → Estiba '7E3', Nivel 24
Lingada 2 → Estiba '7E8', Nivel 10	Lingada 40 → Estiba '7E3', Nivel 25
Lingada 3 → Estiba '7A11', Nivel 4	Lingada 41 → Estiba '7F12', Nivel 18
Lingada 4 → Estiba '7C4', Nivel 15	Lingada 42 → Estiba '7E3', Nivel 26
Lingada 5 → Estiba '7D5', Nivel 14	Lingada 43 → Estiba '7E1', Nivel 33
Lingada 6 → Estiba '7E11', Nivel 2	Lingada 44 → Estiba '7E3', Nivel 27
Lingada 7 → Estiba '7B11', Nivel 4	Lingada 45 → Estiba '7D1', Nivel 14
Lingada 8 → Estiba '7A12', Nivel 7	Lingada 46 → Estiba '7F10', Nivel 5
Lingada 9 → Estiba '7E14', Nivel 17	Lingada 47 → Estiba '7D7', Nivel 11
Lingada 10 → Estiba '7D10', Nivel 9	Lingada 48 → Estiba '7C10', Nivel 1
Lingada 11 → Estiba '7F9', Nivel 9	Lingada 49 → Estiba '7B13', Nivel 6
Lingada 12 → Estiba '7F9', Nivel 10	Lingada 50 → Estiba '7D7', Nivel 12
Lingada 13 → Estiba '7C7', Nivel 27	Lingada 51 → Estiba '7D14', Nivel 9
Lingada 14 → Estiba '7D6', Nivel 11	Lingada 52 → Estiba '7F2', Nivel 23
Lingada 15 → Estiba '7C3', Nivel 13	Lingada 53 → Estiba '7C10', Nivel 2
Lingada 16 → Estiba '7C7', Nivel 28	Lingada 54 → Estiba '7E3', Nivel 28
Lingada 17 → Estiba '7G7', Nivel 13	Lingada 55 → Estiba '7C10', Nivel 3
Lingada 18 → Estiba '7E11', Nivel 3	Lingada 56 → Estiba '7D1', Nivel 15
Lingada 19 → Estiba '7D1', Nivel 13	Lingada 57 → Estiba '7D3', Nivel 26
Lingada 20 → Estiba '7C7', Nivel 29	Lingada 58 → Estiba '7E9', Nivel 1
Lingada 21 → Estiba '7F9', Nivel 11	Lingada 59 → Estiba '7D3', Nivel 27
Lingada 22 → Estiba '7C6', Nivel 14	Lingada 60 → Estiba '7C14', Nivel 7
Lingada 23 → Estiba '7D14', Nivel 8	Lingada 61 → Estiba '7D1', Nivel 16
Lingada 24 → Estiba '7G7', Nivel 14	Lingada 62 → Estiba '7F10', Nivel 6
Lingada 25 → Estiba '7E7', Nivel 14	Lingada 63 → Estiba '7F2', Nivel 24
Lingada 26 → Estiba '7F14', Nivel 13	Lingada 64 → Estiba '7E12', Nivel 12
Lingada 27 → Estiba '7C13', Nivel 3	Lingada 65 → Estiba '7E10', Nivel 9

Lingada 28 → Estiba '7F6', Nivel 12	Lingada 66 → Estiba '7D13', Nivel 13
Lingada 29 → Estiba '7A14', Nivel 14	Lingada 67 → Estiba '7E15', Nivel 2
Lingada 30 → Estiba '7F6', Nivel 13	Lingada 68 → Estiba '7D5', Nivel 15
Lingada 31 → Estiba '7E2', Nivel 21	Lingada 69 → Estiba '7D5', Nivel 16
Lingada 32 → Estiba '7F5', Nivel 22	Lingada 70 → Estiba '7E1', Nivel 34
Lingada 33 → Estiba '7D6', Nivel 12	Lingada 71 → Estiba '7F6', Nivel 14
Lingada 34 → Estiba '7F14', Nivel 14	Lingada 72 → Estiba '7D7', Nivel 13
Lingada 35 → Estiba '7C7', Nivel 30	Lingada 73 → Estiba '7D3', Nivel 28
Lingada 36 → Estiba '7C8', Nivel 11	Lingada 74 → Estiba '7A14', Nivel 15
Lingada 37 → Estiba '7D3', Nivel 25	Lingada 75 → Estiba '7D1', Nivel 17

### 1.4.5 Corrida 5

#### Métodos y parámetros aplicados:

- **Pesos:**
  - N1 = 6 # Agrupamiento
  - N2 = 15 # Penalización por obstrucción
  - N3 = 8 # Cercanía zona
  - N4 = 100 # Distancia estiba - (destino + origen)
  - N5 = 30 # Penalización por sobrecapacidad
  - N6 = 70 # Capacidad
- **Método:** Torneo

#### Gráfico del comportamiento general de la función de aptitud

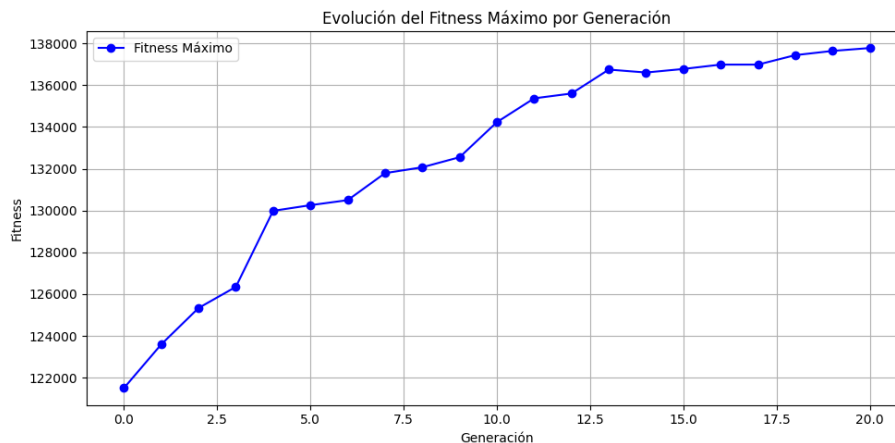
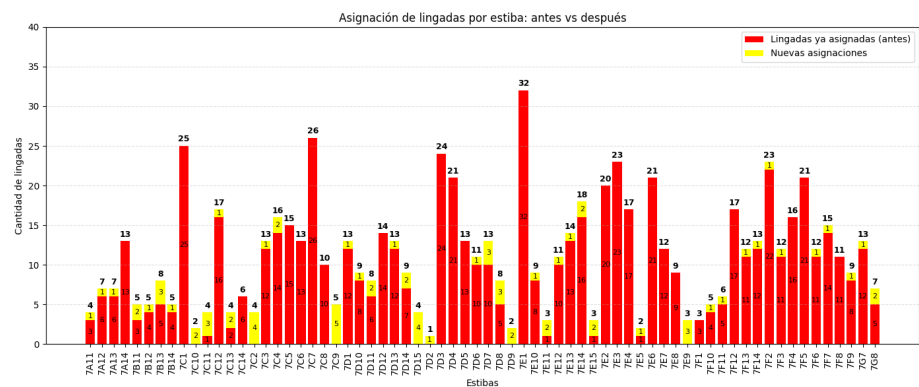


Gráfico de la capacidad de las estibas



Mejor solución obtenida

Lingada 0 → Estiba '7B13', Nivel 6	Lingada 38 → Estiba '7D13', Nivel 13
Lingada 1 → Estiba '7C9', Nivel 1	Lingada 39 → Estiba '7D14', Nivel 8
Lingada 2 → Estiba '7A12', Nivel 7	Lingada 40 → Estiba '7C10', Nivel 2
Lingada 3 → Estiba '7C11', Nivel 2	Lingada 41 → Estiba '7B13', Nivel 7
Lingada 4 → Estiba '7D15', Nivel 1	Lingada 42 → Estiba '7B11', Nivel 4
Lingada 5 → Estiba '7D15', Nivel 2	Lingada 43 → Estiba '7G8', Nivel 7
Lingada 6 → Estiba '7D7', Nivel 11	Lingada 44 → Estiba '7E9', Nivel 2
Lingada 7 → Estiba '7D11', Nivel 7	Lingada 45 → Estiba '7C9', Nivel 4
Lingada 8 → Estiba '7F11', Nivel 6	Lingada 46 → Estiba '7D8', Nivel 8
Lingada 9 → Estiba '7C2', Nivel 1	Lingada 47 → Estiba '7C2', Nivel 3
Lingada 10 → Estiba '7C11', Nivel 3	Lingada 48 → Estiba '7C12', Nivel 17
Lingada 11 → Estiba '7C9', Nivel 2	Lingada 49 → Estiba '7E15', Nivel 3
Lingada 12 → Estiba '7F2', Nivel 23	Lingada 50 → Estiba '7D7', Nivel 13
Lingada 13 → Estiba '7E5', Nivel 2	Lingada 51 → Estiba '7B14', Nivel 5
Lingada 14 → Estiba '7C9', Nivel 3	Lingada 52 → Estiba '7D11', Nivel 8
Lingada 15 → Estiba '7E14', Nivel 17	Lingada 53 → Estiba '7E14', Nivel 18
Lingada 16 → Estiba '7E10', Nivel 9	Lingada 54 → Estiba '7D14', Nivel 9
Lingada 17 → Estiba '7D8', Nivel 6	Lingada 55 → Estiba '7C3', Nivel 13
Lingada 18 → Estiba '7D6', Nivel 11	Lingada 56 → Estiba '7A11', Nivel 4
Lingada 19 → Estiba '7C13', Nivel 3	Lingada 57 → Estiba '7C4', Nivel 16
Lingada 20 → Estiba '7D1', Nivel 13	Lingada 58 → Estiba '7G7', Nivel 13
Lingada 21 → Estiba '7E9', Nivel 1	Lingada 59 → Estiba '7F14', Nivel 13
Lingada 22 → Estiba '7E11', Nivel 2	Lingada 60 → Estiba '7F13', Nivel 12
Lingada 23 → Estiba '7D2', Nivel 1	Lingada 61 → Estiba '7F6', Nivel 12
Lingada 24 → Estiba '7D10', Nivel 9	Lingada 62 → Estiba '7E12', Nivel 11
Lingada 25 → Estiba '7C13', Nivel 4	Lingada 63 → Estiba '7F9', Nivel 9
Lingada 26 → Estiba '7D15', Nivel 3	Lingada 64 → Estiba '7D15', Nivel 4
Lingada 27 → Estiba '7E15', Nivel 2	Lingada 65 → Estiba '7E9', Nivel 3
Lingada 28 → Estiba '7C4', Nivel 15	Lingada 66 → Estiba '7B13', Nivel 8

Lingada 29 → Estiba '7B12', Nivel 5	Lingada 67 → Estiba '7C11', Nivel 4
Lingada 30 → Estiba '7C10', Nivel 1	Lingada 68 → Estiba '7B11', Nivel 5
Lingada 31 → Estiba '7F7', Nivel 15	Lingada 69 → Estiba '7E11', Nivel 3
Lingada 32 → Estiba '7D8', Nivel 7	Lingada 70 → Estiba '7F10', Nivel 5
Lingada 33 → Estiba '7F3', Nivel 12	Lingada 71 → Estiba '7D9', Nivel 2
Lingada 34 → Estiba '7C2', Nivel 2	Lingada 72 → Estiba '7C9', Nivel 5
Lingada 35 → Estiba '7G8', Nivel 6	Lingada 73 → Estiba '7E13', Nivel 14
Lingada 36 → Estiba '7D7', Nivel 12	Lingada 74 → Estiba '7A13', Nivel 7
Lingada 37 → Estiba '7D9', Nivel 1	Lingada 75 → Estiba '7C2', Nivel 4

## 1.5 Discusión

### 1.5.1 Análisis comparativo de resultados

**Corrida 1:** Evaluación dándole mayor importancia al agrupamiento de las lingadas y sobrecarga de las estibas

En esta corrida se nota la importancia de los agrupamientos debido a que, a diferencia de otros criterios, se prefirió agrupar y ordenar las lingadas a lo largo de todas las estibas, dando un promedio de lingadas por estibas menor a la mitad del límite de lingadas por estiba.

**Corrida 2:** Mismo caso que la Corrida 1 pero se selecciona con el método de la Ruleta

Se nota la bajada y aleatoriedad del nivel de fitness debido a que, en vez de competir, se está eligiendo aleatoriamente, mientras que esta corrida se podría utilizar como un método inicial de investigación de posibles configuraciones iniciales, en este caso no es de utilidad.

**Corrida 3:** Evaluación dándole mayor importancia a la cercanía y sobrecapacidad

Se distingue el énfasis de la cercanía en cuanto a la distribución de las lingadas, no tanto la sobrecapacidad, esto debido a que, cualquier gen que supere el límite es ampliamente inferior a cualquier otro que no lo supere, haya un énfasis o no.

**Corrida 4:** Evaluación dándole mayor importancia al agrupamiento y obstrucción

Como se desactivó el criterio de sobrecapacidad, se nota el agrupamiento por encima de este límite, promoviendo mayores cantidades de lingadas en estibas individuales, y permitiendo a otras tener 0 lingadas. En esta corrida se distingue la importancia del criterio de sobrecapacidad por el puntaje ínfimo de fitness en comparación a otras corridas.

**Corrida 5:** Evaluación en la que se le da importancia a Distancia de la estiba y la sobrecapacidad (valores más chicos a comparación del resto)

Esta corrida es similar a la corrida 1 en cuanto a que su distribución es relativamente equitativa, pero en esta se nota más la agrupación por distancia a diferencia del promedio bajo dado por el incentivo a la capacidad baja.

### 1.5.2 Preguntas

**¿El Sistema Inteligente propuesto resuelve satisfactoriamente el problema? ¿Por qué?**

El sistema inteligente logró resolver de manera satisfactoria el problema, ya que se lograron obtener las combinaciones que logran optimizar las ubicaciones de las lingadas de tubos de acero en estibas del almacén industrial y de forma precisa (incluyendo el nivel de cada estiba).

**¿Cómo se compara con otras arquitecturas?**

A diferencia de otras arquitecturas como las Redes Neuronales Artificiales, el algoritmo genético logra optimizar casos como el abordado en este trabajo, siendo la colocación de lingadas en las estibas correctas, un problema complejo, con una gran cantidad de combinaciones posible y con una considerable cantidad de criterios a tener en cuenta. En cambio, las RNAs son útiles para soluciones que requieran un manejo de un gran conjunto de datos históricos donde el problema presenta una mayor complejidad algorítmica; circunstancia que no se da en este problema.

**¿Qué se podría hacer para mejorar los resultados obtenidos? (suponiendo que si se tuviera más tiempo y recursos)**

Disponiendo de más tiempo y una mayor cantidad de recursos se hubiese podido iterar los algoritmos durante más tiempo, con una mayor cantidad de criterios a tener en cuenta, para lograr mejores resultados. Además de también tener la posibilidad de probar con diferentes conjuntos de parámetros y estrategias para alcanzar una mejor solución.

### 1.6 Conclusión

Para concluir, la implementación de un Algoritmo Genético para la optimización de ubicaciones de lingadas de tubos de acero en estibas de un almacén industrial obtuvo resultados favorables, permitiendo encontrar las mejores combinaciones de lingadas y estibas según los criterios establecidos.



Es importante mencionar que durante la implementación del Sistema Inteligente en cuestión, salvo el cambio del modelo de cromosoma por uno más apto para este tipo de problema y para el mejor uso del algoritmo genético, no hubo mayores dificultades..

Por otra parte, no hay que ignorar que la cantidad de combinaciones posibles entre estibas y lingadas es muy grande ( $68^{75}$  combinaciones) teniendo en cuenta el dataset usado para las corridas del algoritmo (68 estibas y 75 lingadas). Esto implica que con cada corrida las soluciones óptimas propuestas pueden variar debido a la explosion combinatoria que presenta la problemática.

A pesar de esto, la elección de utilizar un Algoritmo Genético resultó ser una decisión acertada para abordar un problema con esta complejidad, ya que encuentra dentro de un lapso de tiempo relativamente corto una buena solución sin tener que recorrer todas las combinaciones posibles. Haber encontrado una solución a una problemática tan compleja mediante Sistemas Inteligentes ha permitido valorar de gran manera las virtudes de estos tipos de sistemas a la hora de tomar decisiones y ahorrar tiempo y recursos.

## 1.7 Referencias

- Link al repositorio: [Martin-Fedorenko/algoritmo genético](#).
- Bibliotecas de python utilizadas: *deap numpy pandas openpyxl matplotlib*
- El algoritmo se ejecuta desde el archivo “*algoritmo.py*”.
- El archivo “*datos\_originales.xlsx*” contiene los datos de las lingadas y estibas utilizadas.
- Los archivos correspondientes a los resultados de las corridas se encuentran en el repositorio.