



Universidad de
Oviedo

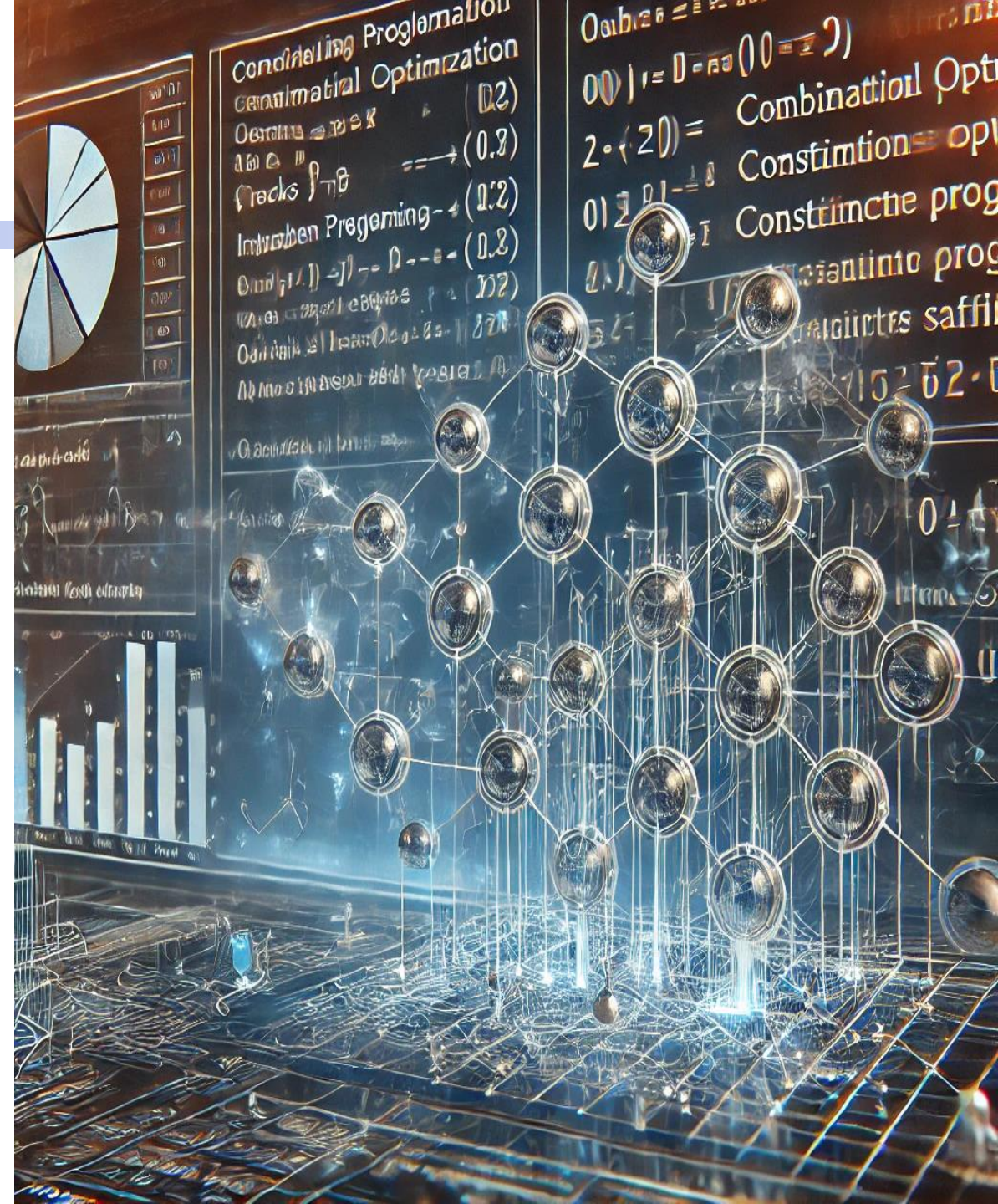


Técnicas de Inteligencia Artificial para la Optimización y Programación de Recursos

Tema 6: Aplicaciones de Scheduling en la vida real

Jorge Puente Peinador
{puente}@uniovi.es

Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Departamento de Informática



Objetivos



- Ruta de vuelo de drones en control de Incendios
 - El problema Estándar VRP y su resolución con Algoritmos Genéticos
 - Implementación del problema VRP en el Framework Opt4J
 - El problema de supervisión aérea con Drones y su resolución con GAs
 - Implementación del problema de Drones en el Framework Opt4J
 - Revisión y estudio de resultados del prototipo implementado
 - Demostración práctica



Introducción al VRP: Vehicle Routing Problem

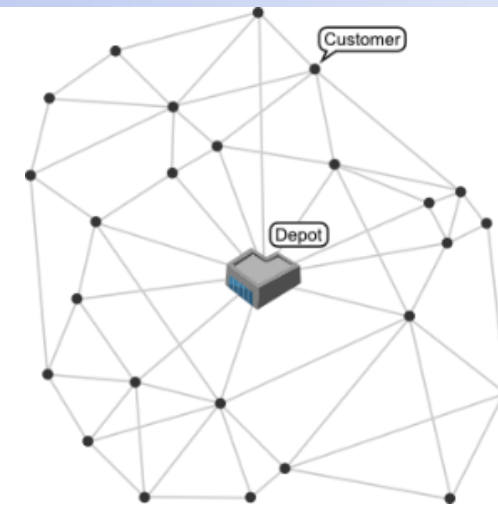


- Problema de Rutas de Vehículos (VRP)
 - Problema de optimización combinatoria.
 - Generalización del problema TSP (de 1 a n vehículos, m ciudades + 1 depósito)
 - **Solución:** Determinar las rutas óptimas para una flota de vehículos.
 - **Objetivo a optimizar:** minimizar el costo total de transporte.
- Propuesto por Dantzig y Ramser en 1959.
 - Importante en logística, distribución y transporte.

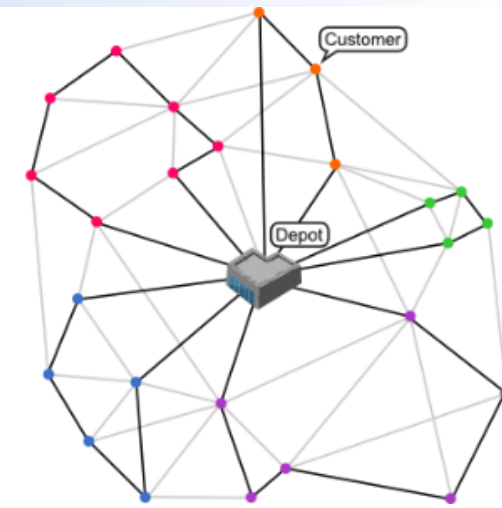
Descripción del VRP




- Descripción del VRP:
 - Determina rutas para **una flota** desde y hacia un **depósito**.
 - Toda ruta se inicia y finaliza en el depósito.
 - Debe cumplir criterios como tiempo de viaje, capacidad de vehículos y demandas de clientes.
- Objetivo: minimizar el costo total de las rutas, satisfaciendo todas las demandas de clientes.



Ejemplo de Instancia

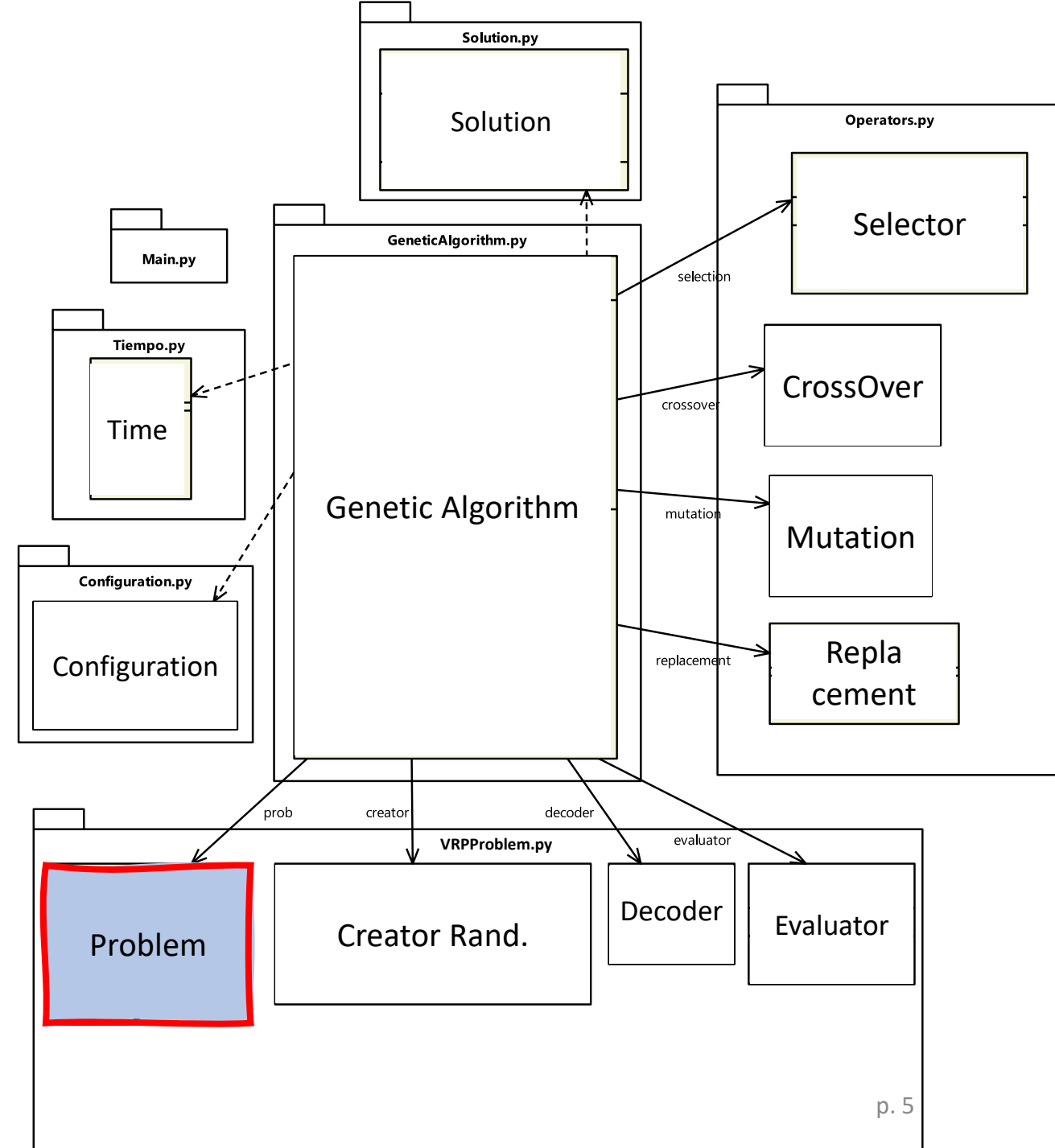
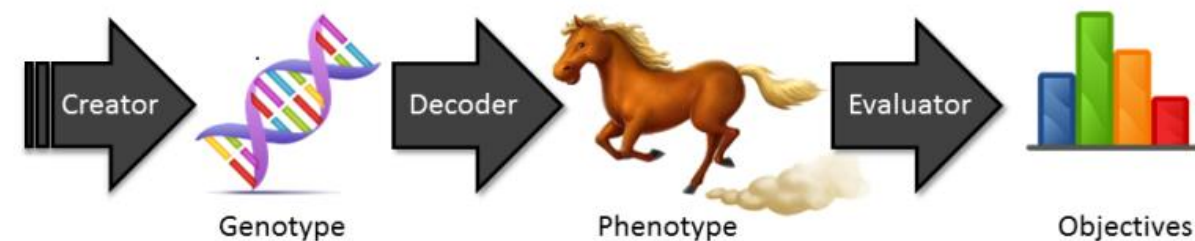


Ejemplo de Solución

- Datos del problema:
 - Flota de vehículos: ● ● ● ● ●
 - todos iguales.
 - Depósito: 
 - Nodo origen y final de todas las rutas.
 - Grafo:
 - Nodos: ciudades/clientes (customers)
 - Ejes: distancias entre ciudades/depósito.

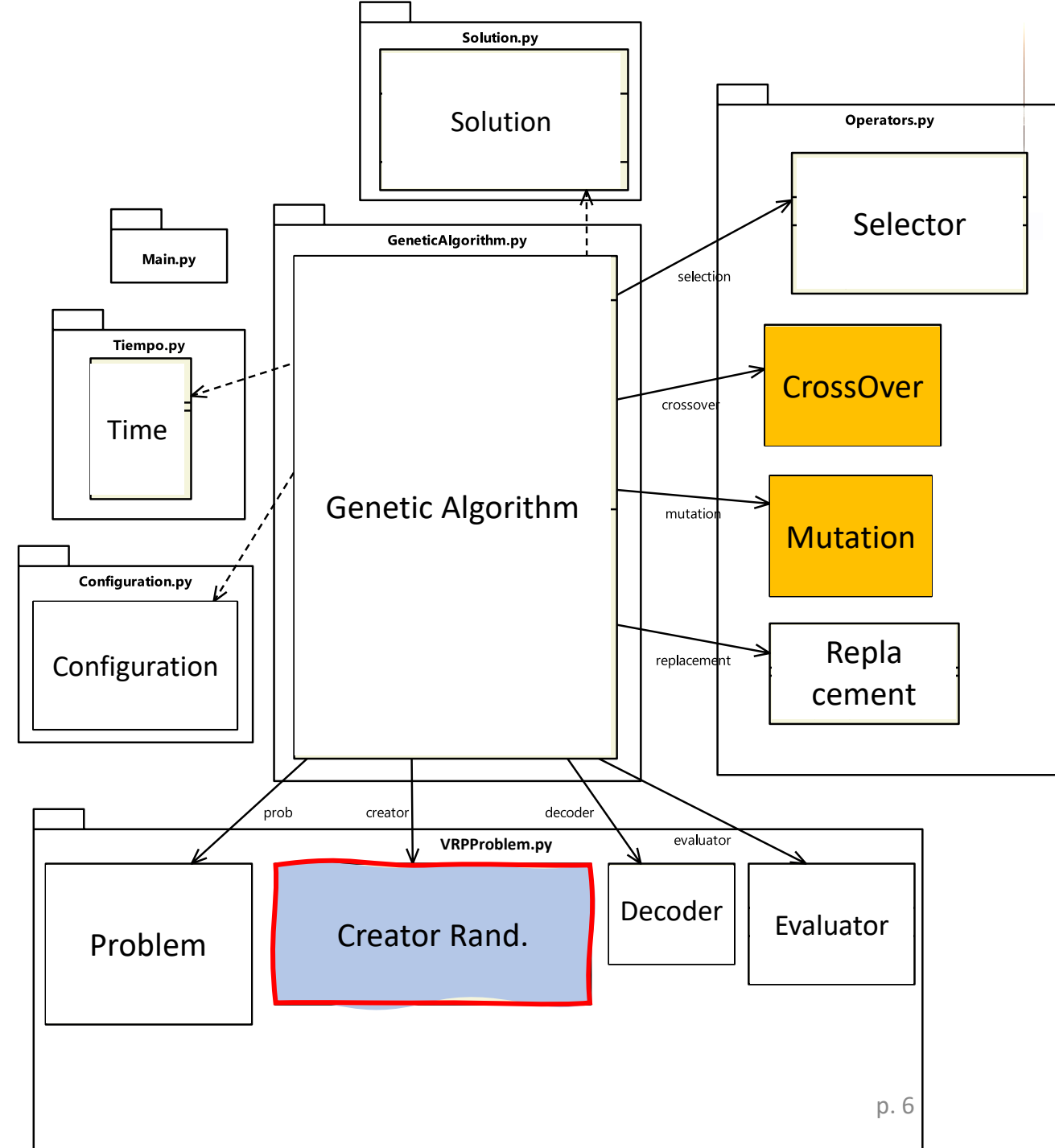
Definiendo VRP

- Operadores específicos de JSSP
 - **Problema**
 - Codificación Cromosomas
 - Generación
 - Cruce
 - Mutación
 - Decodificador & Evaluador



Definiendo VRP

- Operadores específicos de VRP
 - Problema
 - **Codificación Cromosomas**
 - **Generación**
 - **Cruce y Mutación**
 - Decodificador & Evaluador



VRP: Codificación de Soluciones



■ Genotipo:

- Secuencia de ciudades (n) y vehículos (m)
 - Ciudades de 1 a n
 - Vehículos de $n+1$ a $(n+m) - 1$
 - El último vehículo se omite

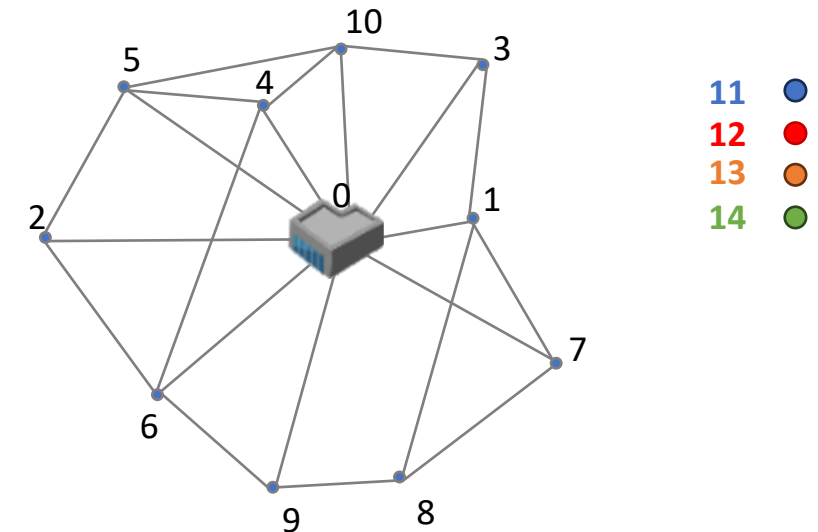
■ Codificación y Generación:

- Permutación aleatoria sin repeticiones

■ Operadores de cruce y mutación:

- Estándar para Permutaciones sin repetición (=TSP)

Ejemplo de Instancia: 10 ciudades y 4 vehículos



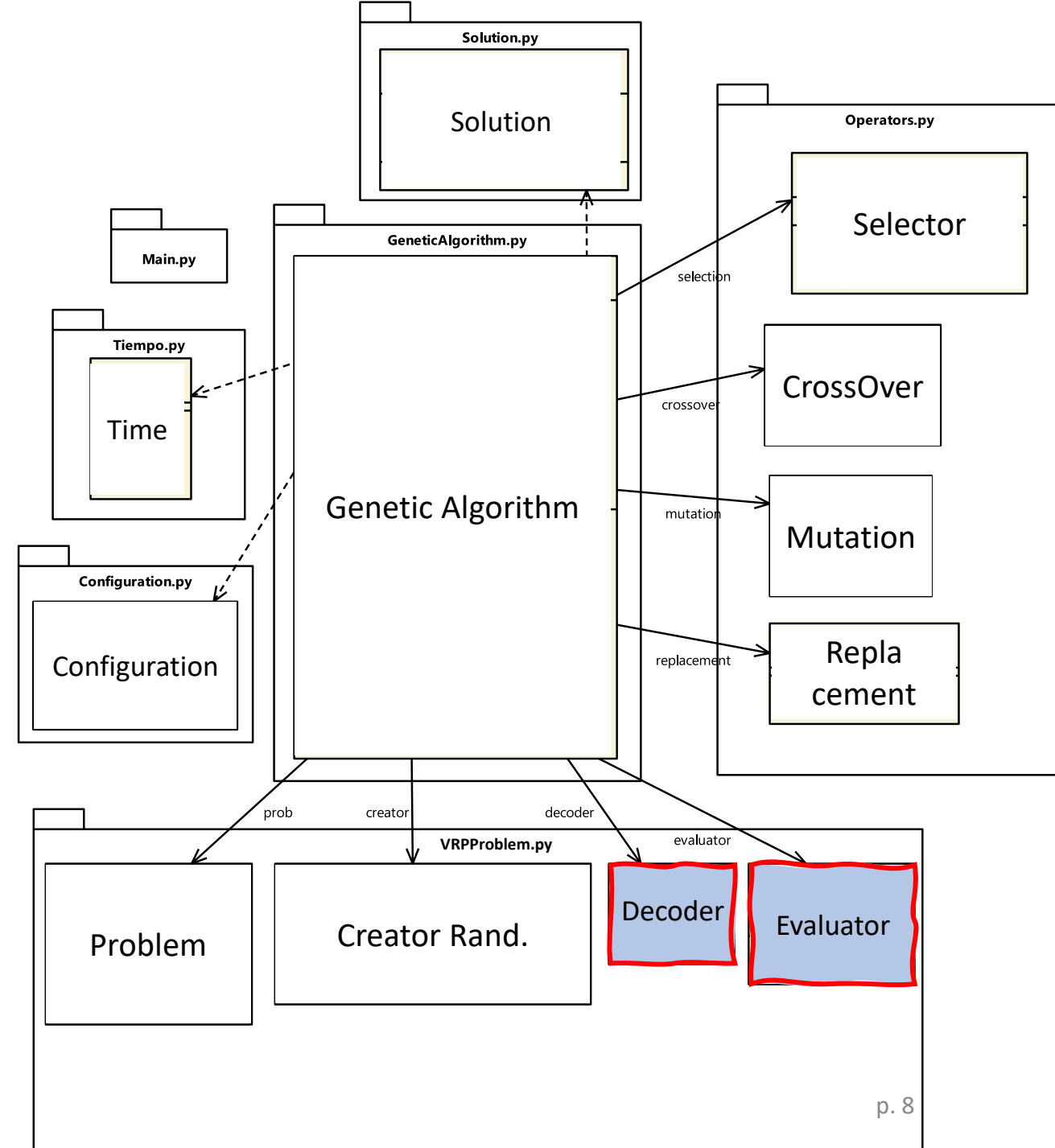
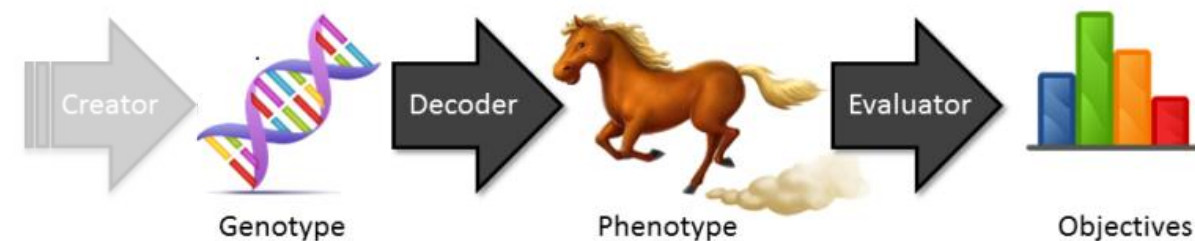
Ejemplo de solución/cromosoma/genotipo:

Permutación ciudades [1-10] y drones [11-14]

4 – 5 – 2 – 11 – 10 – 3 – 1 – 13 – 7 – 8 – 9 – 12 – 6 (– 14)

Definiendo VRP

- Operadores específicos de VRP
 - Problema
 - Codificación Cromosomas
 - Generación
 - Cruce y Mutación
 - **Decodificador & Evaluador**



VRP: Decodificación de Soluciones



■ Fenotipo:

- Rutas de cada uno de los vehículos
- Todas empiezan y finalizan en 0 (el depósito)

■ Decodificación:

- Se añade el último vehículo al final
- Cada subsecuencia de ciudades consecutivas se asigna al gen vehículo que aparezca justo a continuación.
- ¿Qué ocurre si hay dos genes vehículo consecutivos?
 - Cromosoma: (... - 13 - 14 - ...)
 - Ruta vehículo 14 : 0 - 0
 - El vehículo 14 no se utiliza

Cromosoma: 10 ciudades y 4 vehículos

4 - 5 - 2 - 11 - 10 - 3 - 1 - 13 - 7 - 8 - 9 - 12 - 6 (- 14)

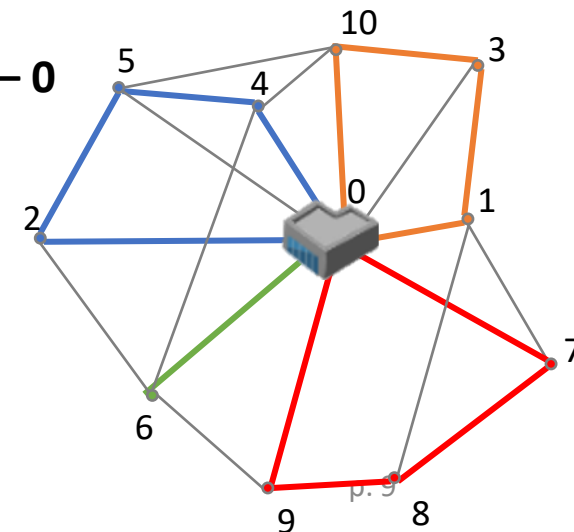
Rutas:

Vehículo 11: 0 - 4 - 5 - 2 - 0

Vehículo 12: 0 - 7 - 8 - 9 - 0

Vehículo 13: 0 - 10 - 3 - 1 - 0

Vehículo 14: 0 - 6 - 0



VRP: Evaluando Soluciones



■ Objetivos básicos a optimizar

■ Distancia de las rutas: (Minimizar)

- La distancia total
- **La ruta más larga**
- La desviación estándar de las rutas

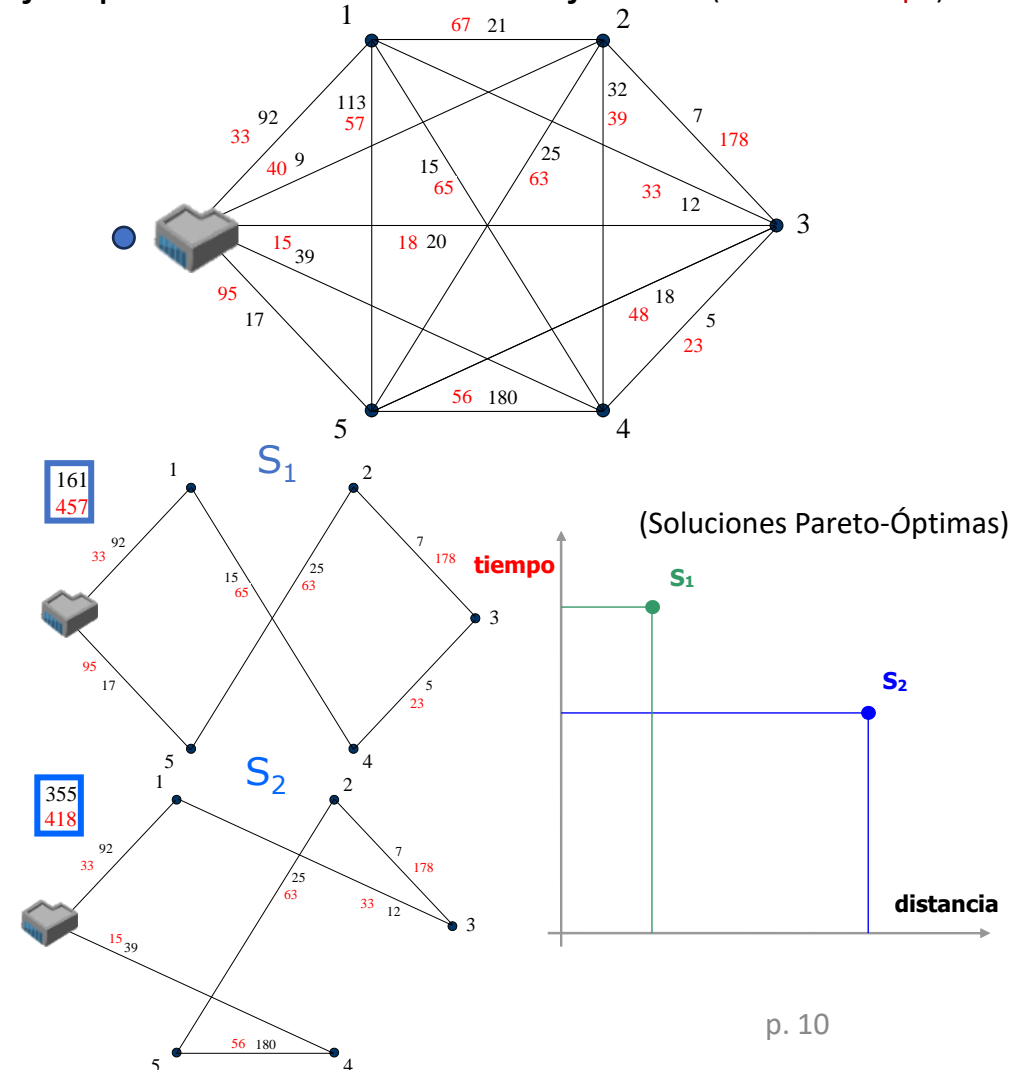
■ Tiempo de servicio: (Minimizar)

- El tiempo del último cliente visitado (Cmax)
- El tiempo total de servicio (Flujo Total)
- El retraso frente a las fechas de entrega (Tardiness)
- El máximo tiempo de retraso (Lateness)

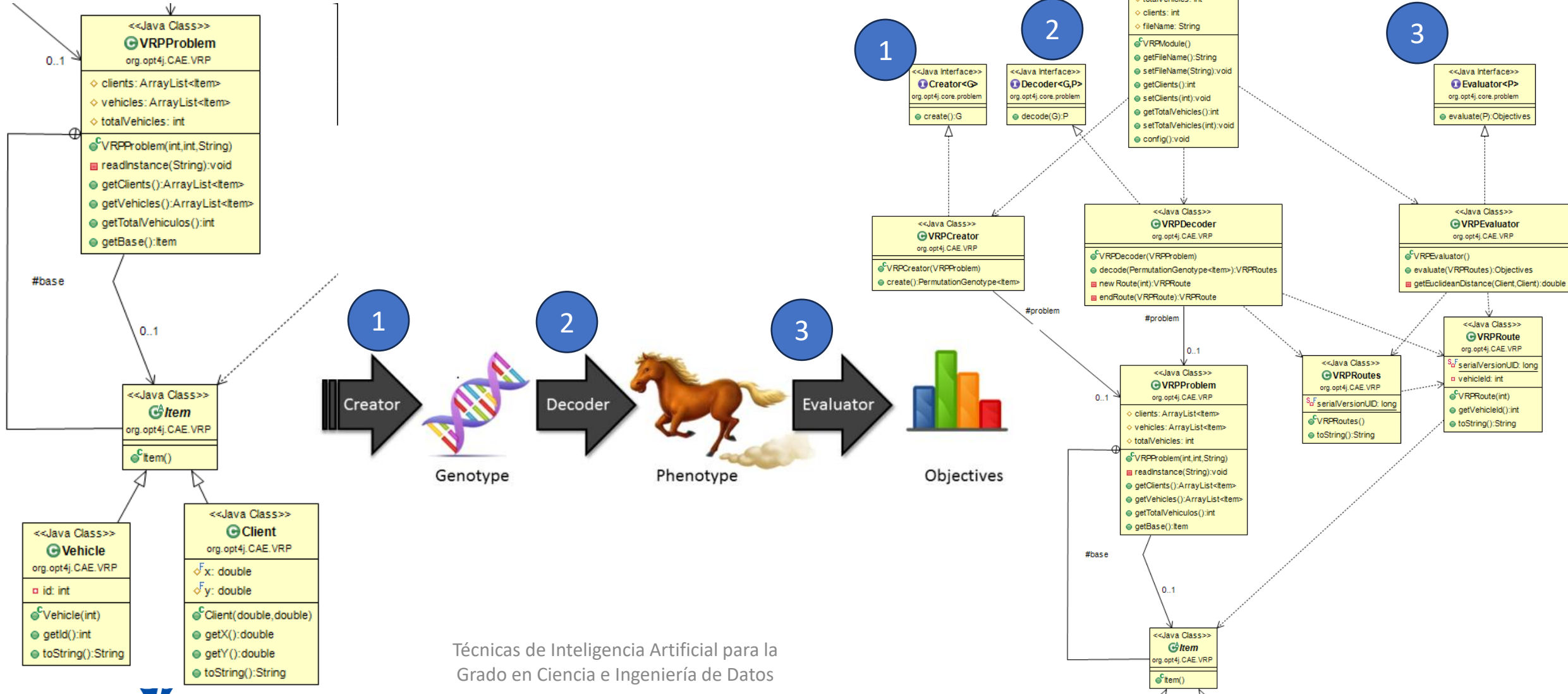
■ Dimensión de la flota: (Minimizar)

- **El número de vehículos necesarios**

Ejemplo de Instancia Multiobjetivo (distancia tiempo)



VRP en el Framework Opt4J



Definiendo Drones

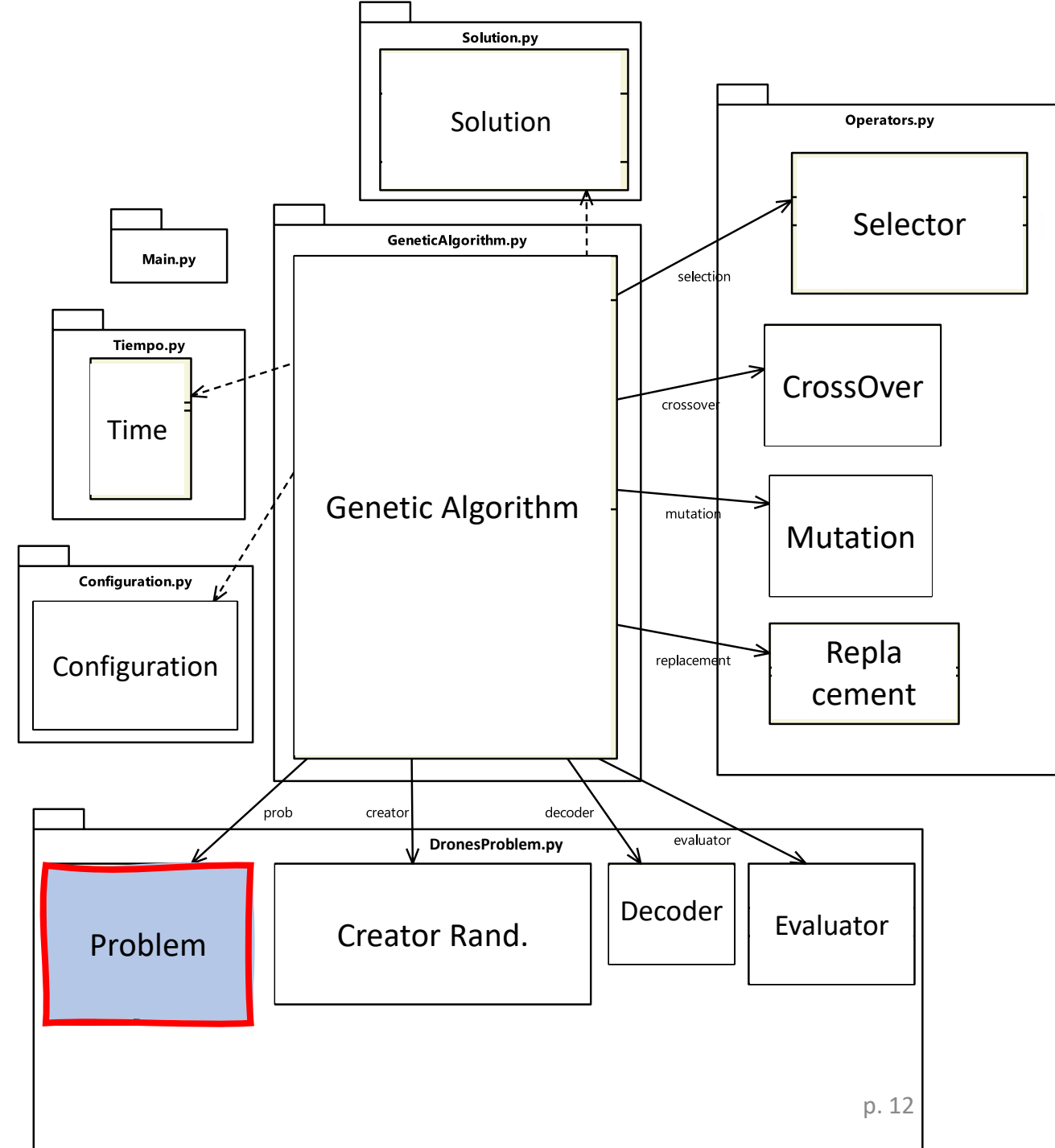
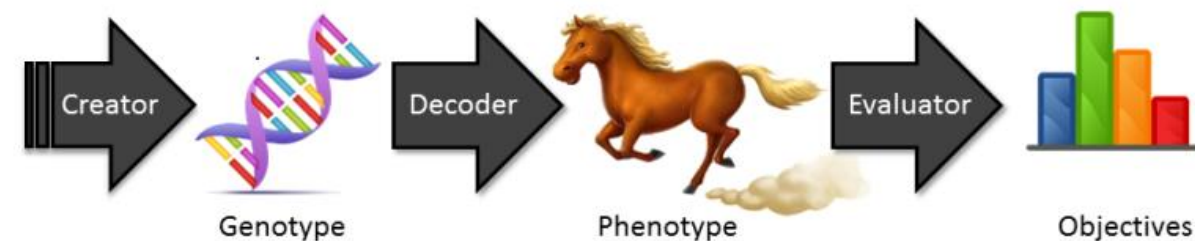
- Operadores específicos de Drones

- **Problema**

- Codificación Cromosomas

- Generación
 - Cruce
 - Mutación

- Decodificador & Evaluador

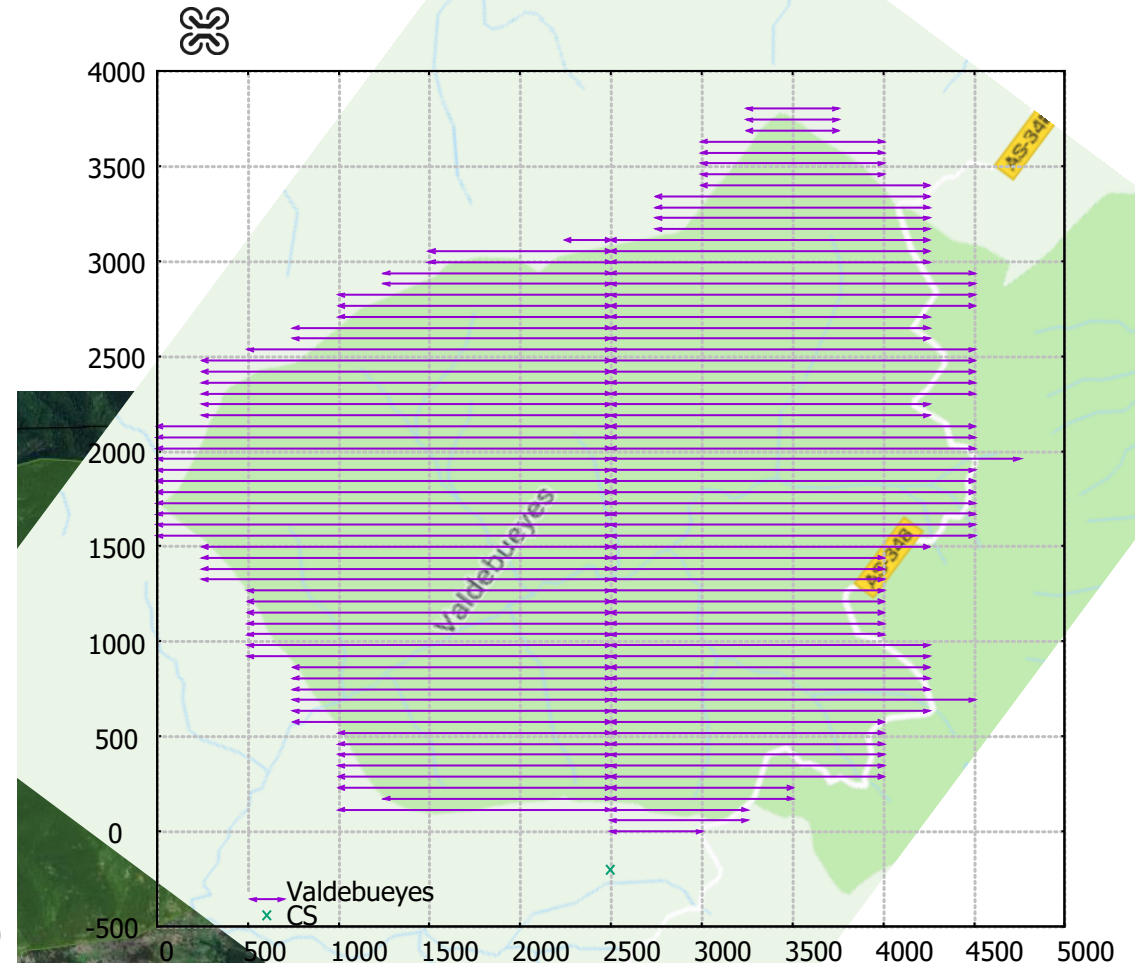
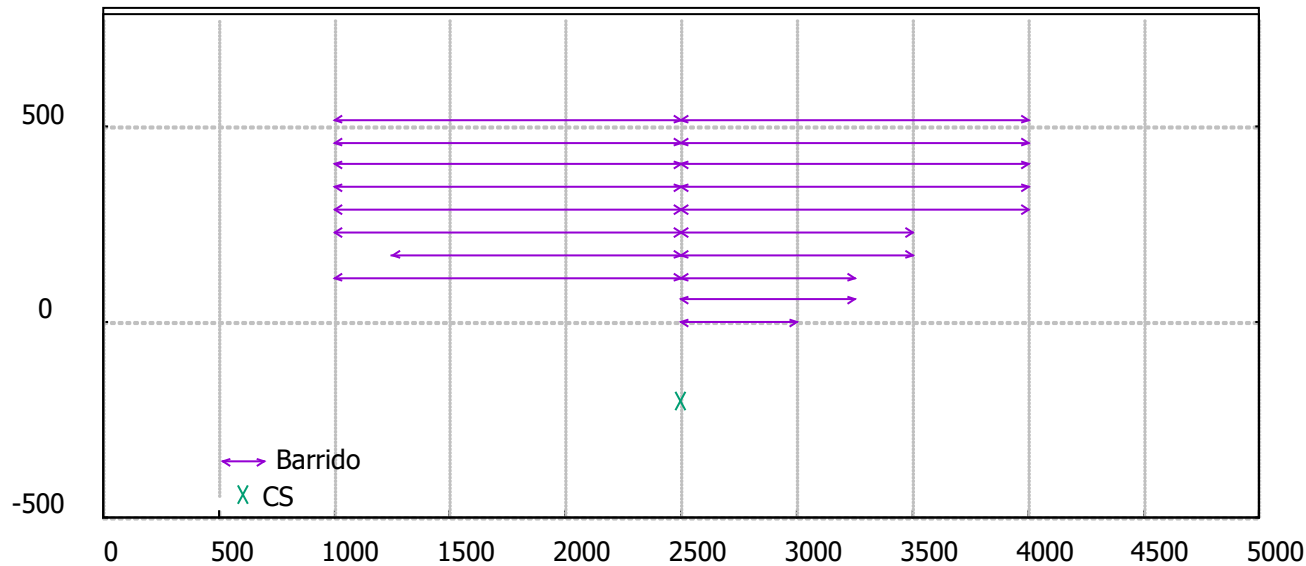


Similitudes entre VRP y Drones



■ Clientes a los que dar servicio:

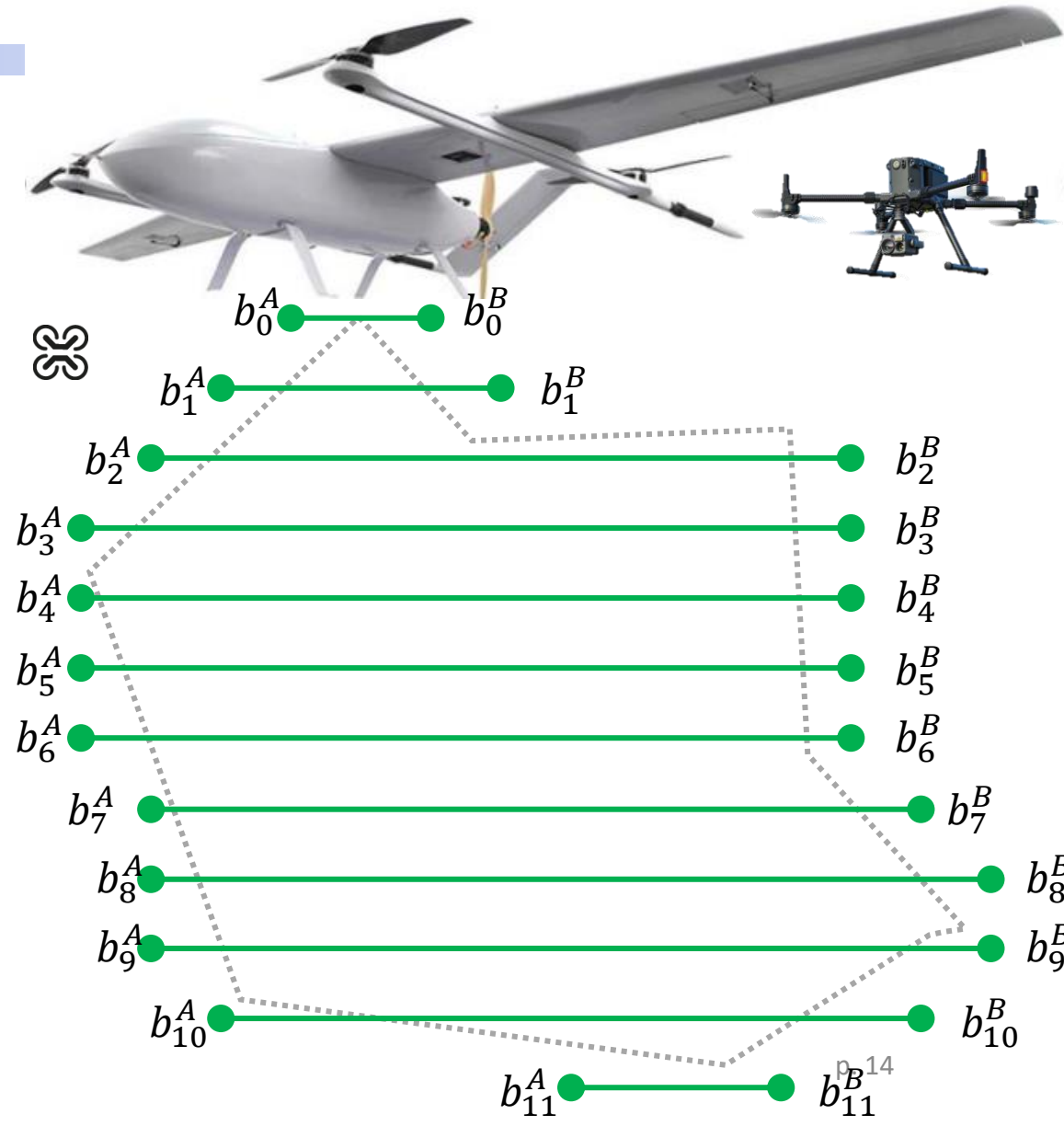
- VRP: Ciudades (x,y)
- Drones: Barrido $(x_1,y_1) \leftrightarrow (x_2,y_2)$



Similitudes entre VRP y Drones



- Clientes a los que dar servicio:
 - VRP: Ciudades (x, y)
 - Drones: Barrido $(x_1, y_1) \leftrightarrow (x_2, y_2)$
- Máquinas disponibles:
 - VRP: Flota de vehículos (todos iguales)
 - Drones: **Flota de drones** (todos iguales)
- Origen y destino final:
 - VRP: Depósito
 - Drones: Estación de Control de drones



Similitudes entre VRP y Drones



- Clientes a los que dar servicio:
 - VRP: Ciudades (x, y)
 - Drones: Barrido $(x_1, y_1) \leftrightarrow (x_2, y_2)$
- Máquinas disponibles:
 - VRP: Flota de vehículos (todos iguales)
 - Drones: Flota de drones (todos iguales)
- Origen y destino final:
 - VRP: Depósito
 - ⌘ ■ Drones: **Estación de Control** de drones



Similitudes entre VRP y Drones

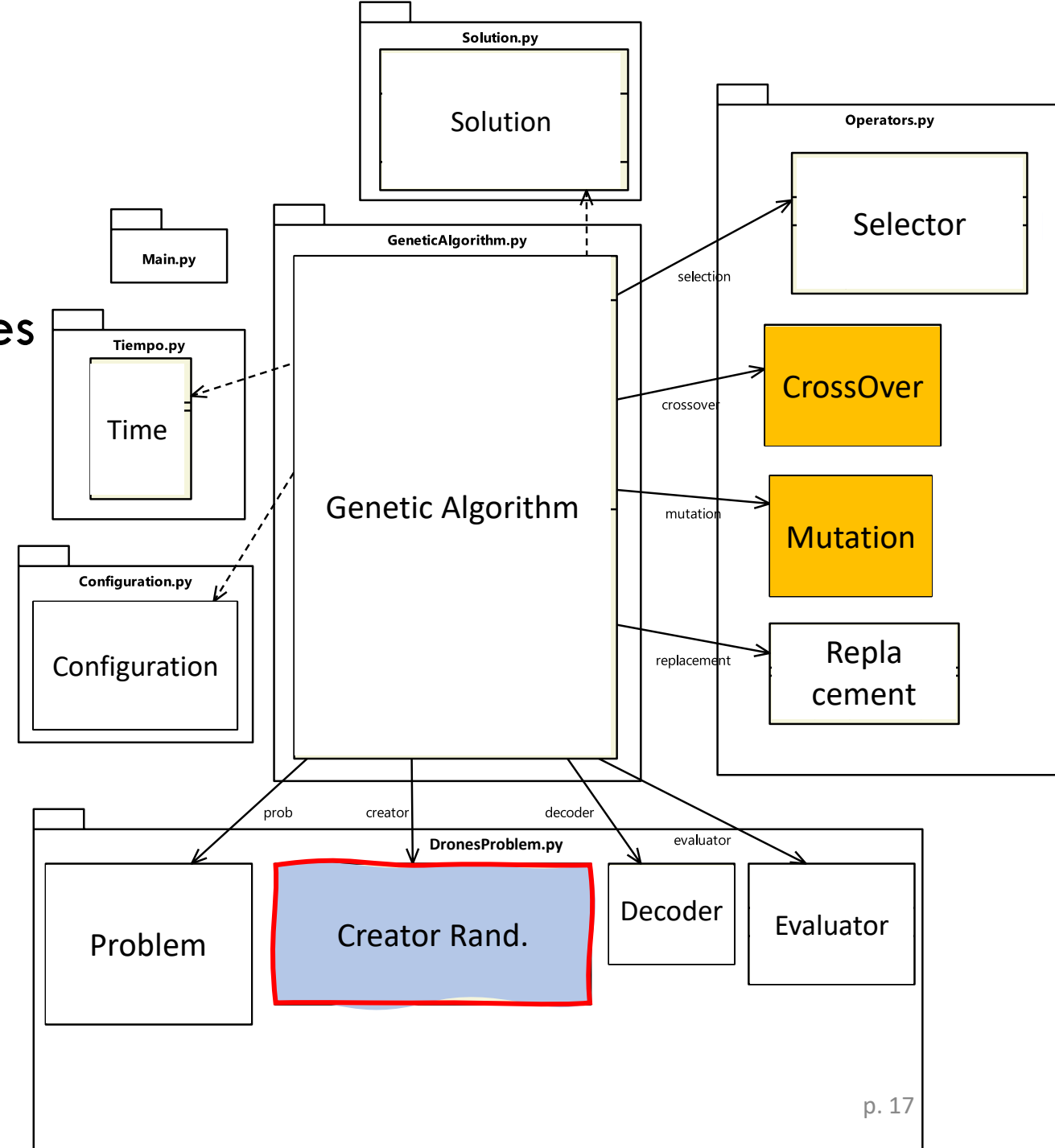


- Clientes a los que dar servicio:
 - VRP: Ciudades (x,y)
 - Drones: Barrido $(x_1,y_1) \leftrightarrow (x_2,y_2)$
- Máquinas disponibles:
 - VRP: Flota de vehículos (todos iguales)
 - Drones: Flota de drones (todos iguales)
- Origen y destino final:
 - VRP: Depósito
 - ✂ ■ Drones: **Estación de Control de drones**

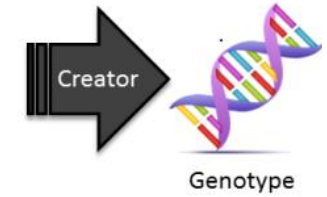


Definiendo Drones

- Operadores específicos de Drones
 - Problema
 - **Codificación Cromosomas**
 - **Generación**
 - **Cruce y Mutación**
 - Decodificador & Evaluador



Drones: Codificación de Soluciones

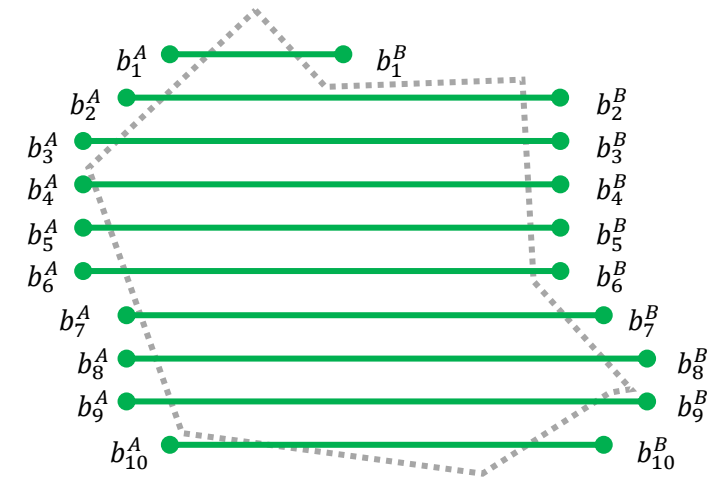


- **Genotipo:** permutación de barridos (n) y drones (m)

- Barridos de 1 a n
- Drones de $n+1$ a $n+(m-1)$
 - El último dron se omite



Ejemplo de Instancia: 10 barridos y 4 drones



- **Codificación:**

- Permutación aleatoria sin repeticiones

- **Operadores de cruce y mutación:**

- Estándar para Permutaciones sin repetición

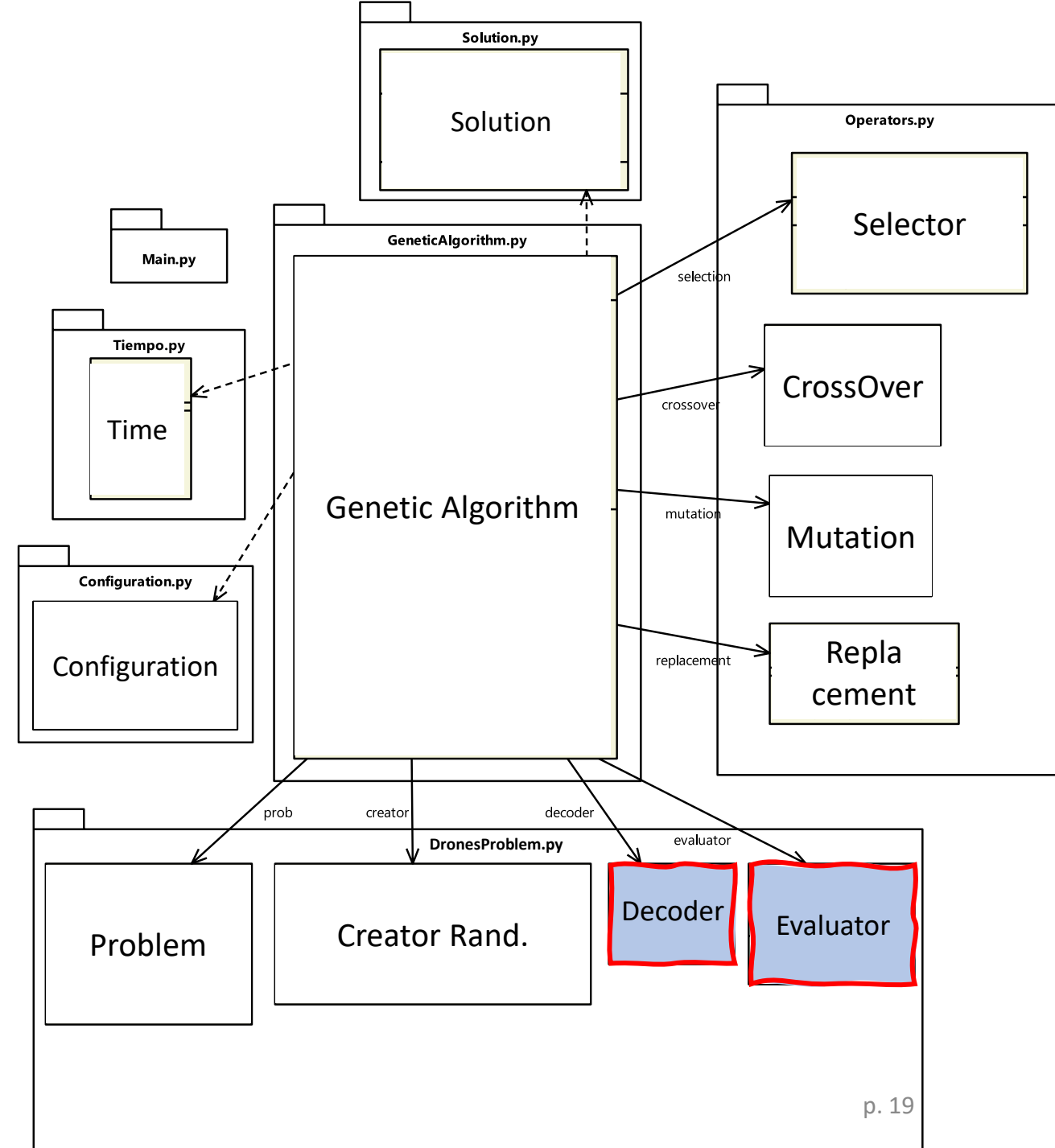
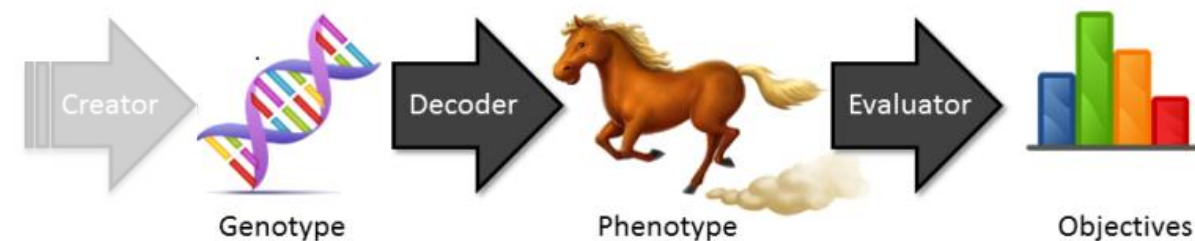
Ejemplo de solución/cromosoma/genotipo:

Permutación barridos [1-10] y drones [11-14]

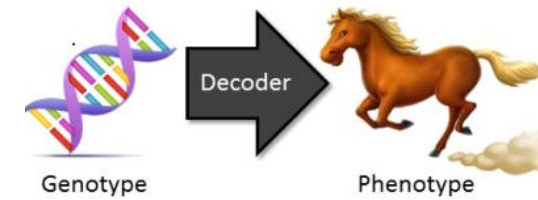
4 – 5 – 2 – 11 – 10 – 3 – 1 – 13 – 7 – 8 – 9 – 12 – 6 (– 14)

Definiendo Drones

- Operadores específicos de VRP
 - Problema
 - Codificación Cromosomas
 - Generación
 - Cruce y Mutación
 - **Decodificador & Evaluador**



Drones: Decodificación de Soluciones



■ Fenotipo:

- Rutas de cada uno de los Drones
- Todas empiezan y finalizan en la Estación de Control (CS)

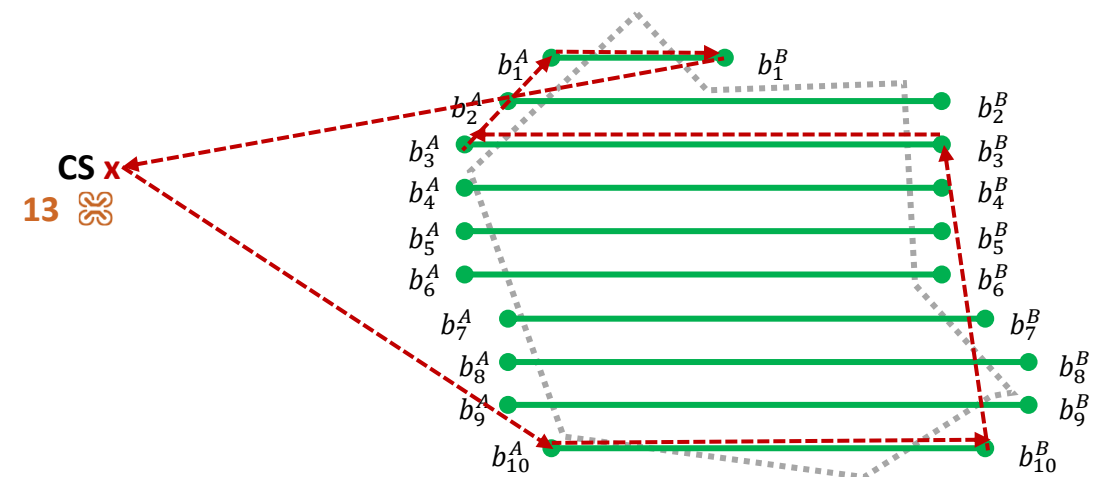
■ Decodificación:

- Se añade el último dron al final
- Cada subsecuencia de barridos consecutivos se asigna al gen dron que aparezca justo a continuación.
- Escogemos el orden de visita de cada barrido (Heurístico: extremo más cercano al punto actual del dron)

Cromosoma: 10 barridos y 4 drones

4 – 5 – 2 – 11 – 10 – 3 – 1 – 13 – 7 – 8 – 9 – 12 – 6 (– 14)

Rutas: Dron 11: CS – 4 – 5 – 2 – CS
 Dron 12: CS – 7 – 8 – 9 – CS
 Dron 13: CS – 10 – 3 – 1 – CS
 = CS – b_{10}^A – b_{10}^B – b_3^B – b_3^A – b_1^A – b_1^B – CS
 Dron 14: CS – 6 – CS



Drones: Evaluando Soluciones



■ Objetivos básicos a optimizar

■ Distancia de las rutas: (Minimizar)

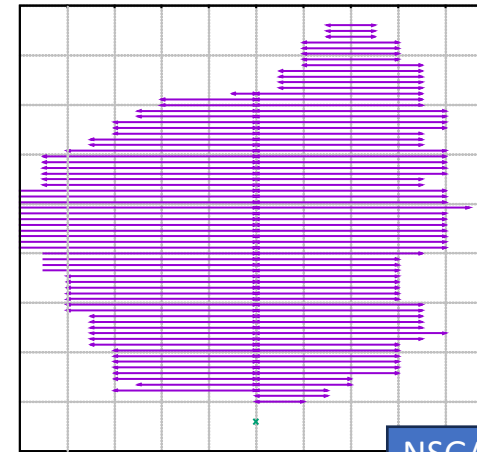
- La distancia total
- **La ruta más larga**
- La desviación estándar de las rutas
- **La distancia no-útil**

■ Tiempo de servicio: (Minimizar)

- El tiempo del último cliente visitado (Cmax)
- El tiempo total de servicio (Flujo Total)
- El retraso frente a las fechas de entrega (Tardiness)
- El máximo tiempo de retraso (Lateness)

■ Dimensión de la flota: (Minimizar)

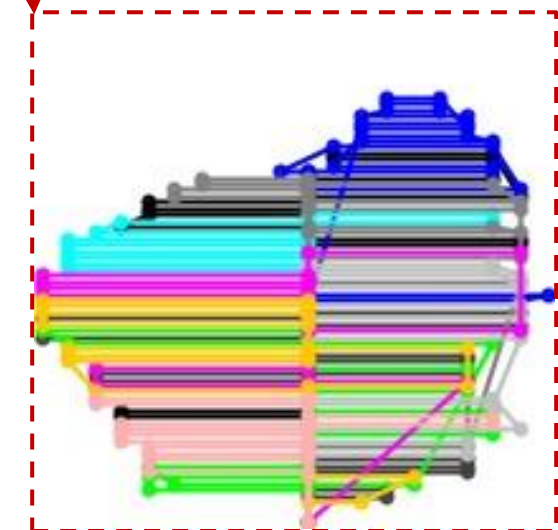
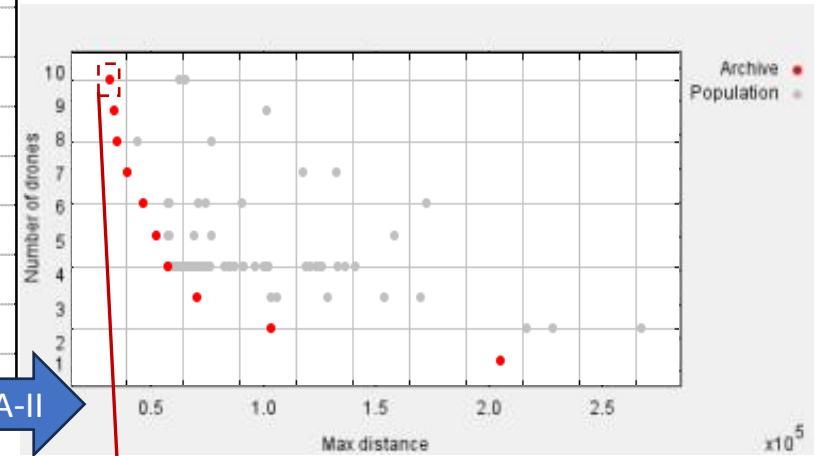
- **El número de vehículos necesarios**



(Instancia Valdehueyes)

NSGA-II

(Aproximaciones al Frente Pareto – ● Soluciones no dominadas)

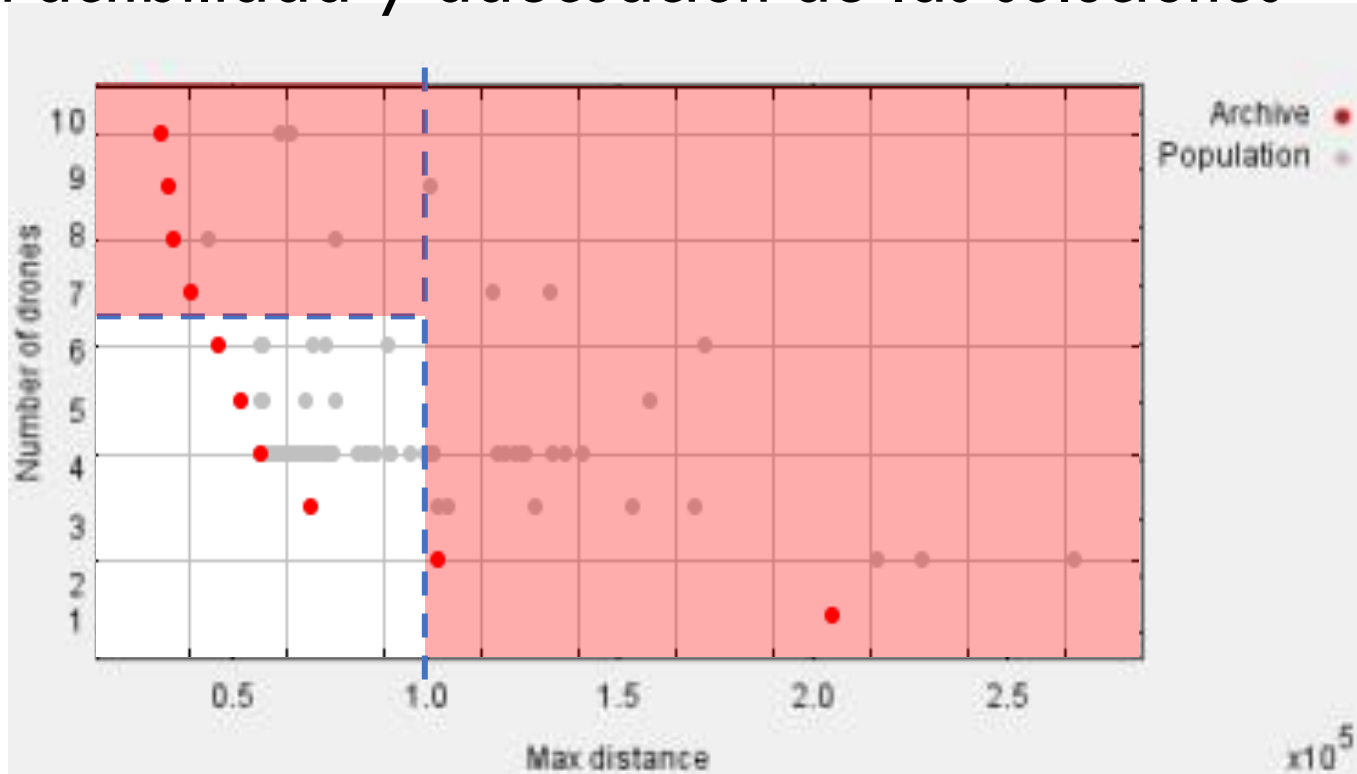


(Solución 10 drones)

Análisis del Frente Pareto



■ Factibilidad y adecuación de las soluciones



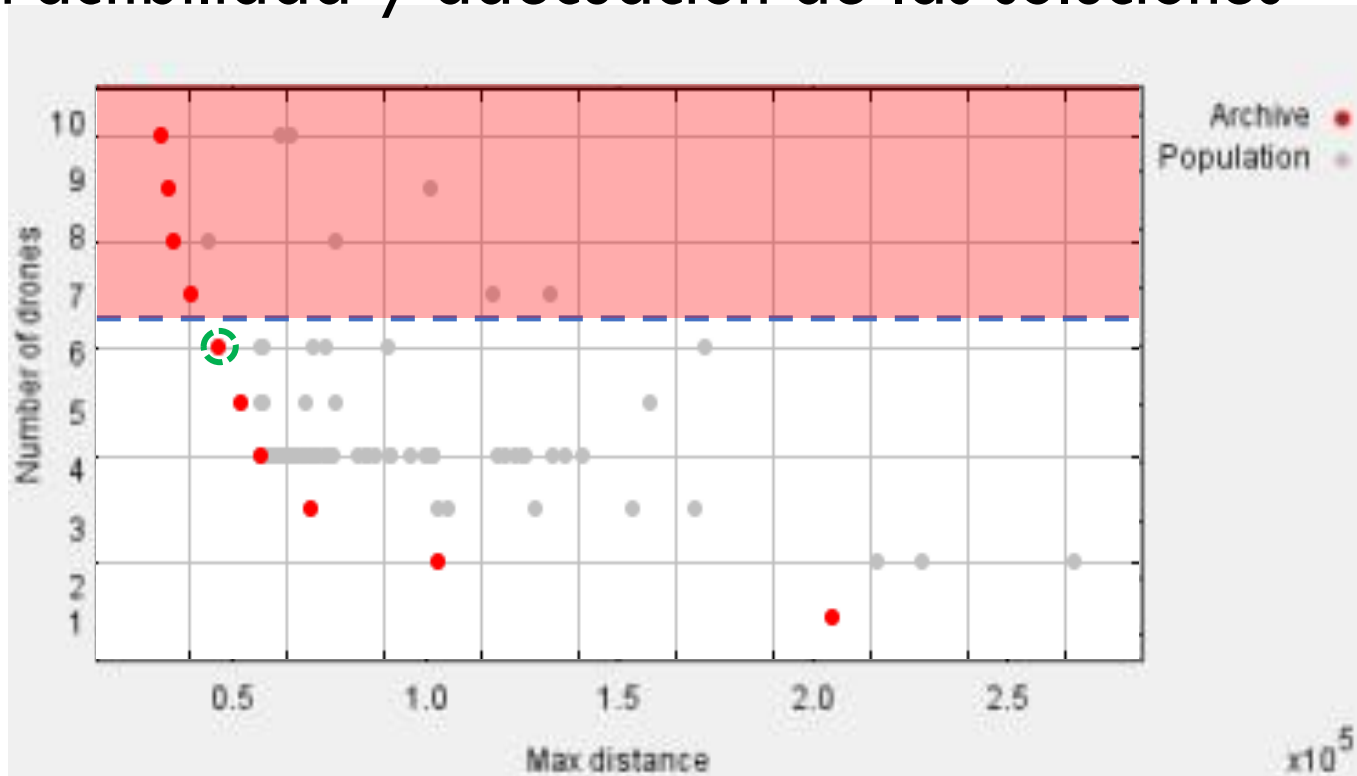
Restricciones:

- Autonomía máxima de los drones:
 $< 1.0 \times 10^5 \text{ m} = 100\text{km}$
- Presupuesto:
Núm. Drones < 7

Análisis del Frente Pareto



■ Factibilidad y adecuación de las soluciones



Restricciones:

1. Flota: Máx. Núm. Drones 6
2. Autonomía **mínima**:
 $\geq 0.48 \times 10^5 \text{ m} = 48 \text{ km}$