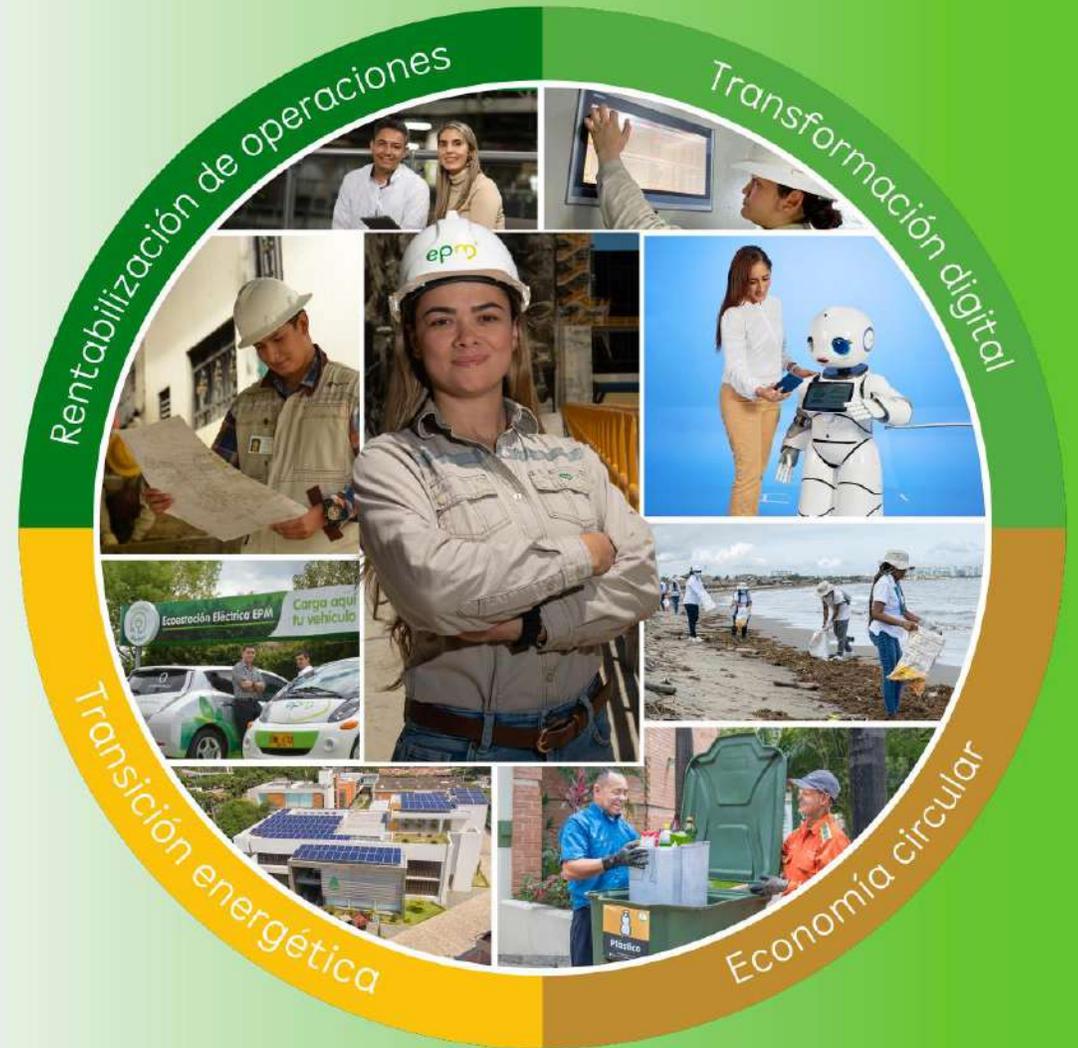


# 10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Grupo·epm



# Análisis de Contingencias en Distribución Usando Algoritmos Genéticos y Metodología para Identificación de Topologías Factibles



Esta foto de autor de contenido es bajo licencia CC BY-NC

Msc. Diego Andrés Galvis N, Msc. Juan Carlos Osorio R  
Msc. Cristian Camilo M, Msc. Ana Maria Villa G

APOE - CHEC

# Contenido

10° Encuentro  
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM  
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Definiciones

Introducción

Descripción gráfica del problema

Alcance

Herramienta

Resultados

Conclusiones



[Este foto](#) de Autor desconocido está bajo licencia [CC BY](#)



# Introducción

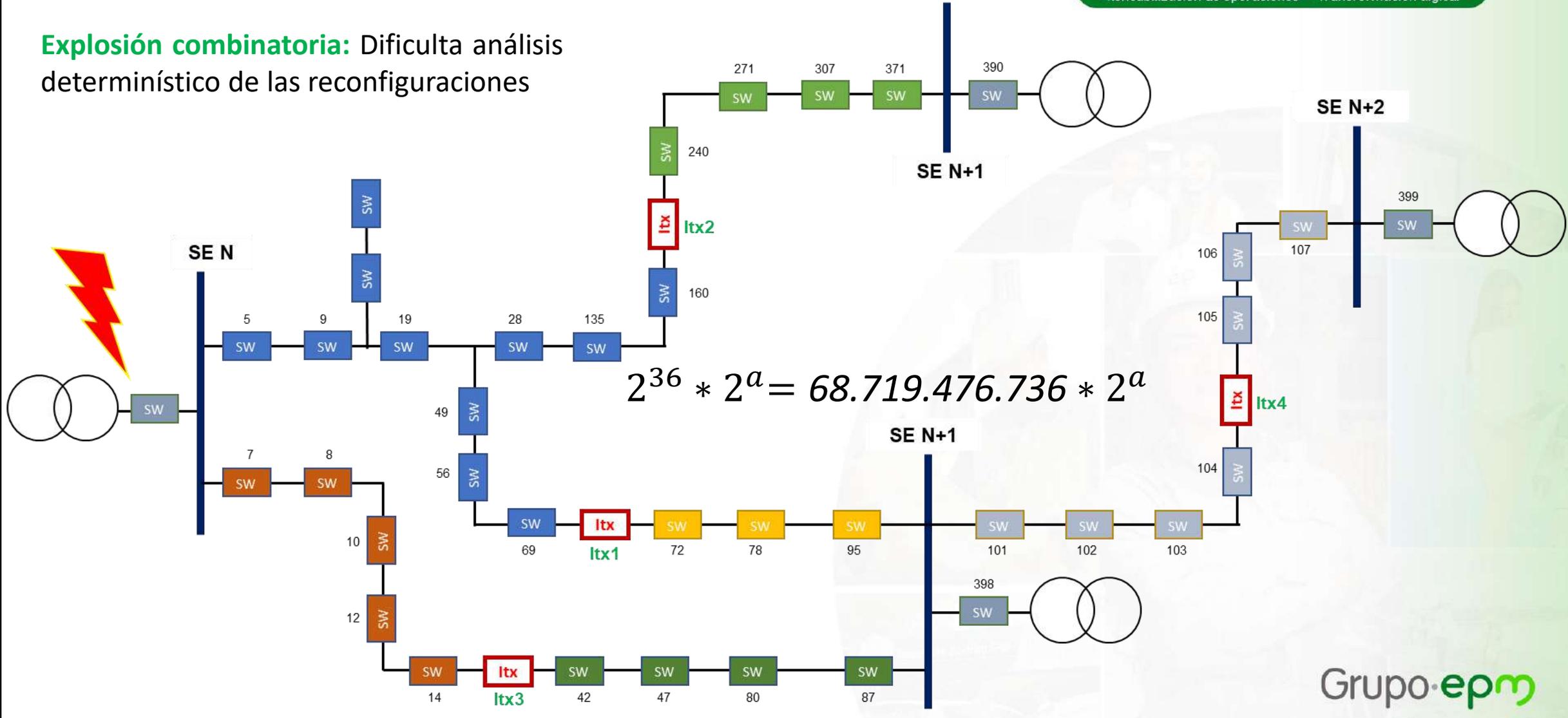
La topología **radial en redes de distribución** ocasiona que la salida de un elemento ocasione desatención de la demanda a usuarios finales. Es por esta razón que se cuenta, a este nivel de distribución, con posibilidades de **reconfiguración topológica** que permitan **restablecer el suministro de la demanda ante condiciones de contingencia simple**.

La reconfiguración de Sistemas de Distribución (RSD) es un **desafío complejo en ingeniería eléctrica**. La **optimización metaheurística** es una metodología común para resolver este problema, con algoritmos genéticos, búsqueda tabú y optimización de enjambre de partículas como enfoques prominentes. Estos métodos se han aplicado para resolver problemas de RSD, considerando aspectos como pérdidas de energía, mejora del perfil de voltaje y confiabilidad. El enfoque en sistemas más grandes y **el uso de herramientas de software como DlgSILENT Power Factory están ganando relevancia**.

# Problema

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

**Explosión combinatoria:** Dificulta análisis determinístico de las reconfiguraciones



# Alcance

Esta herramienta presenta un enfoque para reconfigurar sistemas de distribución de energía ante la contingencia de algún elemento de la red que causa desatención de la demanda utilizando **algoritmos genéticos** y el **lenguaje de programación DPL** (DIgSILENT Programming Language), con el objetivo de restablecer la demanda, minimizando cargabilidad (en líneas y transformadores), tensiones y cantidad de maniobras operativas. Como principal alcance se encuentra el nivel de tensión 2 por la cantidad de switches a operar.

# Metodología

## Algoritmo genético:

Técnica de optimización y búsqueda inspirada en la evolución biológica. Utiliza conceptos como selección natural, cruce y mutación para generar y mejorar soluciones a problemas complejos. Está compuesto por una población de posibles soluciones (cromosomas) que evolucionan a lo largo de generaciones para encontrar la mejor solución posible

## Topología Factible:

Reconfiguraciones topológicas donde *no existen mallas/anillos o islas*

## Matriz de asociaciones:

Matriz que relaciona los switches de interconexión y los switches de seccionamiento según su ubicación eléctrica relativa

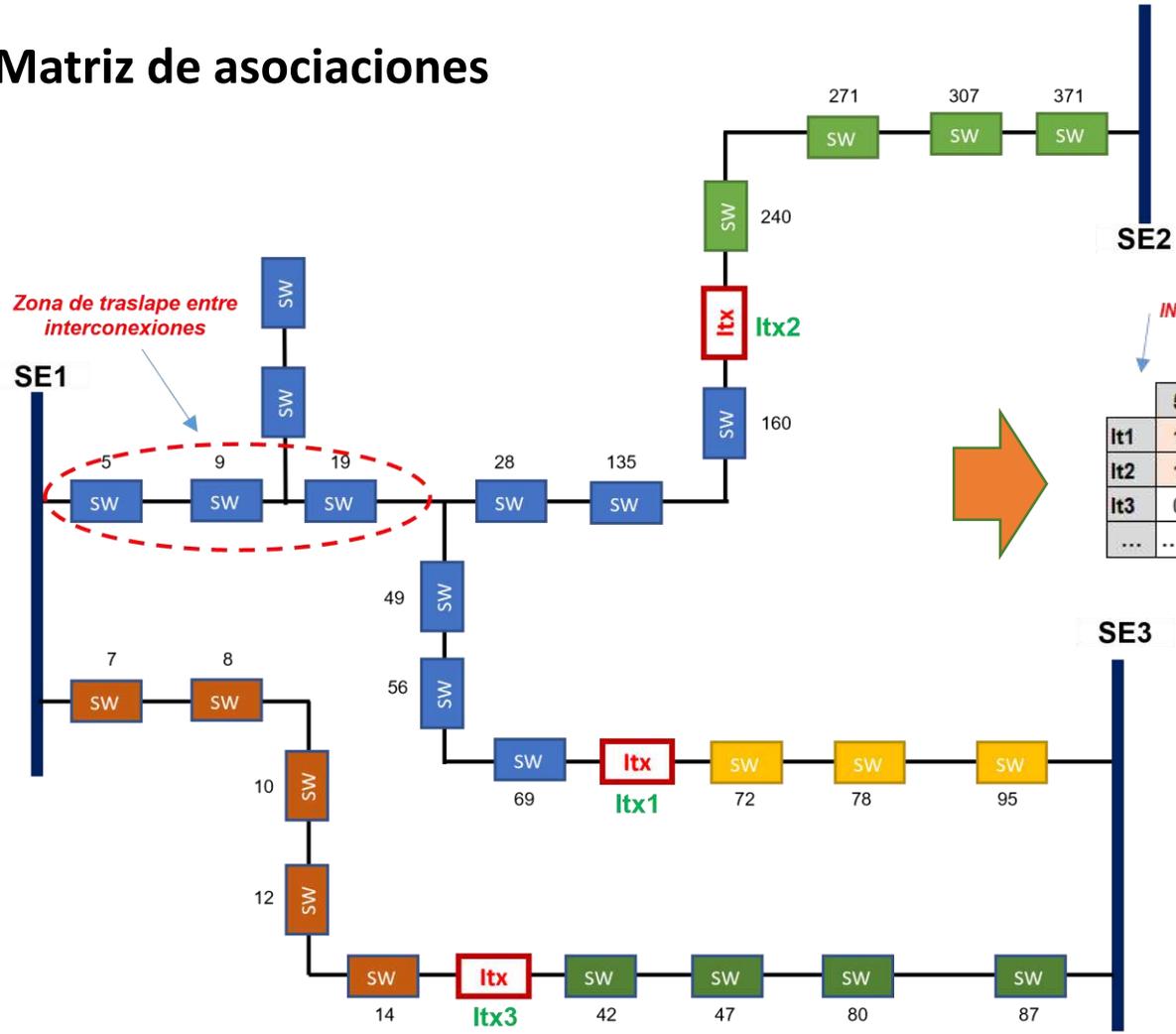
## Codificación:

Los individuos se codifican utilizando una matriz con 2 filas y n columnas, que representan el escenario de interconexión, identificando el switch de interconexión manipulado y la correspondiente sección a este switch

# Metodología

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

## Matriz de asociaciones



INTERCONEXIONES

INDICE DE SWITCHES

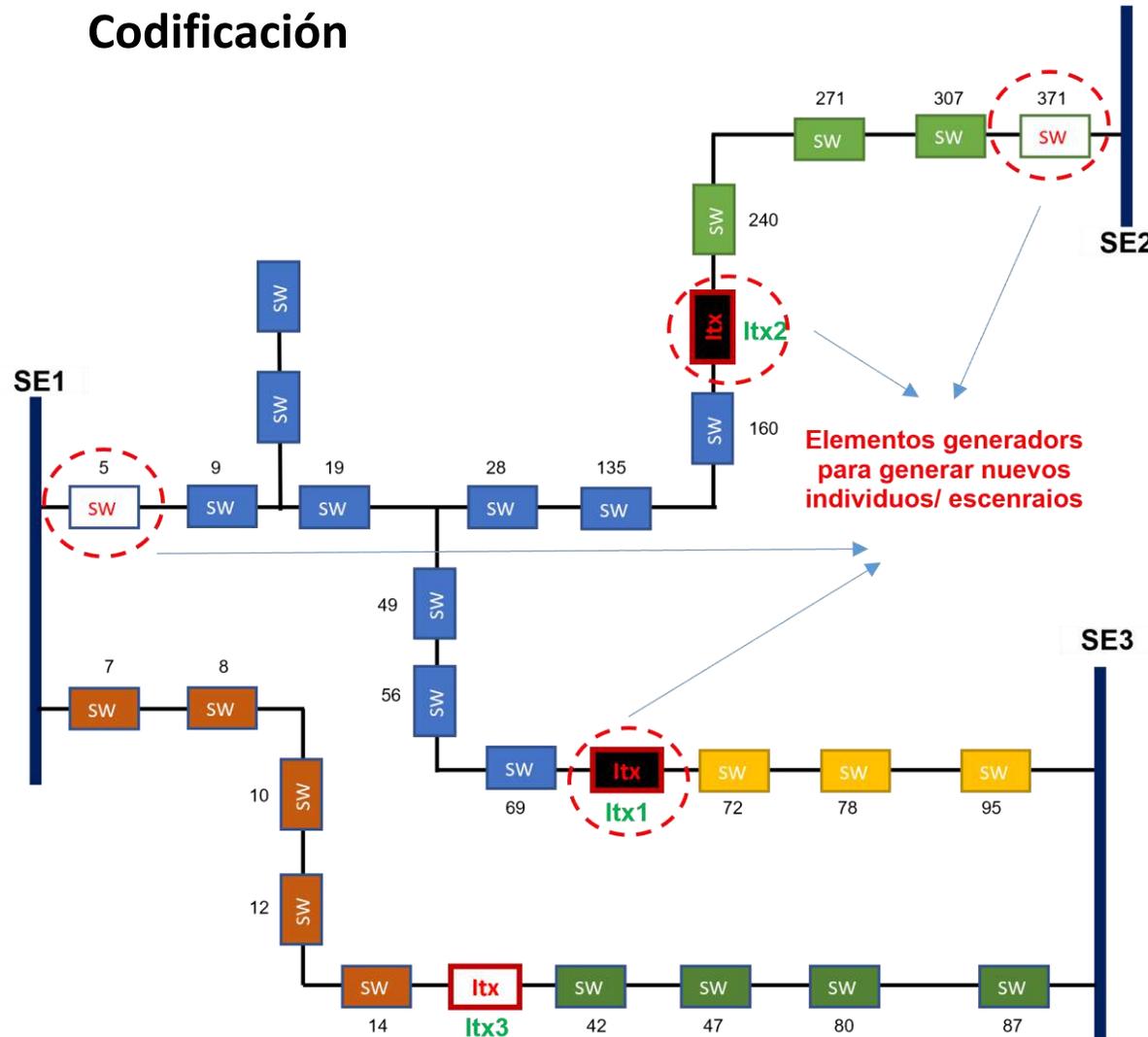
|     | 5   | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | 14  | 19  | 28  | 42  | 47  | 49  | 56  | 69  | 72  | 78  | 80  | 87  | 95  | 135 | 160 | 240 | 271 | 307 | 371 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| It1 | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| It2 | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| It3 | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Identificación matricial de Zona de traslape entre interconexiones

# Metodología

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

## Codificación



Elementos generadores para generar nuevos individuos/escenarios

Representación de la variación topológica (Escenario/individuo)

|                   | ltx 1 | ltx 2 | ltx 3 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| ltx               | 1     | 1     | 0     |
| Switches (índice) | 5     | 371   | 0     |

# Metodología

## Función objetivo:

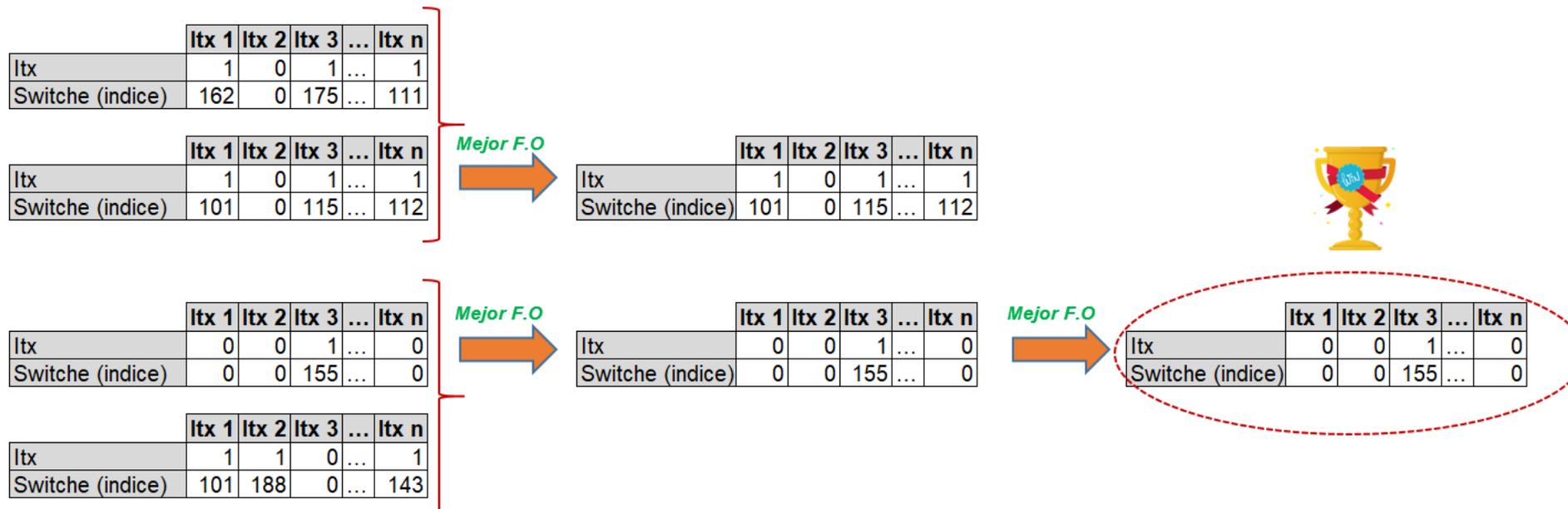
La calidad de un individuo dentro de la población se determina mediante varios factores basados en un **flujo de cargas desbalanceado**, que incluye **cargabilidad máxima** de cada circuito, **voltaje mínimo** de cada circuito y la **cantidad y tipo de switche operados**.

$$\begin{aligned} \min Ff = & k_1 \cdot \sum_{i=1}^{Nf} \left( \frac{\text{Max}(\%LL_i)}{100} + C_1(\text{Max}(\%LL_i) - \overline{LL}) \right) + \\ & k_1 \cdot \sum_{k=1}^{Nsb} \left( \frac{\text{Max}(\%TL_i)}{100} + C_2(\text{Max}(\%TL_i) - \overline{TL}) \right) - \\ & k_2 \cdot \sum_{i=1}^{Nf} (\text{Min}(V_i) + C_3(\text{Min}(V_i) - \underline{V})) + \\ & k_3 \cdot \sum_{j=1}^{Nsw} (Sf_j) \end{aligned}$$

***Cada Escenario/Topología/individuo es valorado de acuerdo a las métricas de cargabilidad (líneas y transformadores), tensiones y cantidad de maniobras***

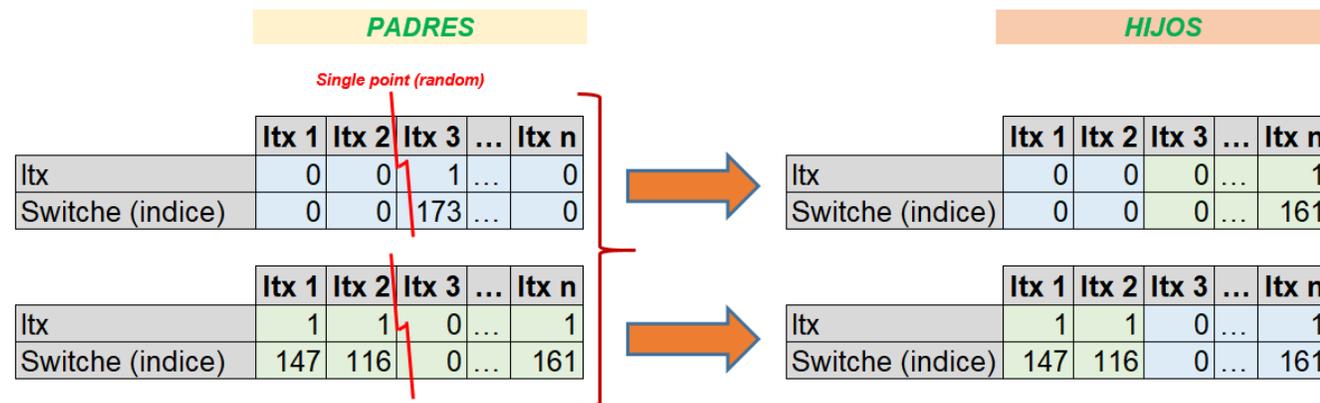
# Metodología

**Selección:** El proceso de selección se realiza a través de *torneos* donde se eligen al azar individuos de la población, y se *selecciona para la reproducción/cruce al individuo con la mejor función objetivo*.



# Metodología

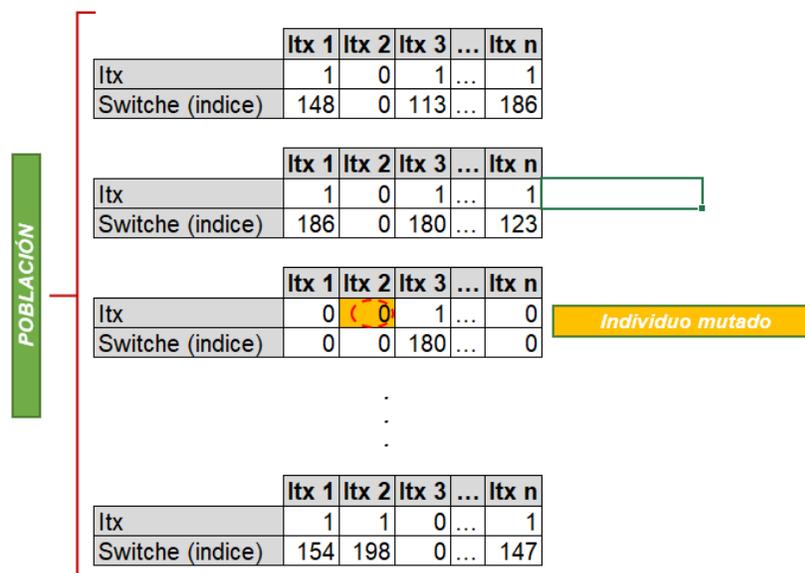
**Cruce (Combinación):** Después del proceso de selección, se realiza un cruzamiento bajo el método “*single-point*”, el cual considera un solo punto para combinar la información genética de los individuos seleccionados y generar dos nuevos individuos. **De los dos nuevos individuos, se elige el que tenga una mejor función objetivo** y viabilidad topológica como el mejor. Dado que el cruzamiento puede generar individuos inviables, se utiliza una **matriz de asociación para verificar su viabilidad**.



**Reinserción:** De los individuos recién generados, se **eligen dos para ser re-integrados** en la población. Esto se hace reemplazando a los individuos de peor calidad en cuanto a función objetivo.

# Metodología

**Mutación:** El operador de mutación se utiliza para introducir *cambios aleatorios* en la información genética de un individuo. En este caso se proponen tres tipos de mutación: la *mutación simple* la cual ajusta interruptores de conexión y seccionamiento; la *mutación inteligente de reducción de carga*, la cual transfiere carga desde el circuito más cargado a un circuito con capacidad de recibir dicha carga; la *mutación inteligente de aumento de carga la cual identifica el circuito menos cargado*, con el fin de recibir carga. **En todos los casos se verifica la factibilidad topológica del individuo mutado.**



# Metodología

**Criterio de parada:** El algoritmo se detiene cuando se alcanza un número máximo de generaciones, o el valor de la función objetivo no ha cambiado en un número predefinido de iteraciones.

**Deslaste de demanda:** Dentro del proceso estocástico, se realizan reconfiguraciones (validando viabilidad topológica) y se seleccionan los individuos/escenarios con mejor función objetivo sin generar deslaste de carga. De acuerdo a lo anterior se pueden generar individuos que presenten “violación” en cargabilidad (líneas o transformadores) o tensión.

Con el fin de generar individuos que cumplan con las restricciones operativas definidas (sin violaciones) se realiza un proceso determinístico de deslaste de carga siguiendo las siguientes etapas:

- **Etapas 1:** Deslaste por cargabilidad de líneas
- **Etapas 2:** Deslastes por sub-tensiones
- **Etapas 3:** Deslaste por cargabilidad de transformadores de potencia

# Herramienta

ESEP CONSDL-CHEC

Application to find the maneuvers under contingency

Parameterization

- ? Settings
- ? General parameters
- ? Distribution transformer parameters
- ? Minimum voltage
- ? Primary switches
- ? Interconnections
- ? Disconnectors
- ? Parameters of decision functions
- ? GA Parameters

Execution

- ? Execute

Results

- ? Results

Developed by: ESEP - UTP · Version: 1.0 · March 2023

PF Reports - General parameters

General parameters

| Parameters                             | Value                               | Additional data          |
|--|-------------------------------------|--------------------------|
| 1 Ordinary day                         | <input type="checkbox"/>            |                          |
| 2 Saturday                             | <input checked="" type="checkbox"/> |                          |
| 3 Holiday                              | <input checked="" type="checkbox"/> |                          |
| 4 Start hour                           | 11                                  |                          |
| 5 Final hour                           | 11                                  |                          |
| 6 Numbers of hours to cluster          | 1                                   |                          |
| 7 Limit of lines loadability [%]       | 100.00                              |                          |
| 8 Limit of Tr2 & Tr3 loadability [%]   | 100.00                              |                          |
| 9 Limit of loadability for results [%] | 85.00                               |                          |
| 10 DIU & FIU maximum ruled             | 360.00                              |                          |
| 11 Element under contingency           | CAM30T12W                           | <input type="checkbox"/> |
| 12 Energized busbar                    | <input type="checkbox"/>            | CAM23                    |

Ln 1 | 12 Line(s) of 1

PF Reports - Algorithm parameters

Algorithm parameters

| Parameters                     | Value |
|--------------------------------|-------|
| 1 Population                   | 10    |
| 2 Maximum number of iterations | 20    |
| 3 Total number of scenarios    | 3     |
| 4 Mutation Rate [%]            | 10.00 |

# Herramienta

Reports - Objective function and priority equation parameters

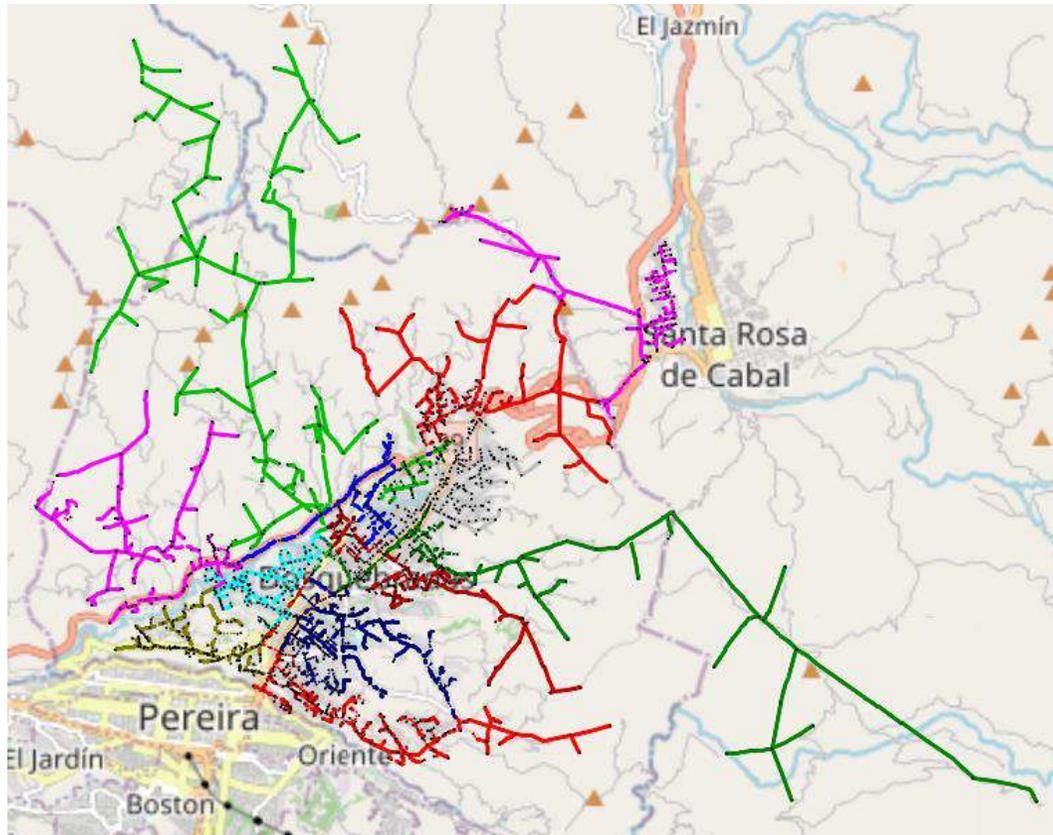
Select the factors you want to see

Factors: All factors

|    | Parameters                                 | Value | Description   |
|----|--|-------|---|
| 3  | '32' Quality Group service attended factor | 2     | Grupo de calidad con nivel de riesgo medio y zona rural, entre más bajo sea...      |
| 4  | '22' Quality Group service attended factor | 5     | Grupo de calidad con nivel de riesgo medio y menor a 100.000 habitantes, e...       |
| 5  | 'Non' Special Client factor                | 0     | Clientes no especiales, entre más alto sea el valor, más se priorizará este tip...  |
| 6  | 'EA' Special Client factor                 | 7     | Hospitales, clínicas, centros de salud, ancianos, orfanatos, entre más alto s...    |
| 7  | 'CUCHILLA' devices Maneuvers factor        | 4     | Seccionador trifásico de operación sin carga, entre más bajo sea el valor, m...     |
| 8  | '3OC' devices Maneuvers factor             | 5     | Seccionador trifásico de operación con carga, entre más bajo sea el valor, m...     |
| 9  | '3CR' devices Maneuvers factor             | 3     | Cortacircuito trifásico camara romperarco, entre más bajo sea el valor, más s...    |
| 10 | '3CC' devices Maneuvers factor             | 3     | Cortacircuito trifásico Caja Vela, entre más bajo sea el valor, más se priorizar... |
| 11 | '3RL' devices Maneuvers factor             | 1     | Reconectador trifásico en la línea, entre más bajo sea el valor, más se prioriz...  |
| 12 | '1CC' devices Maneuvers factor             | 3     | Cortacircuito monofásico, entre más bajo sea el valor, más se priorizará el us...   |
| 13 | '1CFR' devices Maneuvers factor            | 3     | Cortacircuito monofásico con fusible de repetición, entre más bajo sea el val...    |
| 14 | '2CC' devices Maneuvers factor             | 3     | Cortacircuito bifásico Caja Vela, entre más bajo sea el valor, más se priorizar...  |
| 15 | '3CFR' devices Maneuvers factor            | 3     | Cortacircuito trifásico con fusible de repetición, entre más bajo sea el valor, ... |
| 16 | '2CR' devices Maneuvers factor             | 3     | Cortacircuito monofásico cámara romperarco, entre más bajo sea el valor, ...        |
| 17 | '2CFR' devices Maneuvers factor            | 3     | Cortacircuito bifásico con fusible de repetición, entre más bajo sea el valor, ...  |
| 18 | DIU & FIU weighting factor                 | 1.00  | Factor de ponderación del DIU y FIU, este factor afecta de manera proporci...       |
| 19 | Loadability weighting factor               | 5.00  | Factor de ponderación de cargabilidad, este factor afecta de manera propor...       |
| 20 | Voltage weighting regulation factor        | 5.00  | Factor de ponderación de la regulación de voltaje, este factor afecta de man...     |
| 21 | Ipick-up weighting factor                  | 1.00  | Factor de ponderación de corriente de arranque, este factor afecta de maner...      |
| 22 | QG weighting factor                        | 1.00  | Factor de ponderación de Grupos de Calidad, este factor afecta de manera ...        |
| 23 | SC weighting factor                        | 1.00  | Factor de ponderación de Clientes Especiales, este factor afecta de manera ...      |
| 24 | Maneuver weighting factor                  | 1.00  | Factor de ponderación de Maniobras, este factor afecta de manera proporci...        |

Ln 1 | 24 Line(s) of 24 | 0 Line(s) selected

# Resultados



**CONTINGENCIA:** ROS 33/13.2 KV 30 MVA

**SUBESTACIÓN N:** ROS/5 CTOS

**SUBESTACIÓN N+1:** BQE/3 CTOS; CAM/3 CTOS

**SUBESTACIÓN N+2:** HER/4 CTOS

**SWITCHES DE ITX:** 22; **SWIT SECC:** 75;

**SWIT DESLASTRE:** 276

**COMBINACIONES (ITX+SECC):**

15845632502852900000000000000000

**COMBINACIONES (MATRIZ):**

249272923137638000000

**DURACIÓN EJECUCIÓN:** 23 min

# Resultados

PF Reports - Summary of the execution

Summary of the execution

Select maneuver scenario

Scenarios: E1.1

|   | Switches to close | Switches to open | Switches to open for load shedding |
|---|-------------------|------------------|------------------------------------|
| 1 | ✓- swD14720       |                  | ✓- sw2RO16R01                      |
| 2 | ✓- swD13345       | ✓- ROS23L14      | ✓- ROS23L15                        |
| 3 | ✓- sw2BQ2RO41     | ✓- sw2RO14R01    |                                    |
| 4 | ✓- sw2CA3RO61     | ✓- ROS23L16      |                                    |
| 5 | ✓- swD17958       | ✓- swD14312      |                                    |

Ln 0 | 5 Line(s) of 5 | 0 Line(s) selected

Dash

localhost:8050

chec | Grupo-epm

RESULTS CHEC

Reporte.csv  
Thu Aug 24 20:08:51 2023

- Metrics qualification
- Busbar voltage per hour
- Busbar voltage per scenario
- Percentage of special users served and not served
- Line loadability per scenario
- Loadability of the TR2 and TR3 per hour
- Loadability of the TR2 and TR3 per scenario
- Special users served and not served
- Users served and not served by quality group

Results table

# Conclusiones

Se ha desarrollado una herramienta basada en algoritmos genéticos que permite la identificación de escenarios de interconexión en sistemas radiales durante contingencias n-1. Esta herramienta se destaca por su capacidad para considerar múltiples variables, lo que la hace altamente efectiva en entornos complejos.

En particular, la herramienta demuestra su potencial en sistemas de distribución de nivel de tensión 2, donde la presencia de numerosos interruptores conlleva desafíos combinatorios significativos. Para abordar esta complejidad, se implementó una estrategia de optimización basada en una matriz de asociaciones. Esta estrategia demuestra su eficacia al reducir el espacio de soluciones posibles y al generar topologías viables de manera consistente.

Una característica notable de esta herramienta es su versatilidad. Se destaca por su facilidad de configuración y su capacidad de adaptación a las preferencias y objetivos del usuario. Esto permite que los resultados obtenidos se ajusten de manera precisa a las necesidades específicas de cada situación.

No se debe pasar por alto la perspectiva metodológica que distingue a esta herramienta. A diferencia de enfoques que se centran en restablecimiento, el algoritmo se orienta hacia la reconfiguración. Esto no solo la hace valiosa en operaciones en tiempo real, sino que también abre un horizonte prometedor en la planificación de sistemas eléctricos.

# 10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

# ¡Gracias!

Grupo·epm