# Software para la optimización de redes de distribución de agua potable

## "JHawanet Framework"

Gabriel Sanhueza

Defensa de Título
Universidad de Talca

Agosto, 2020

# Contexto

- Escasez de agua
- Sistemas que deben estar las 24 horas del día activo
- Múltiples criterios para optimizar los sistemas de distribución
- Las redes de agua (RDA) involucran dos tipos de problemas:
  - Problema de diseño
  - Problema de operación

# Problema

- No se cuenta con las suficientes herramientas y tiempo para la correcta gestión de las redes de distribución de agua potable.
- El escoger las especificaciones es una tarea difícil debido a que hay que evaluar el rendimiento general del sistema.

# Propuesta de solución

Aplicación de escritorio extensible que permita optimizar procesos de diseño y operación en RDA.
Problemas implementados:

- Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías.
- Problema de operación basado en el Régimen de bombeo.

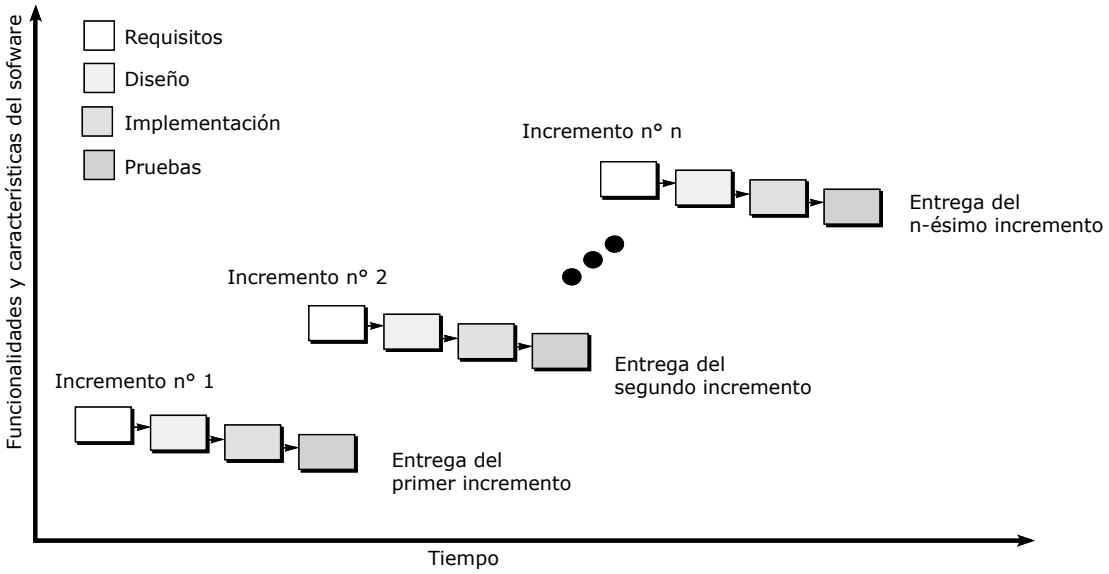
# Objetivos

- Objetivo general
  - Diseñar y desarrollar una aplicación extensible de escritorio para optimizar el diseño y operación de una red de distribución de agua.
- Objetivos específicos
  - Diseñar software orientado a la optimización de RDA basado en la arquitectura lógica del framework multiobjetivo Jmetal.
  - Implementar un algoritmo metaheurístico de optimización monoobjetivo para aplicar al problema de diseño de RDA.
  - Implementar un algoritmo metaheurístico de optimización multiobjetivo para aplicar al problema de Régimen de bombeo en RDA.
  - Diseñar e implementar la interfaz gráfica del sistema de optimización de redes de agua potable desarrollado durante este proyecto.

# Iterativa e incremental

Fases:

- Análisis
- Diseño
- Implementación
- Pruebas



# Iterativa e incremental

Adaptaciones realizadas a la metodología

- Disminuir la cantidad de documentación de cada fase
- Llevar a cabo más de una fase en una iteración al mismo tiempo
- Los roles de analista, diseñador, implementador y tester son llevado a cabo por una sola persona.

# Concepción del proyecto

- Propuesta por parte del profesor Daniel Mora
- Proyecto Optimization of real-world water distribution systems and hydraulic elements using computational fluid dynamics (cfd) and evolutionary algorithms
- Jmetal + EpanetToolkit

# Planificación

- **Iteración 1:** Requisitos y Arquitectura
- **Iteración 2:** Problema monoobjetivo y Algoritmo Genético (GA)
- **Iteración 3:** Interfaz gráfica (GUI)
- **Iteración 4:** Problema multiobjetivo y Algoritmo Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGAII)
- **Iteración 5:** Experimentos y simulación hidraúlica.
- **Iteración 6:** Afinación de detalles.

# Tecnología utilizada

# Requisitos

- Captura, priorización y especificación formal de los requisitos
- 32 Requisitos de usuario
- Documento de especificación formal de requisitos.

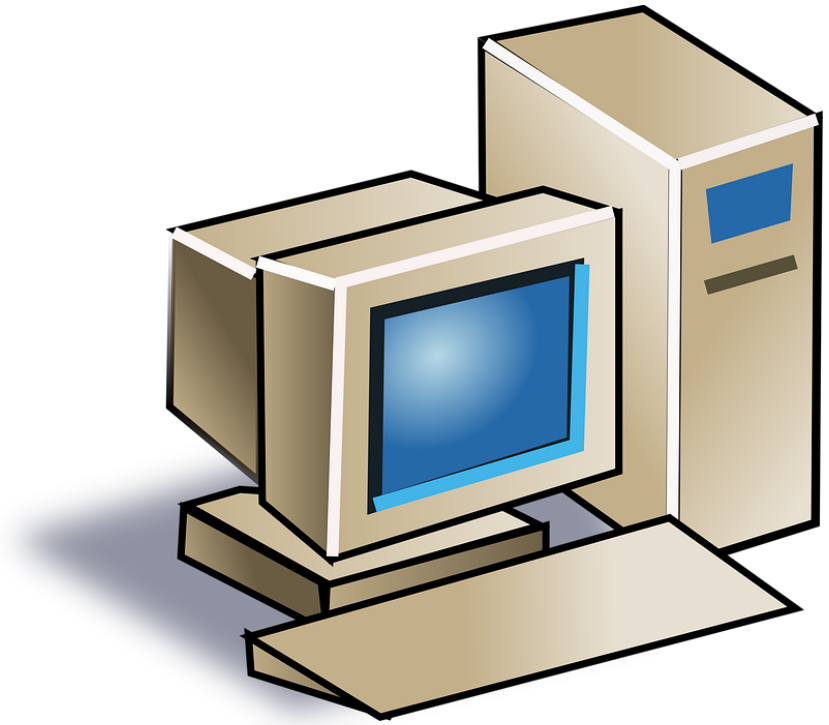
| RU004 – Visualizar red en una interfaz grafica. | |
|---|---|
| **Descripción:** | Se debe mostrar en la interfaz gráfica una representación de la red (Un dibujo, etc) generada a partir de la información contenida en el archivo inp. |
| **Fuente:** | Jimmy Gutiérrez |
| **Prioridad:** | Moderada |
| **Estabilidad:** | Intransable |
| **Fecha de actualización:** | 09/09/2019 |
| **Estado:** | Cumple |
| **Incremento:** | 3 |
| **Tipo:** | Funcional |

# Diseño

- Diseñar los módulos de la aplicación y la interacción entre ellos.
- Documento de diseño
  - Arquitectura Física
  - Arquitectura Lógica
  - Diagrama de clases
  - Diagrama de secuencia
  - Diseño de interfaces

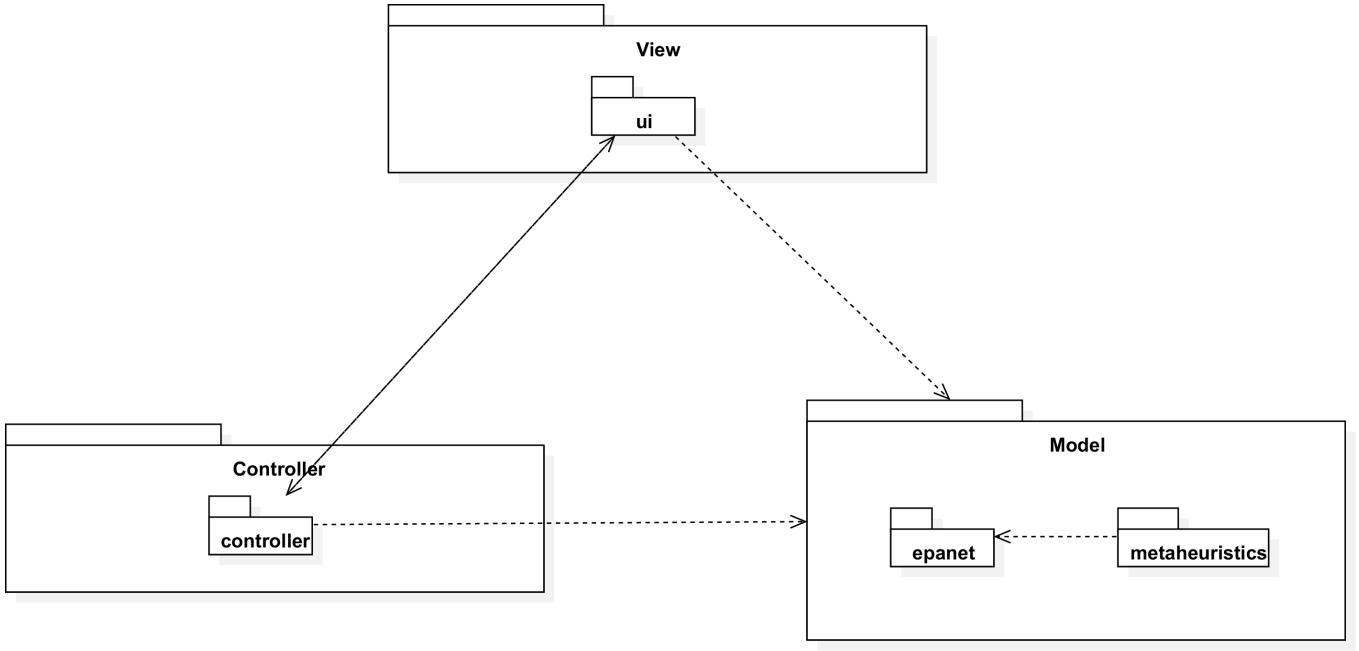
# Arquitectura Fisica

Monolítica



# Arquitectura Lógica

## Modelo-Vista-Controlador

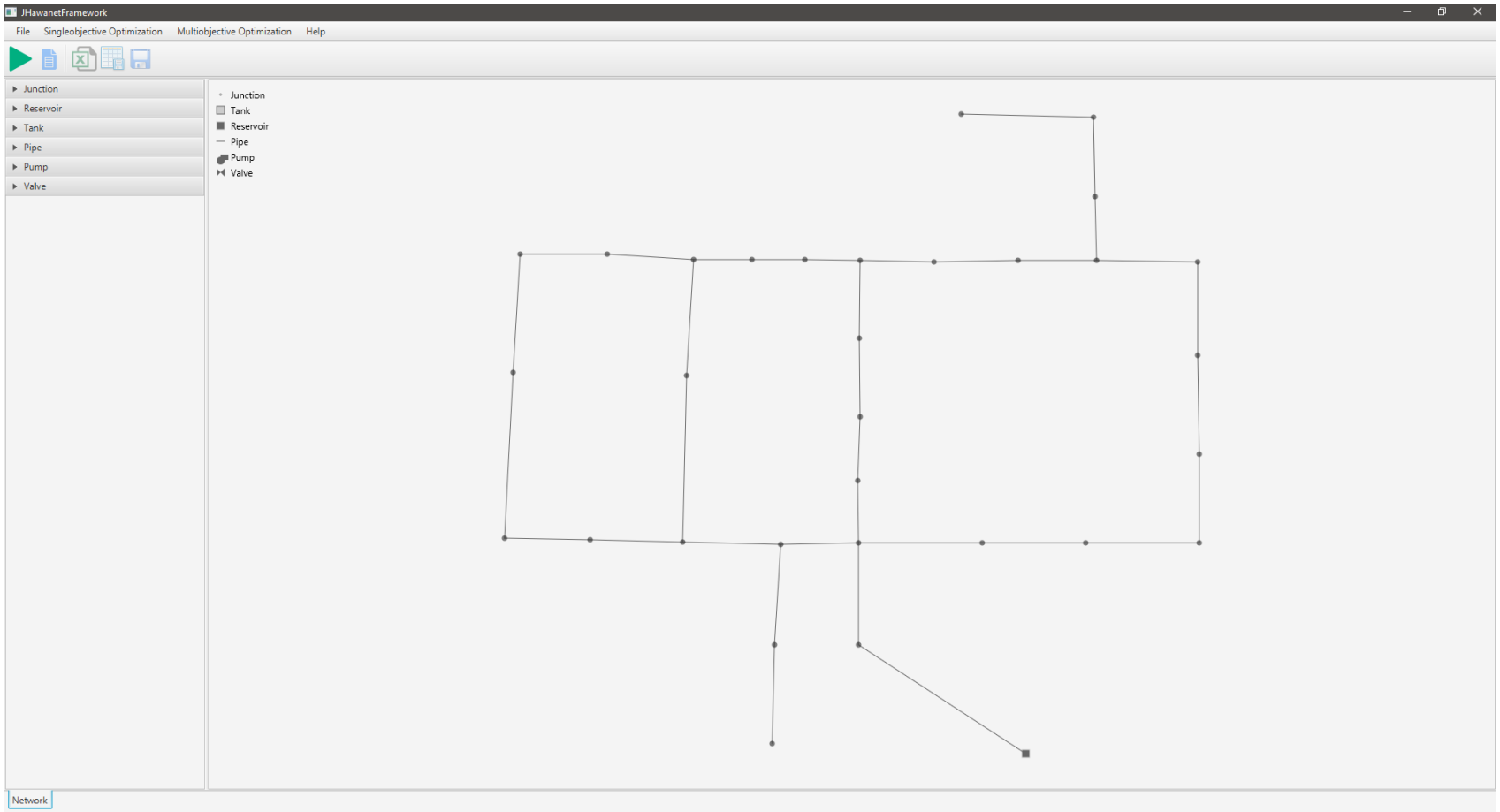


# Implementación

Codificación y generación del manual de usuario.

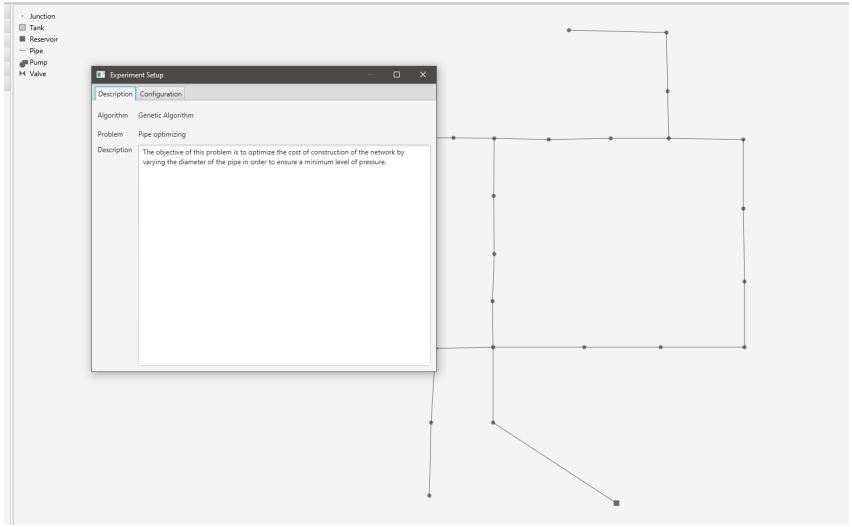
# Implementación

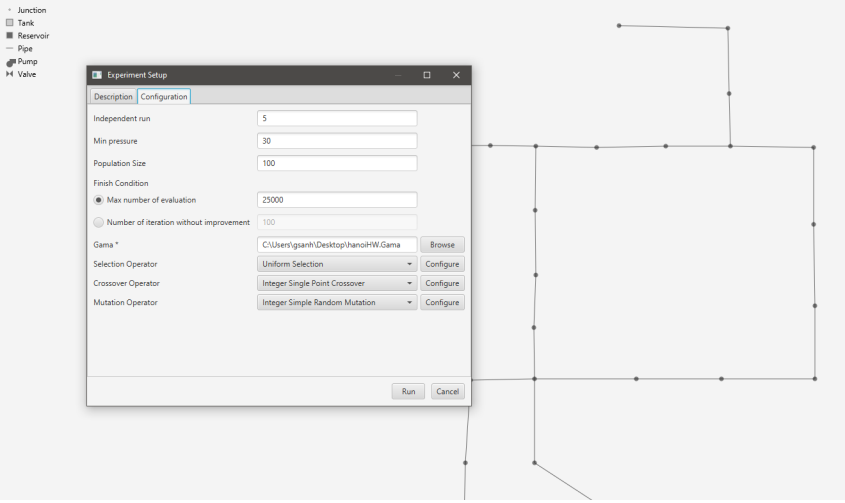
## Ventana Principal



# Implementación

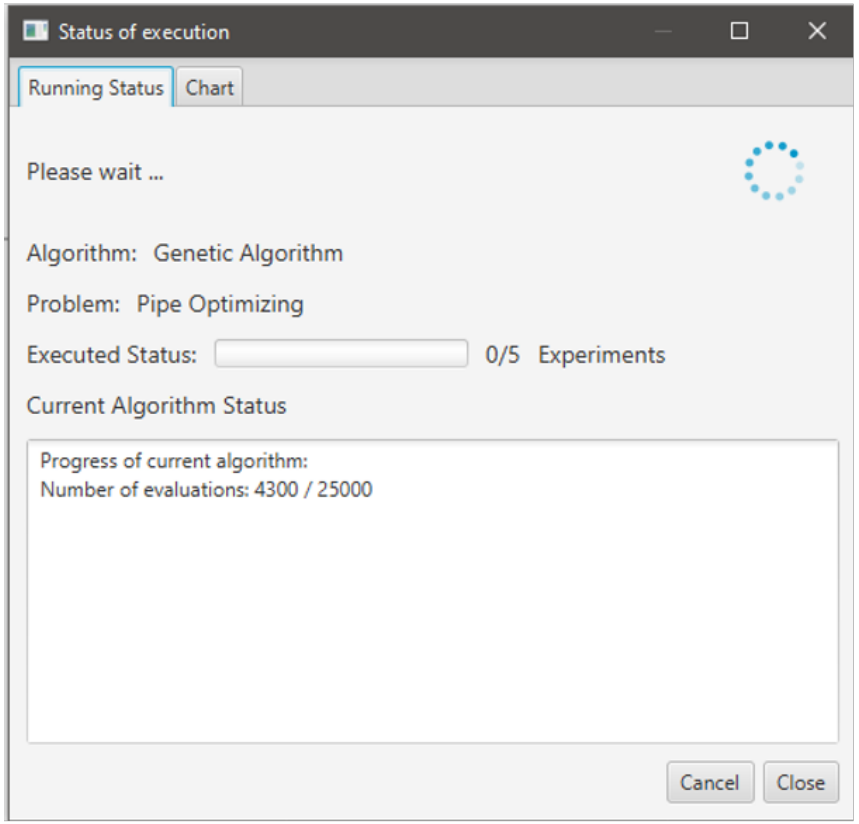
## Ventana de Configuración

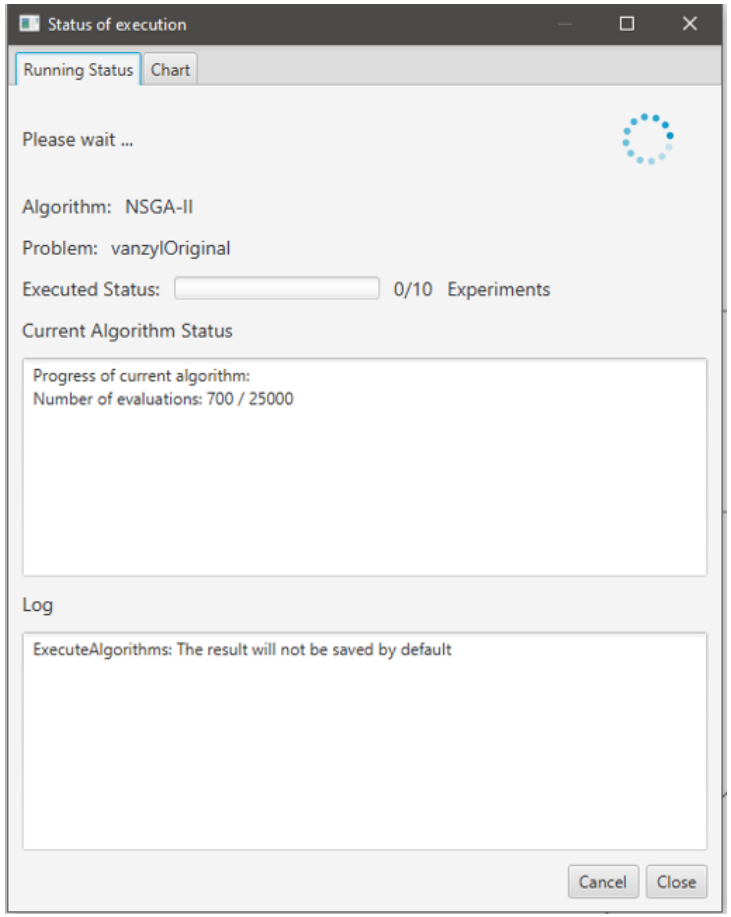


# Implementación

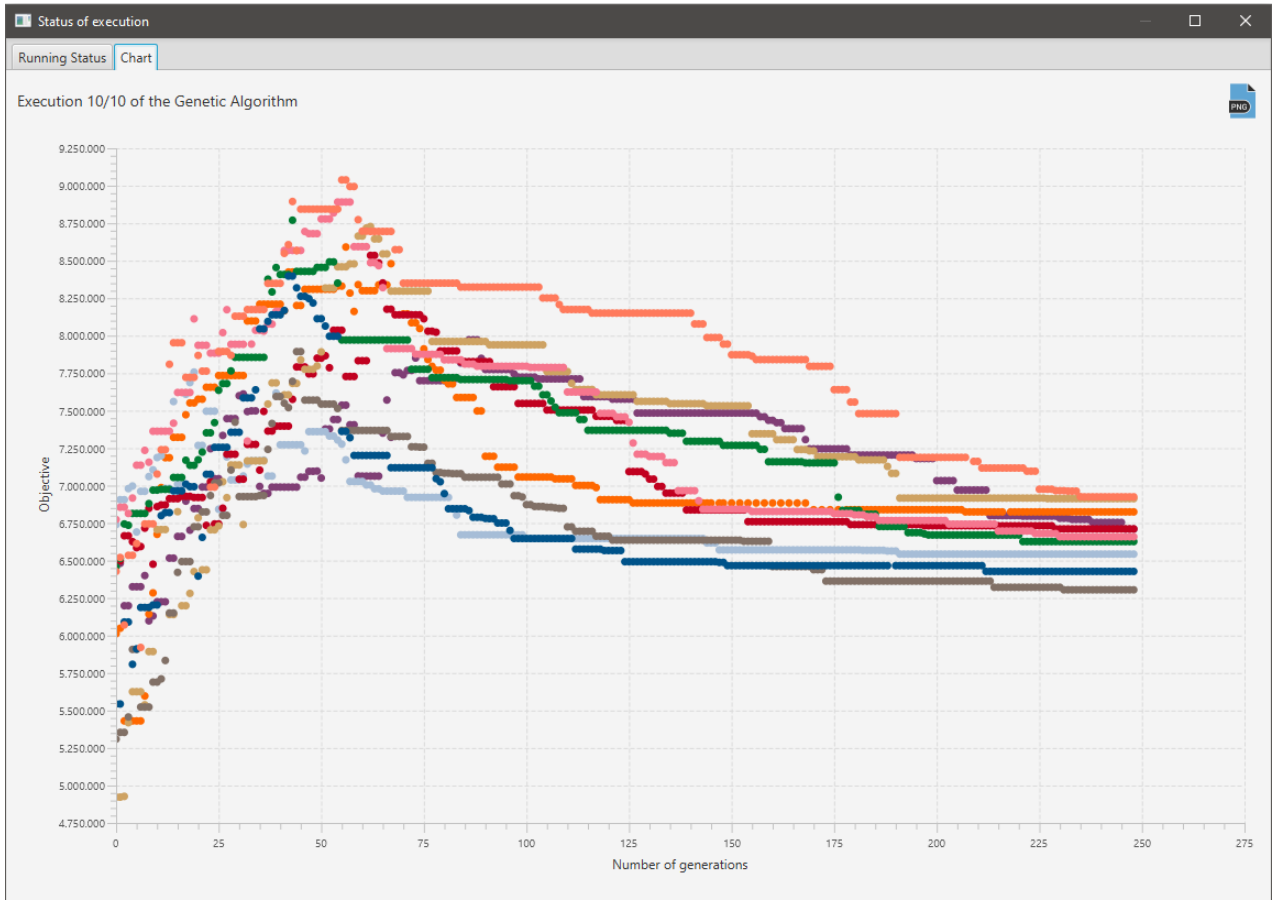
## Ventana de ejecución



# Implementación

## Gráfico de resultados



# Implementación

## Resultados Optimización

JHawanetFramework

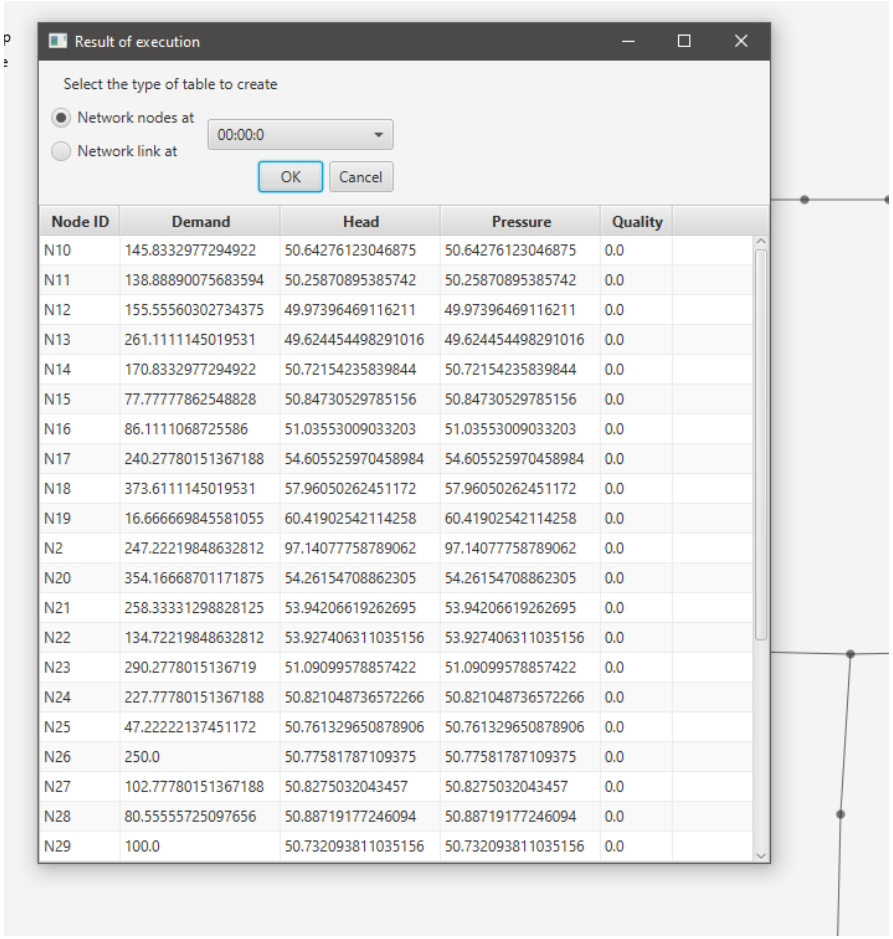
File Singleobjective Optimization Multiobjective Optimization Help

| Objective 1 | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X17 | X18 | X19 | X20 | X21 | X22 | X23 | X24 | X25 | X26 | X27 | X28 | X29 | X30 | X31 | X32 | X33 | X34 | Overall Constrain Violation | Number of Generation | Min Pressure | Population |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6928459.299171602 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 1 | 6 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 6 | 5 | 3 | 2 | 3 | 1 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 4 | 0.0 | 250 | 30 | 100 |
| 7078116.190952501 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 2 | 6 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 6 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 0.0 | 250 | 30 | 100 |
| 6788874.769704701 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 1 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 0.0 | 250 | 30 | 100 |
| 6637209.140444202 | 6 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 3 | 1 | 6 | 5 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 6 | 6 | 5 | 5 | 3 | 5 | 0.0 | 250 | 30 | 100 |
| 6429161.079557701 | 6 | 4 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 6 | 6 | 3 | 2 | 6 | 5 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 0.0 | 250 | 30 | 100 |

Network 0 - Pipe Optimizing-hanoi-Frankenstein origin-2020-06-23

# Implementación

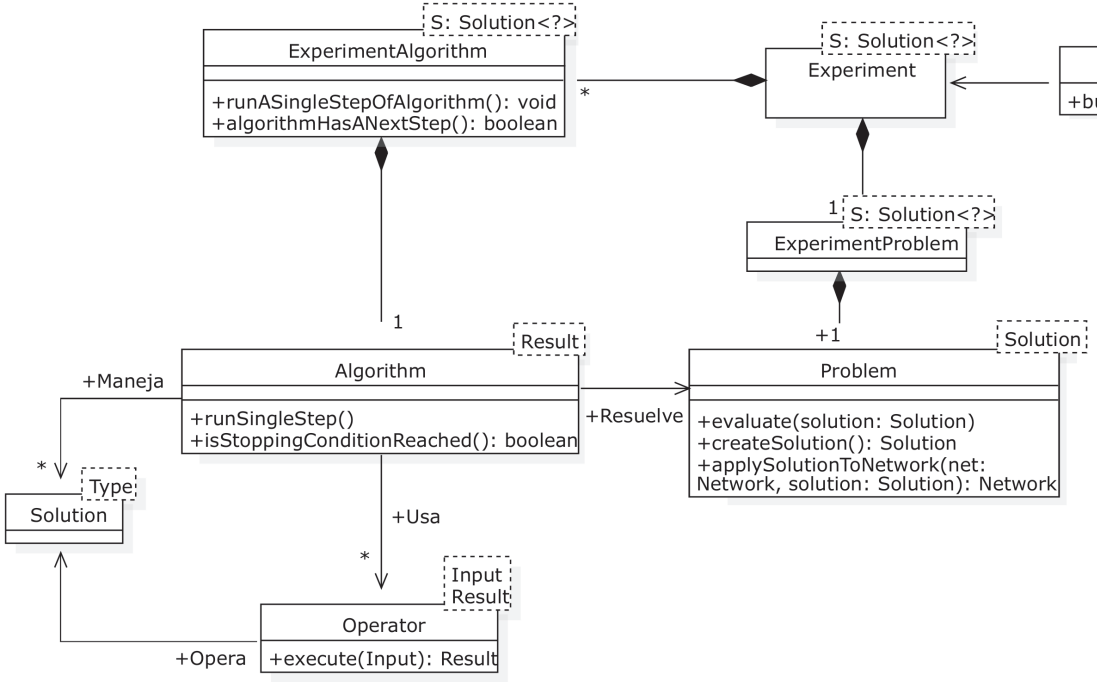
## Ventana de simulación hidráulica




| Node ID | Demand | Head | Pressure | Quality |
|---|---|---|---|---|
| N10 | 145.8332977294922 | 50.64276123046875 | 50.64276123046875 | 0.0 |
| N11 | 138.88890075683594 | 50.25870895385742 | 50.25870895385742 | 0.0 |
| N12 | 155.55560302734375 | 49.97396469116211 | 49.97396469116211 | 0.0 |
| N13 | 261.1111145019531 | 49.624454498291016 | 49.624454498291016 | 0.0 |
| N14 | 170.8332977294922 | 50.72154235839844 | 50.72154235839844 | 0.0 |
| N15 | 77.77777862548828 | 50.84730529785156 | 50.84730529785156 | 0.0 |
| N16 | 86.1111068725586 | 51.03553009033203 | 51.03553009033203 | 0.0 |
| N17 | 240.27780151367188 | 54.605525970458984 | 54.605525970458984 | 0.0 |
| N18 | 373.6111145019531 | 57.96050262451172 | 57.96050262451172 | 0.0 |
| N19 | 16.666669845581055 | 60.41902542114258 | 60.41902542114258 | 0.0 |
| N2 | 247.22219848632812 | 97.14077758789062 | 97.14077758789062 | 0.0 |
| N20 | 354.16668701171875 | 54.26154708862305 | 54.26154708862305 | 0.0 |
| N21 | 258.33331298828125 | 53.94206619262695 | 53.94206619262695 | 0.0 |
| N22 | 134.72219848632812 | 53.927406311035156 | 53.927406311035156 | 0.0 |
| N23 | 290.2778015136719 | 51.09099578857422 | 51.09099578857422 | 0.0 |
| N24 | 227.77780151367188 | 50.821048736572266 | 50.821048736572266 | 0.0 |
| N25 | 47.22222137451172 | 50.761329650878906 | 50.761329650878906 | 0.0 |
| N26 | 250.0 | 50.77581787109375 | 50.77581787109375 | 0.0 |
| N27 | 102.77780151367188 | 50.8275032043457 | 50.8275032043457 | 0.0 |
| N28 | 80.55555725097656 | 50.88719177246094 | 50.88719177246094 | 0.0 |
| N29 | 100.0 | 50.732093811035156 | 50.732093811035156 | 0.0 |

# Implementación

## *Java Reflection* y *Java Annotation*



# Implementación

- Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías

## Objetivo

$$\text{Costo de inversión} = \sum_{i=1}^{N} (C_i \times D_i \times L_i)$$

# Implementación

Problema de operación basado en el Régimen de bombeo

## Objetivo 1

$$C_E(S) = \sum_{n=1}^{NP} \sum_{t=0}^{NT-1} (P_c(t) \times E_c(n,t) \times S(n,t))$$

## Consumo energético

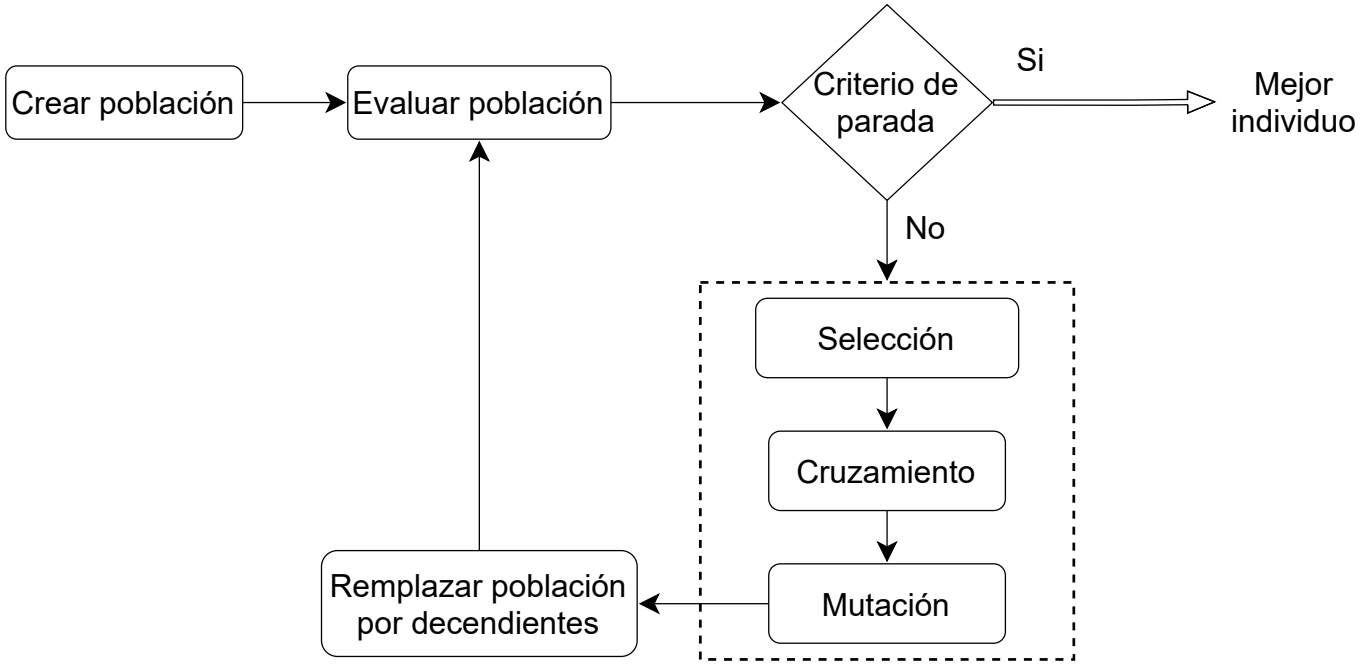
$$E_c(n,t) = \frac{10^{-3} \times \gamma \times Q(n,t) \times h(n,t)}{e(n,t)}$$

## Objetivo 2

$$C_N(S) = \sum_{n=1}^{NP} \sum_{t=0}^{NT-1} r_t$$

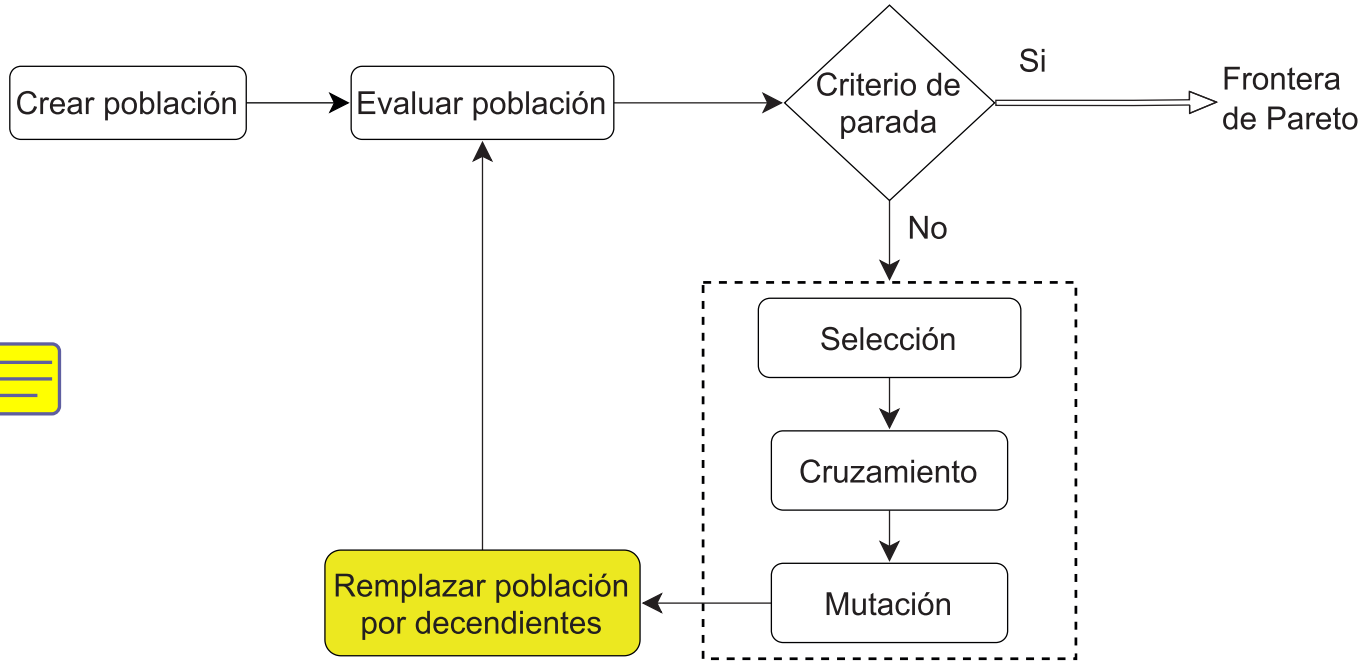
# Implementación

## Algoritmo Genético



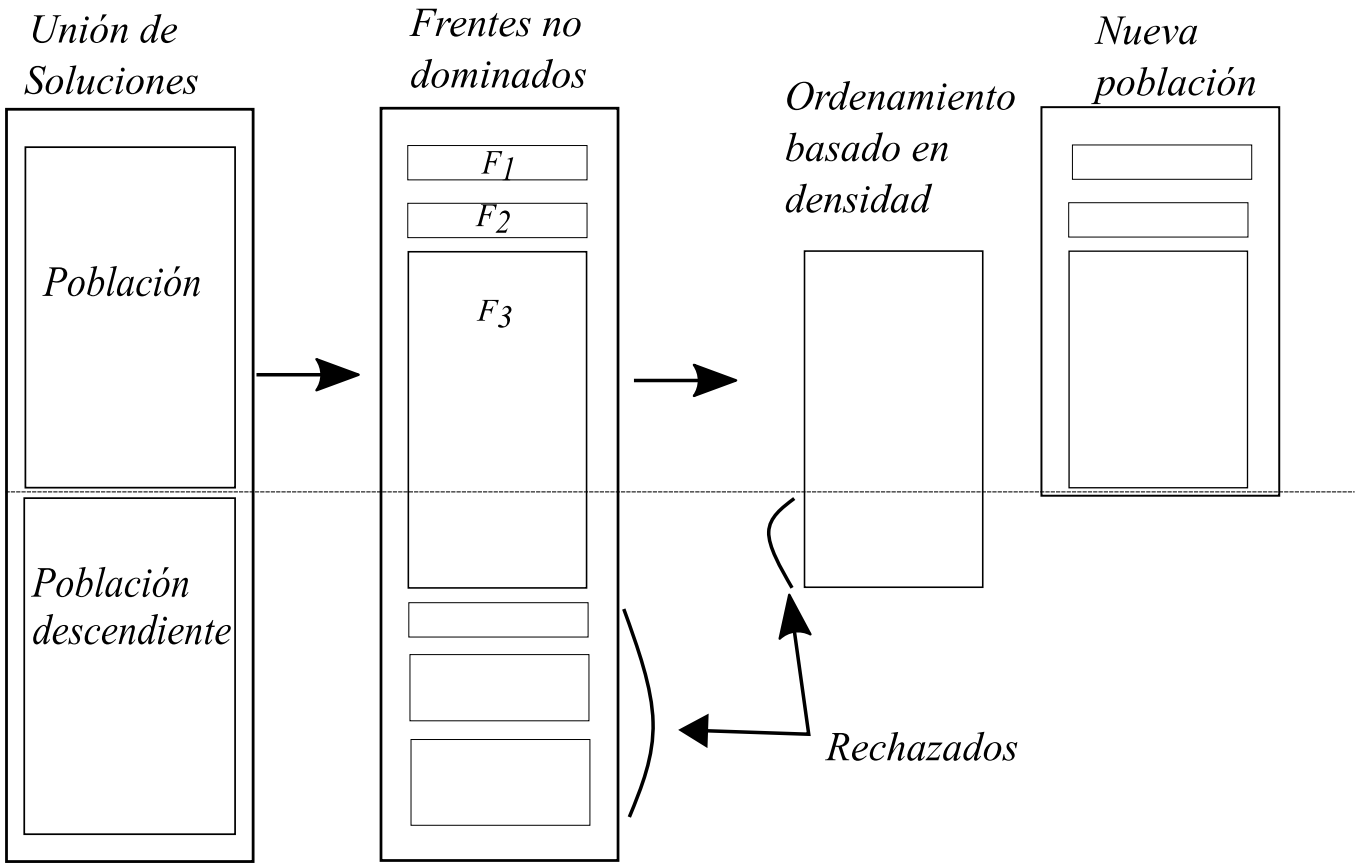
# Implementación

## Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (INSGA-II)



# Implementación

## Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (INSGA-II)



# Pruebas

- Realización de pruebas y su especificación formal
- 39 Pruebas automatizadas
- 16 Pruebas manuales
- Documento de especificación formal de pruebas

# Pruebas

## Prueba Automatizada

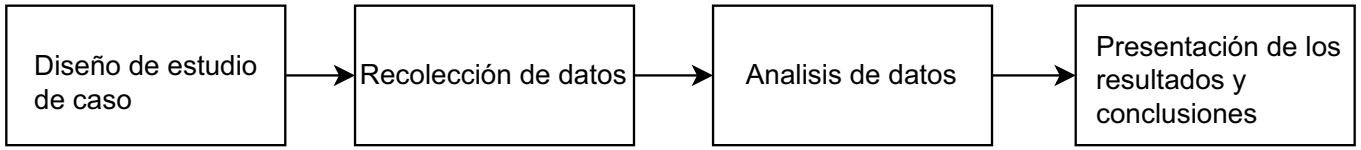
| | |
|---|---|
| **Test ID :** | AT009 |
| **Titulo:** | Número máximo de evaluaciones no válido. |
| **Característica:** | Validar parámetro *maxEvaluations*. |
| **Objetivo:** | Validar que el parámetro *maxEvaluations* no sea negativo. Si el parámetro es negativo debe lanzarse una excepción. |
| **Configuración:** | Instancia de la clase *GeneticAlgorithm* inicializada. |
| **Datos de prueba:** | Cualquier entero menor que 0. |
| **Acciones de prueba:** | Llamar al método *setMaxEvaluations* con un argumento negativo. |
| **Resultados esperados:** | Una excepción. |

# Pruebas

## Prueba Manual

| | |
|---|---|
| **Test ID :** | MT001 |
| **Titulo:** | Visualización de la red. |
| **Característica:** | Mostrar visualización de la red. |
| **Objetivo:** | Confirmar que la red puede ser leida desde un archivo con extensión ".inp" y ser visualizada en la aplicación. |
| **Configuración:** | El equipo tiene la aplicación JHawanetFramework lista para ejecutar. |
| **Datos de prueba:** | inp: "hanoi-Frankenstein.inp". |
| **Acciones de prueba:** | 1. Abrir JHawanetFramework.<br>2. Cargar archivo de red. |
| **Resultados esperados:** | El sistema muestra la red leida desde un archivo inp gráficamente en la aplicación. |

# Estudio de caso



# Diseño del caso

- Elección del caso
  - La aplicación desarrollada
- Objetivos de la investigación
  - ¿Cómo el sistema desarrollado trabaja en la práctica?
- Características a evaluar
  - Funcionalidad
  - Usabilidad
  - Utilidad
  - Utilidad del manual de usuario

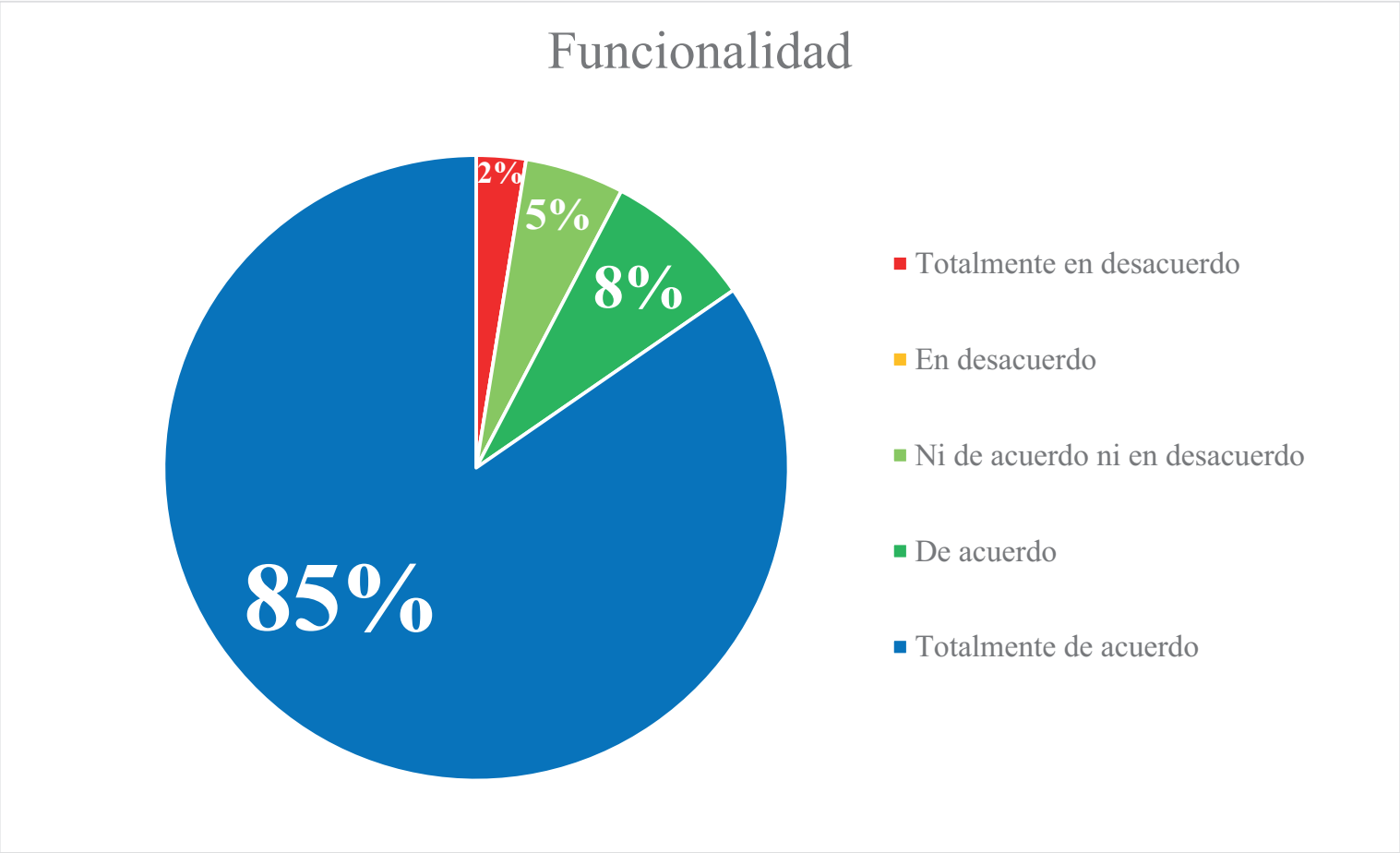
# Diseño del caso

- Protocolo para conducir el estudio de caso
- Unidad de análisis
  - Profesionales con conocimientos en computación, hidráulica y meta-heurísticas
- Consideraciones técnicas
  - Window 64bits
  - Java 1.8
- Consideraciones para los usuarios
  - Conocimientos básicos en hidráulica y metaheurísticas para saber interpretar los resultados de la aplicación. Si se desea incorporar nuevos algoritmos debe tener conocimientos en programación.

# Recolección de datos

- Participantes
  - Yamisleydi Salgueiro
  - Marco Alsina
  - Sergio Silva
- Instrumentos para la recolección de los datos
  - Encuesta utilizando la escala de Likert
  - Test de usabilidad SUS

# Análisis de datos



# Análisis de datos

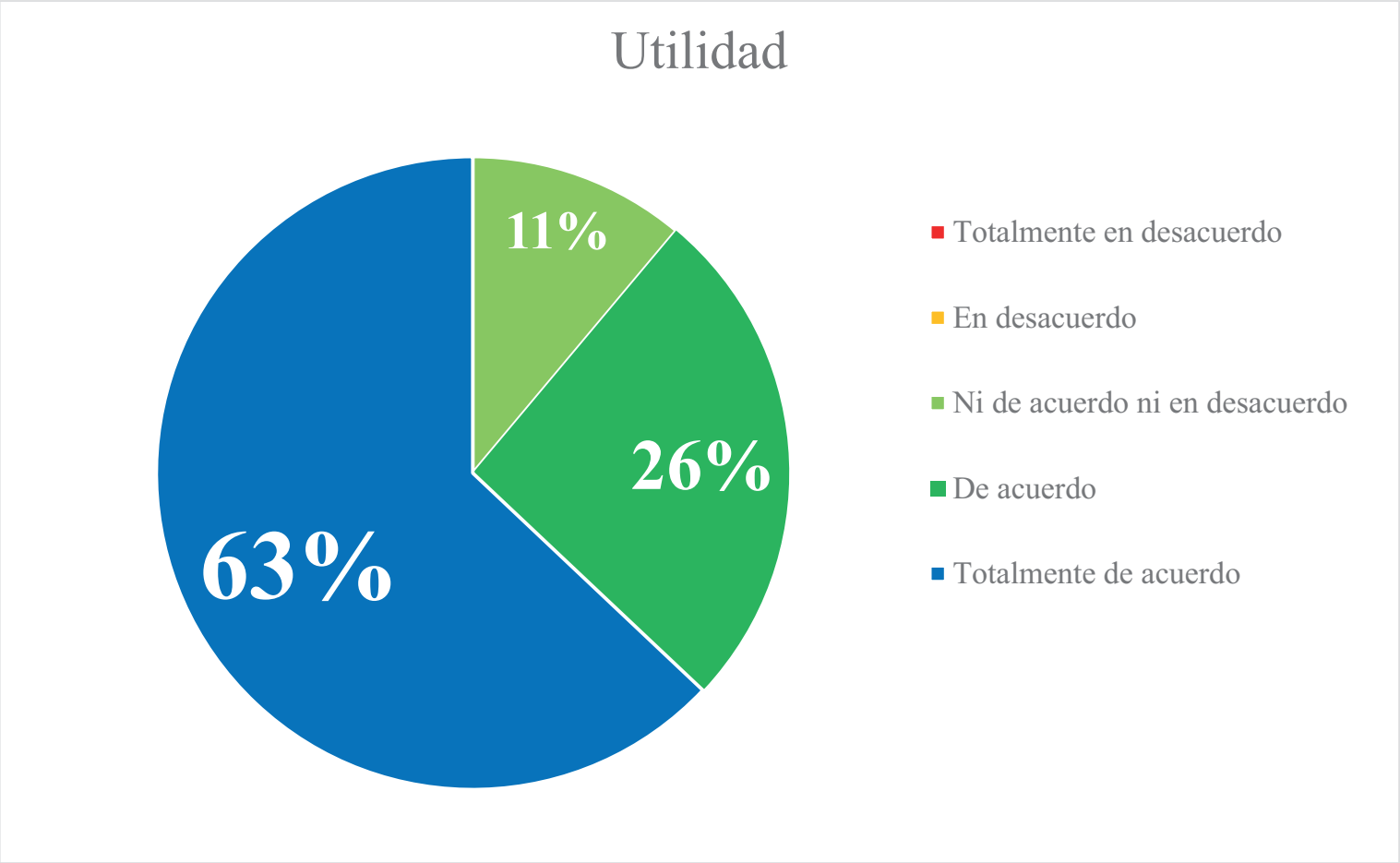
## Usabilidad

$$\bar{x}_{SUS} = 79{,}17$$

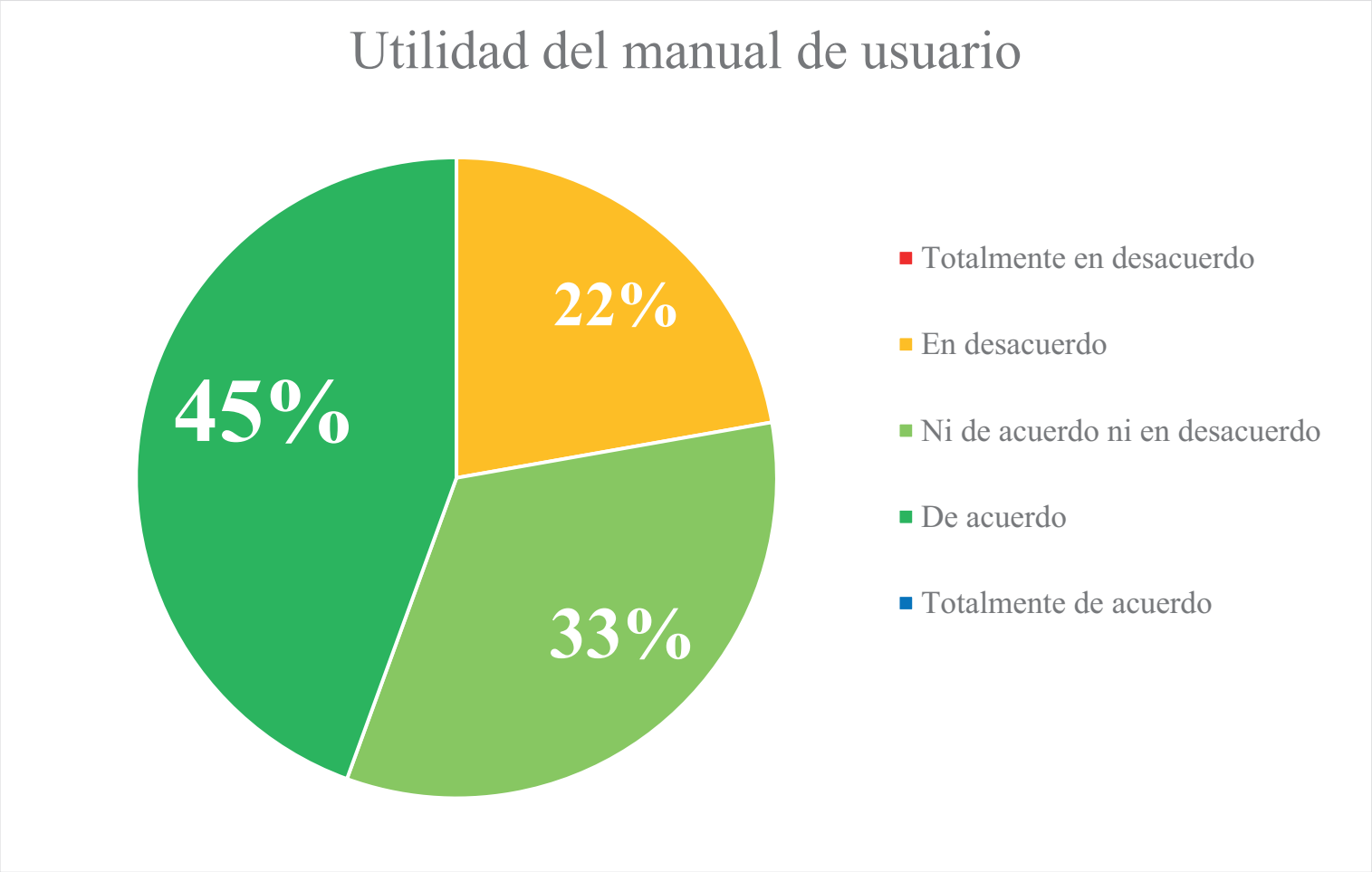
$$s_{SUS} = 9{,}46$$

| *SUS Score* | Calificación |
|---|---|
| > 80,3 | Excelente |
| 68 - 80,3 | Buena |
| 68 | Regular |
| 51 - 68 | Mala |
| < 51 | Terrible |

# Análisis de datos



# Análisis de datos



# Conclusiones estudio de caso

- Criterios de funcionalidad, usabilidad y utilidad cumplidos, concluyendo que el sistema trabaja bien en la práctica.
- Criterio de utilidad del manual de usuario no cumplido por lo que se deben realizar cambios para mejorar la información y ayuda que se entrega con éste.

# Conclusiones

- Software para la optimización de los procesos de diseño y operación de RDA.
- Todos los objetivos establecidos fueron logrados cumplidos

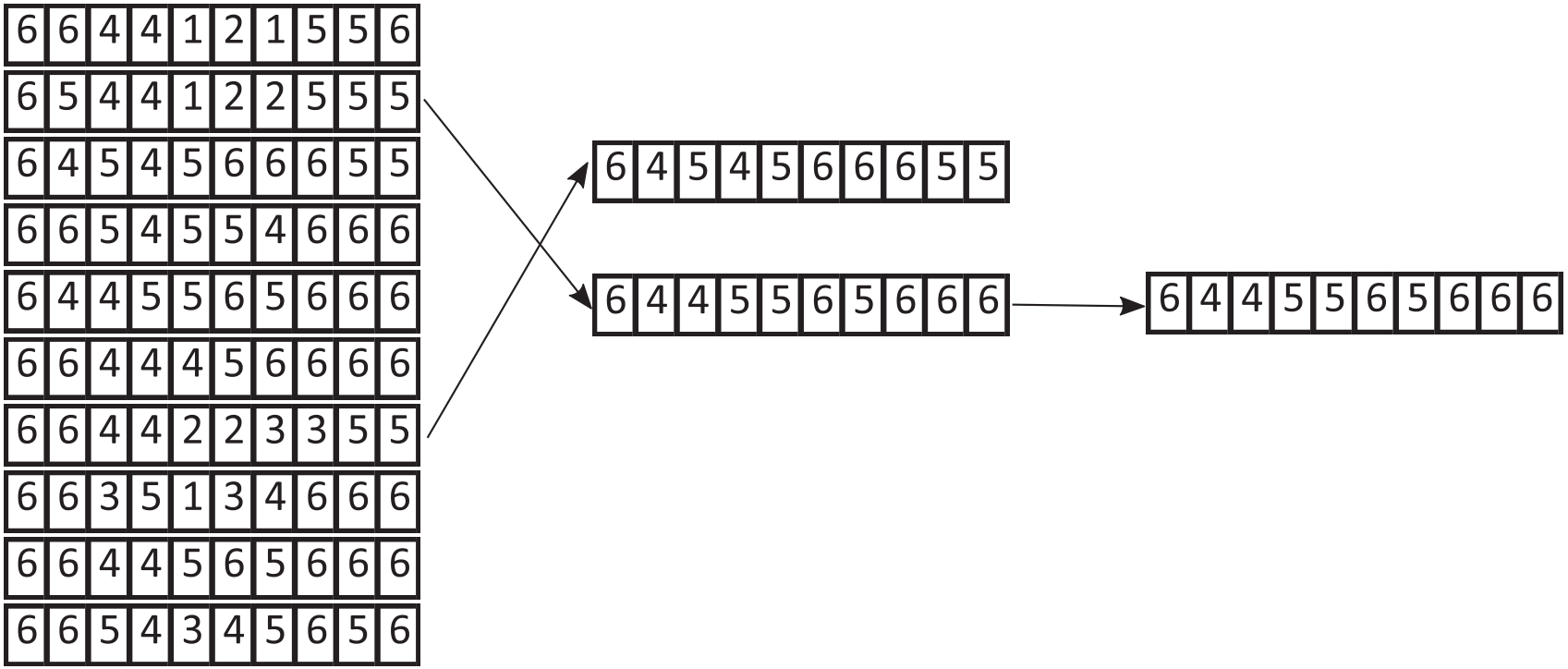
# Trabajos Futuros

- Agregar nuevos algoritmos, operadores y problemas
- Recortar el numero de decimales utilizados
- Permitir exportar la imagen de la red
- Guardar las imágenes exportadas en un formato vectorial
- Cambiar tamaño de los iconos cuando el cursor este encima
- Permitir agregar formulas LaTeX en la descripción del algoritmo
- Permitir utilizar distintos algoritmos en un mismo Experimento
- Añadir métricas de comparación entre algoritmos
- Añadir en el menú contextual los patrones de bombeo o demanda en caso de que la red cargada los especifique.
- Permitir resetear a los valores por defecto en la ventana de configuración del problema

# Fin

# Operadores de Selección

*Tournament Selection*



# Operadores de Selección

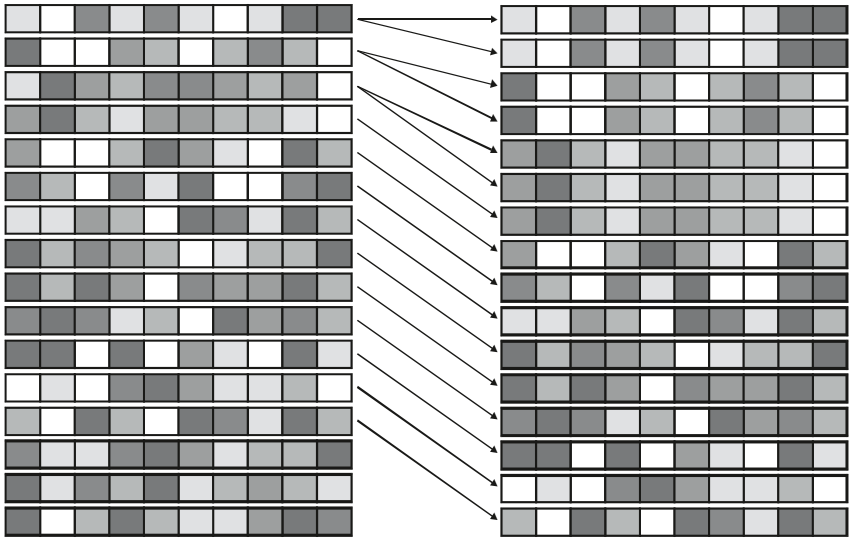
*Uniform Selection*

$$p_{max} = \frac{\beta}{N_c}$$

$$p_{min} = \frac{2-\beta}{N_c}$$

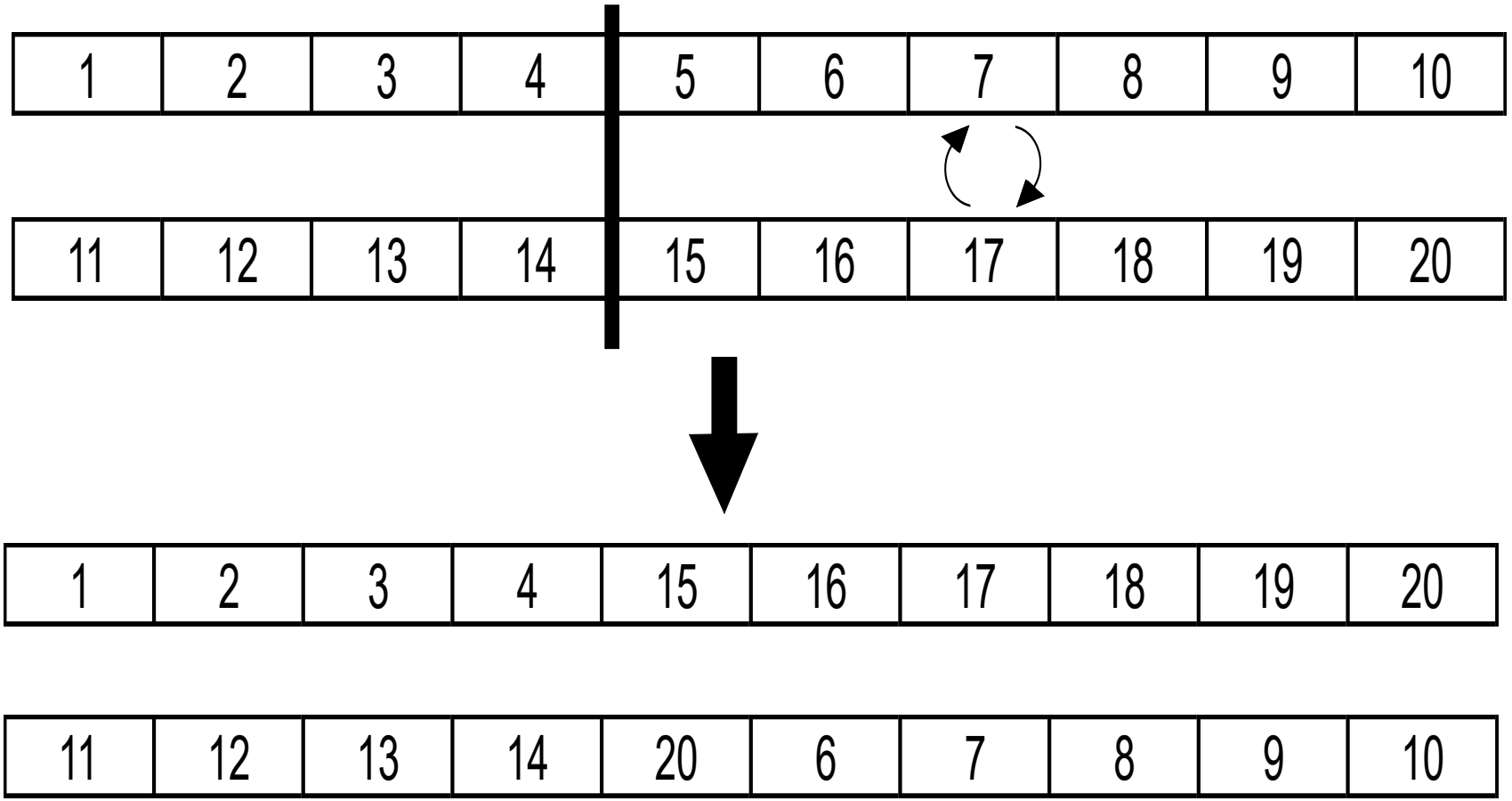
$$1{,}5 <= \beta <= 2$$

$$p_i = p_{min} + (p_{max} - p_{min}) \times \frac{N_c - i}{N_c - 1}$$



# Operadores de Cruzamiento

*SinglePointCrossover*



# Operadores de Cruzamiento

*SBXCrossover*

$$\begin{cases} \beta_q = \sqrt[d_i+1]{r\alpha} & \text{si } r \leq \frac{1}{\alpha} \\ \beta_q = \sqrt[d_i+1]{\frac{1}{2-r\alpha}} & \text{si } r > \frac{1}{\alpha} \end{cases}$$

$$\beta = 1 + 2\frac{y_1 - yL}{y_2 - y_1}$$

$$\alpha = 2 - \frac{1}{\beta^{di+1}}$$

$$\beta = 1 + 2 \cdot \frac{yU - y_2}{y_2 - y_1}$$

$$\alpha = 2 - \frac{1}{\beta^{di+1}}$$

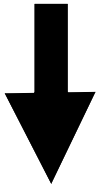
$$C_1 = 0{,}5((y_1 + y_2) - \beta_q(y_2 - y_1))$$

$$C_2 = 0{,}5((y_1 + y_2) + \beta_q(y_2 - y_1))$$

# Operadores de Mutación

*RandomMutation*

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 11 | 7 | 8 | 9 | 10 |

# Operadores de Mutación

*PolynomialMutation*

$$\Delta_1 = \frac{y - yL}{yU - yL}$$

$$\Delta_2 = \frac{yU - y}{yU - yL}$$

$$\begin{cases} \Delta_q = \sqrt[di+1]{2r + (1-2r)(1-\Delta_1)^{di+1}} - 1 & \text{si } r \leq 0{,}5 \\ \Delta_q = 1 - \sqrt[di+1]{2(1-r) + 2(r-0{,}5)(1-\Delta_2)^{di+1}} & \text{si } r > 0{,}5 \end{cases}$$

$$y = y + \Delta_q(yU - yL)$$

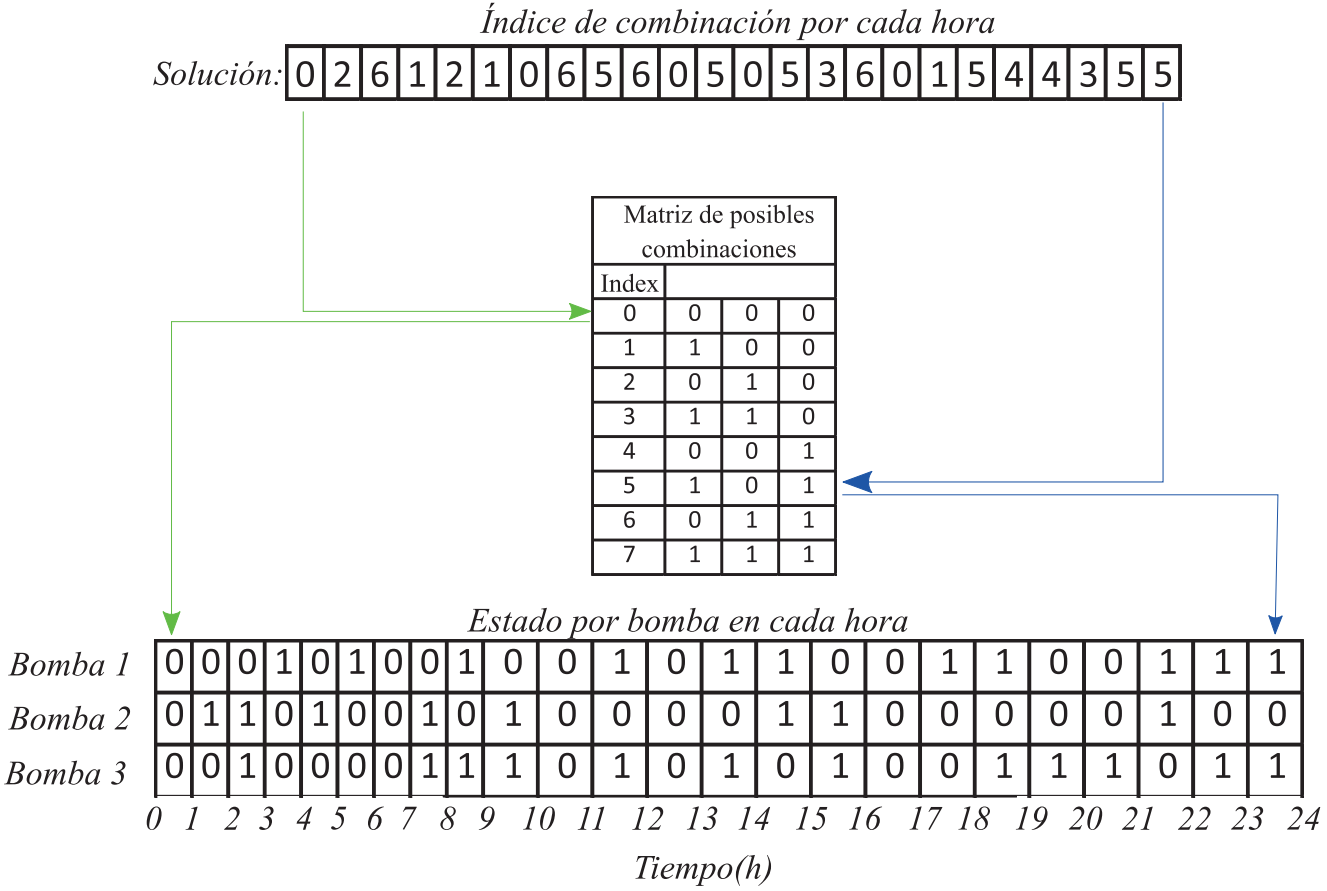
# Representación de la solución del problema de diseño

Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías.

| | ID | Diámetro | Costo |
|---|---|---|---|
| 1 | DN12 | 304.80 | 45.73 |
| 2 | DN16 | 406.40 | 70.40 |
| 3 | DN20 | 508.00 | 98.39 |
| 4 | DN24 | 609.60 | 129.33 |
| 5 | DN30 | 762.00 | 180.75 |
| 6 | DN40 | 1016.00 | 278.28 |

*Solución:*

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 1 | 6 | 4 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 6 | 5 | 1 | 1 | 5 | 2 | 6 | 3 | 6 | 2 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 6 | 4 | 1 |

# Representación de la solucion problema operacional

Problema de operación basado en el Régimen de bombeo.