



## Ana María Gil Restrepo

Central Hidroeléctrica de Caldas

APOE- Análisis para la planeación y operación eléctrica

Tecnóloga e Ingeniera electricista y aspirante al título de Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, soy una persona proactiva, con facilidad para trabajar en equipo y sociable. Actualmente me desempeño como Profesional en la CHEC S.A. ESP BIC en el equipo Análisis para la Planeación y Operación Eléctrica, mi experiencia se ha enfocado en el desarrollo de estudios para Planeación de la infraestructura eléctrica y Estudios de Coordinación de Protecciones.

Correo: [ana.gil@chec.com.co](mailto:ana.gil@chec.com.co)

Teléfono: 314-8503915



## Santiago Cardona Ospina

Central Hidroeléctrica de Caldas

Control medida y protección

Ingeniero electricista, Ingeniero Electrónico y aspirante al título de Maestría en Ingeniería – Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, apasionado por el conocimiento y la construcción de relaciones interpersonales. Actualmente me desempeño como Profesional en la CHEC S.A. ESP BIC en el equipo Control y Protecciones, con énfasis en planeación del sistema eléctrico, operación y supervisión de la operación y protecciones eléctricas, combinando capacidad para la formulación y desarrollos de ingeniería en proyectos del segmento de distribución de energía.

Correo: [santiago.s.cardona@chec.com.co](mailto:santiago.s.cardona@chec.com.co)

Teléfono: 321-6961937



# Modelo de optimización para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR integrado a DIgSILENT PowerFactory.

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

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

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. MODELO MATEMÁTICO Y FUNCIÓN DE ADAPTACIÓN EN EL PROBLEMA DE MAXIMIZACIÓN DE GENERACIÓN EN BARRAS
3. APLICATIVO PARA ESTIMAR LA MÁXIMA CAPACIDAD DE CONEXIÓN DE GENERACIÓN AL SDL Y STR DEL SISTEMA CHEC
4. CONCLUSIONES

# Introducción

La Unidad de Planeación Minero Energética reporta que desde enero de 2023 hasta la fecha, han ingresado en Colombia 174,99 MW de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable – FNCER.

Las solicitudes de conexión siguen creciendo y La supervisión, control y planificación de la infraestructura recae en cada uno de los operadores de red. En este sentido, es crucial identificar la capacidad de las redes eléctricas para la recepción de proyectos de generación y/o cargas, lo cual permitirá orientar la planificación del Sistema de Distribución Local (SDL) y el Sistema de Transmisión Regional (STR) y dirigir las inversiones de manera adecuada.

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

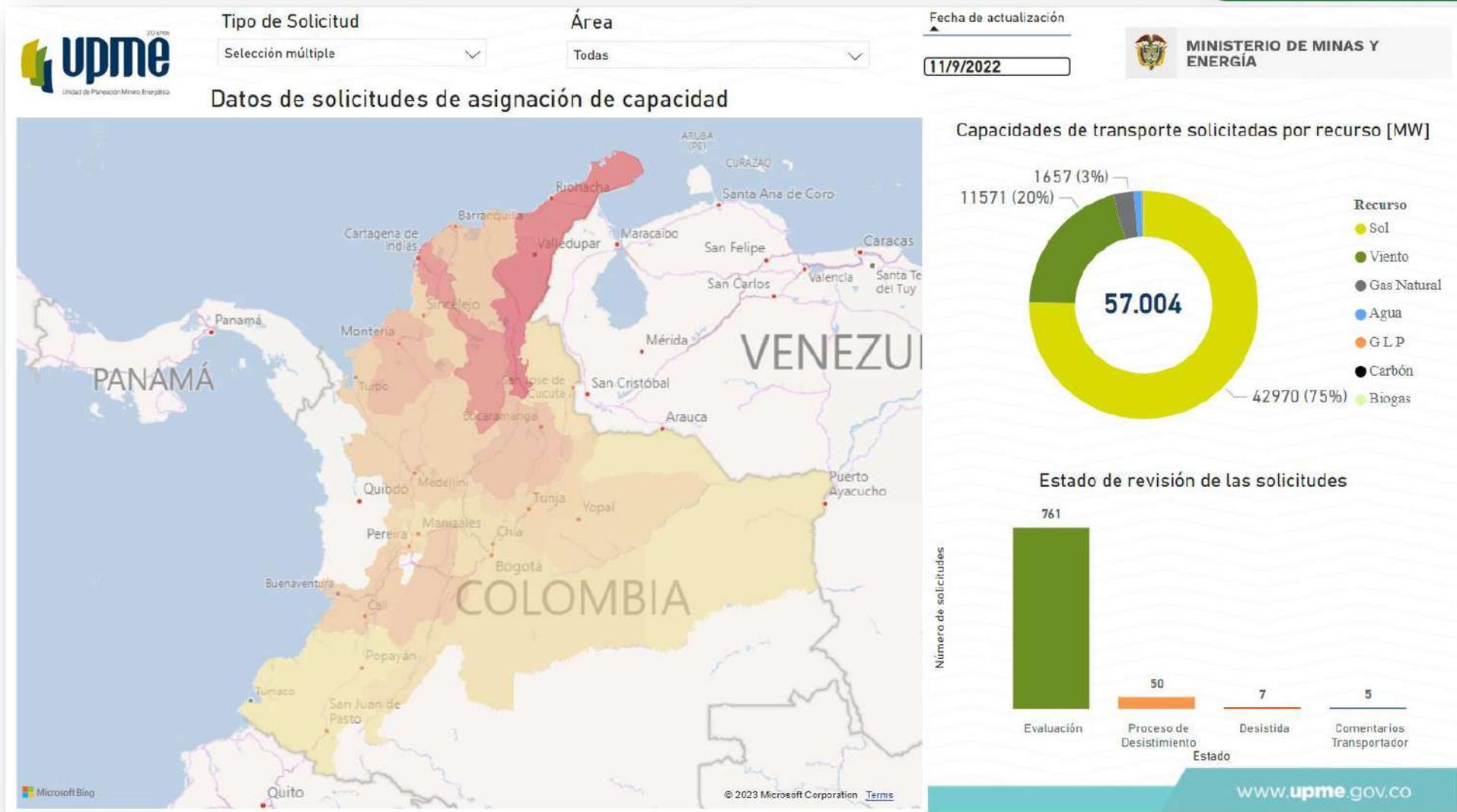
- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



# Introducción

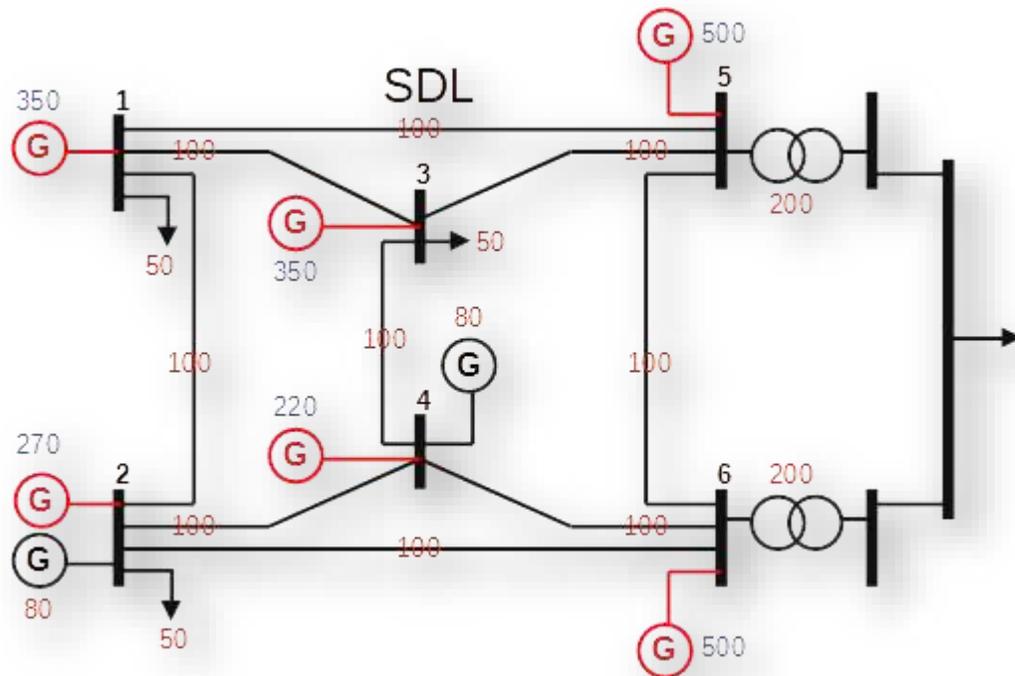
## 10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

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

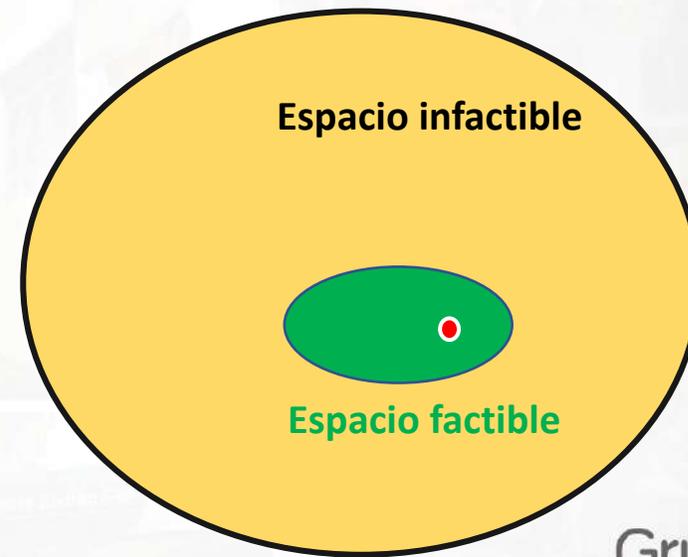


# Introducción

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



Gen.	Lim. Sup.	Discre.	Pasos	Discre.	Pasos
1	3		1-2-3		3500
2	2	1	1-2	0.1	2700
6	5		1-2-3-4-5		5000
Espacio de Búsqueda			<b>30</b>		<b>9471</b>



# Modelo matemático y función de adaptación en el problema de maximización de generación en barras

La función objetivo consiste en la maximización de la generación, considerando tres penalidades introducidas en la función objetivo con signo negativo:

$$FO = MAX \sum_{b=1}^{NB} P_{inyectada-b}$$

Indicador de los niveles de tensión respecto a los límites de normas regulatorias

$$\sum_{n=1}^{NN} \delta_n * \Delta Reg_n$$

Indicador de sobre cargas en transformadores y líneas

$$\sum_{e=1}^{NE} \delta_e * \Delta CB_e$$

Indicador de violación de límite de cortocircuito en barras

$$\sum_{b=1}^{NB} \delta_b * \Delta CC_b$$

## Modelo matemático y función de adaptación en el problema de maximización de generación en barras

$$FO = MAX \sum_{b=1}^{NB} P_{inyectada-b} - fp_R * \sum_{n=1}^{NN} \delta_n * \Delta Reg_n - fp_{CB} * \sum_{e=1}^{NE} \delta_e * \Delta CB_e - fp_{CC} * \sum_{b=1}^{NB} \delta_b * \Delta CC_b$$

s. a:

$$\delta_e = \begin{cases} 1, & \text{si } \%CB_e > \%CB_{max-e} \\ 0, & \text{si } \%CB_e \leq \%CB_{max-e} \end{cases}$$

$$\delta_n = \begin{cases} 1, & \text{si } |V_n| > V_{nom}(1 - \%Reg_{max}) \\ 0, & \text{si } |V_n| \leq V_{nom}(1 - \%Reg_{max}) \end{cases}$$

$$\delta_b = \begin{cases} 1, & \text{si } ICC_b > ICC_{max-b} \\ 0, & \text{si } ICC_b \leq ICC_{max-b} \end{cases}$$

$$\Delta Reg_n = |\%Reg_n - \%Reg_{max}|$$

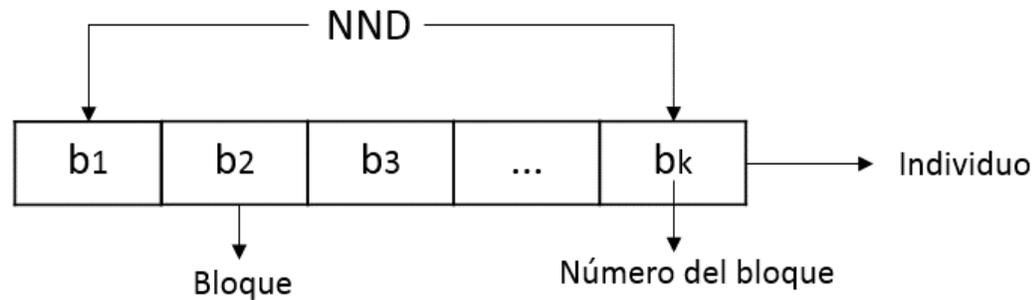
$$\Delta CB_e = |\%CB_e - \%CB_{max-e}|$$

$$\Delta CC_b = |ICC_b - ICC_{max-b}|$$

# Modelo matemático y función de adaptación en el problema de maximización de generación en barras

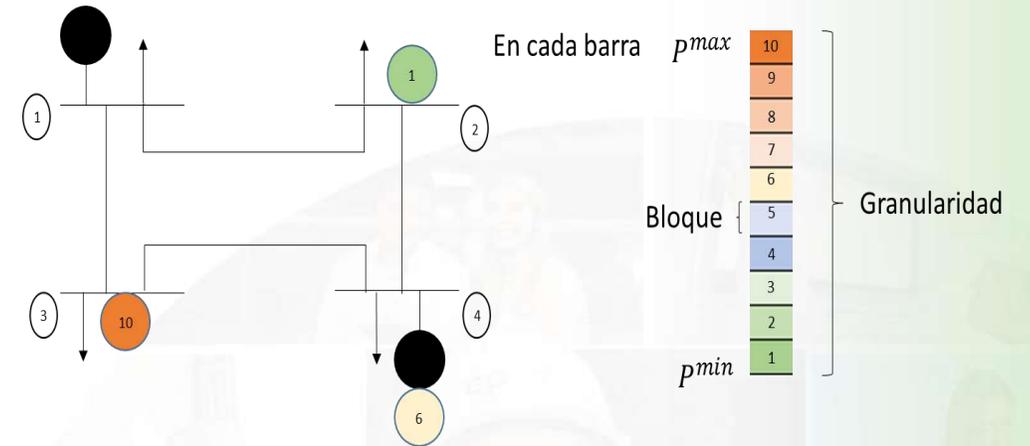
## CODIFICACIÓN

El vector de codificación corresponde a un vector de números enteros mayores o iguales a cero, cuya longitud corresponde al número de nodos de conexión de generación en el sistema.



NB: Número de bloques en que se divide la potencia  
 NND: Número de nodos disponibles para instalar generación  
 bk: Número del bloque de potencia activa a inyectar al nodo

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



$$Granularidad = \left( \frac{P_{maxk}}{NB} \right) \quad NB_{maxk} = \left( \frac{P_{maxk}}{\Delta Paso} \right)$$

$$NB_{maxk} = \left( \frac{50}{0.5} \right) = 100 \text{ bloques} \quad P_k = b_k * \Delta Paso$$

0	1	10	6
---	---	----	---

Alternativa de solución

# Modelo matemático y función de adaptación en el problema de maximización de generación en barras

## ALGORITMO GENÉTICO

POBLACIÓN: arreglo de vectores de codificación

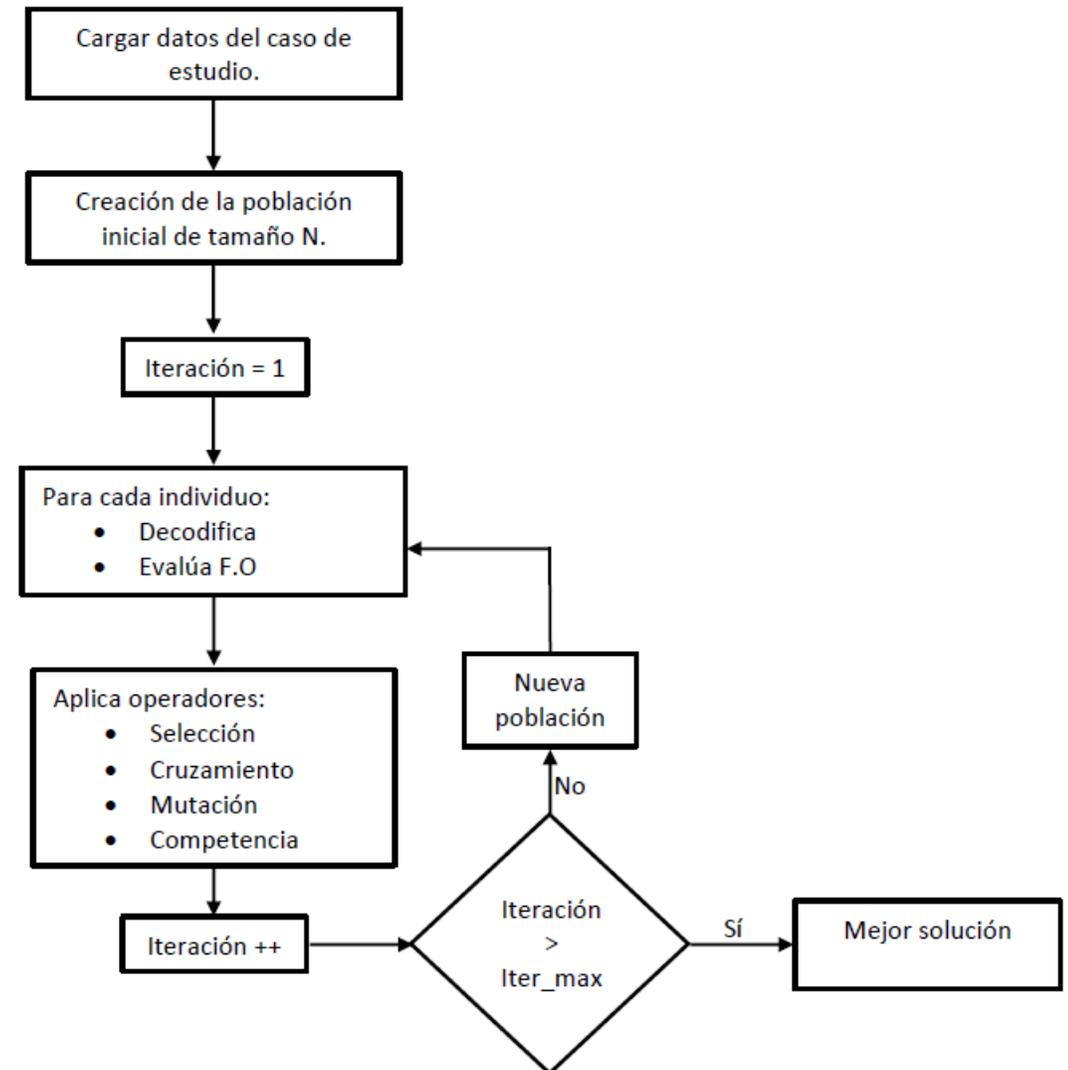
SELECCIÓN: se elige el 30 % de la población para que compitan según la evaluación de la función de adaptación

RECOMBINACIÓN : recombinación simple, selección aleatoria de punto de cruce genético

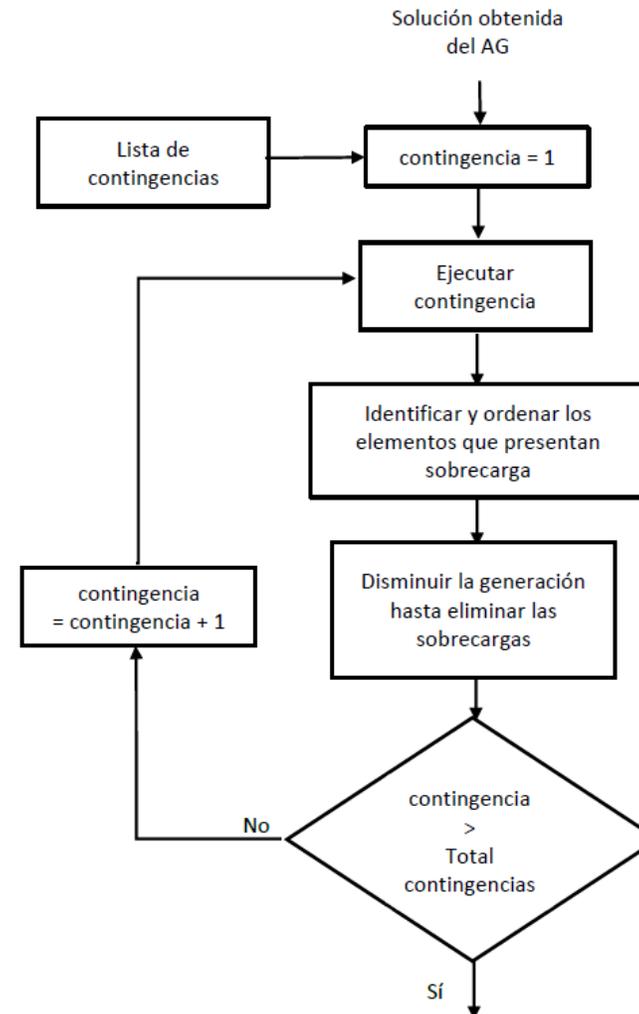
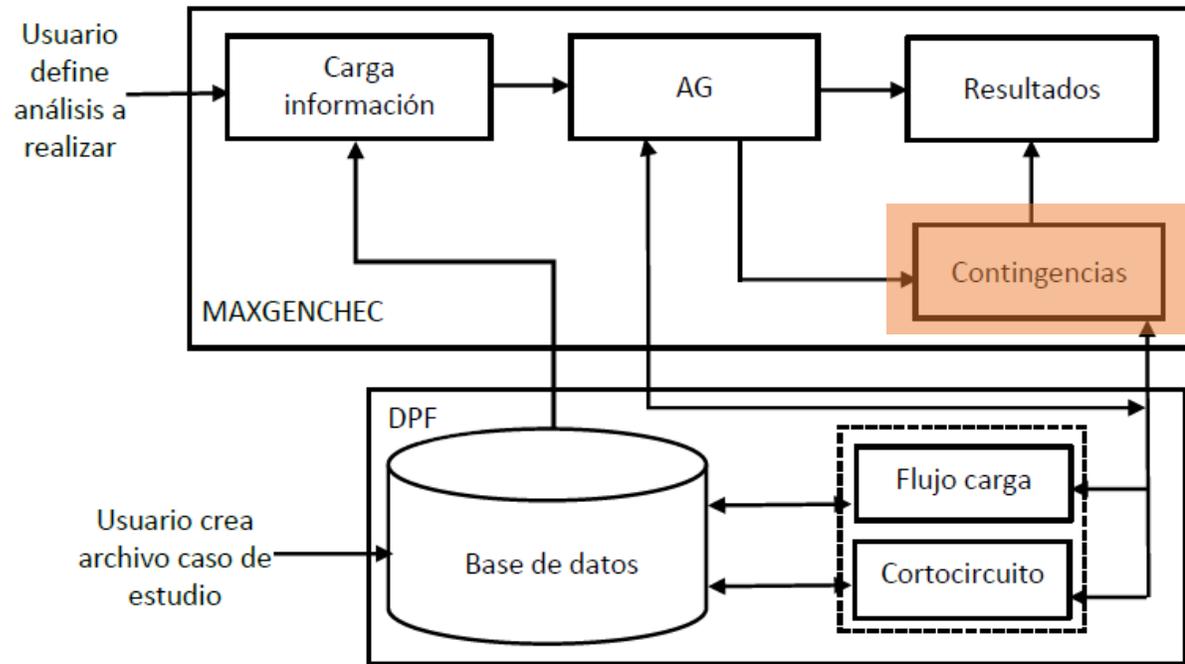
MUTACIÓN: selección aleatoria de individuo y gen a mutar

PROCESO DE COMPETENCIA: Si el descendiente es mejor que el peor individuo de la población respecto a sus valores de función de adaptación y si el descendiente es diferente genéticamente a cualquier individuo de la población, este reemplaza el peor individuo de la población

CRITERIO DE PARADA: Si el número de generaciones alcanza el número máximo de generaciones establecido o si la solución no mejora después de cierto número de generaciones predefinido



# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec



# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

MaxGenCHEC

E. Planeación E. Protecciones Complementos

Max gen bar

Application to compute the maximum generation of the CHEC's system

Parameterization

- Settings
- Alternatives
- Scenarios
- Combinations
- Generation nodes
- Node parameters
- Nodes to monitor
- Nodes - Scenarios
- Elements to monitor
- GA Parameters

Execution

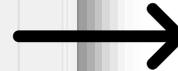
- Diagnostic test
- Execute
- Contingencies

Results

- Results
- Statistics
- Summary

Developed by: ESEP - UTP · Version: 1.0 November 2022

APOE chec Grupo epm



Reports - Edit nodes information

Edit nodes information

Source: \Entradas\Sets\set\_nodos\_gen.SetSelect

	Object	Type	oGenStat	Pmin[MW]	Power factor	Local controller	Plant category	Short-Circ
▶ 1	AZA30	ElmTerm	AZA30...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	
2	ENE30	ElmTerm	ENE30...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	
3	ENE40	ElmTerm	ENE40...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	
4	MAN30	ElmTerm	MAN3...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	
5	MAN40	ElmTerm	MAN4...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	
6	VMA30	ElmTerm	VMA3...	0.00	1.00	constv	Photovoltaic	

Reports - Edit nodes information

Edit nodes information

Source: \Entradas\Sets\set\_nodos\_gen.SetSelect

	Short-Circuit Fault Contribution	Feasibility factor	Latitude	Longitude	Slim	Sload	Sline	Str
▶ 1	10.00	1.00	5.0496	-75.4816	229.78	0.74	199.04	30.00
2	10.00	1.00	5.0193	-75.4818	339.17	0.00	259.17	80.00
3	10.00	1.00	5.0193	-75.4818	608.91	0.00	248.91	360.00
4	10.00	1.00	5.0492	-75.5314	206.69	0.00	132.69	74.00
5	10.00	1.00	5.0492	-75.5314	469.61	0.00	409.61	60.00
6	10.00	1.00	5.0461	-75.5197	20.89	3.42	11.47	6.00

# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

MaxGenCHEC

E. Planeación E. Protecciones Complementos

Max gen bar Application to compute the maximum generation of the CHEC's system

Parameterization

- Settings
- Alternatives
- Scenarios
- Combinations
- Generation nodes
- Node parameters
- Nodes to monitor
- Nodes - Scenarios
- Elements to monitor
- GA Parameters

Execution

- Diagnostic test
- Execute
- Contingencies

Results

- Results
- Statistics
- Summary

Developed by: ESEP - UTP · Version: 1.0 November 2022

APOE chec Grupo epm

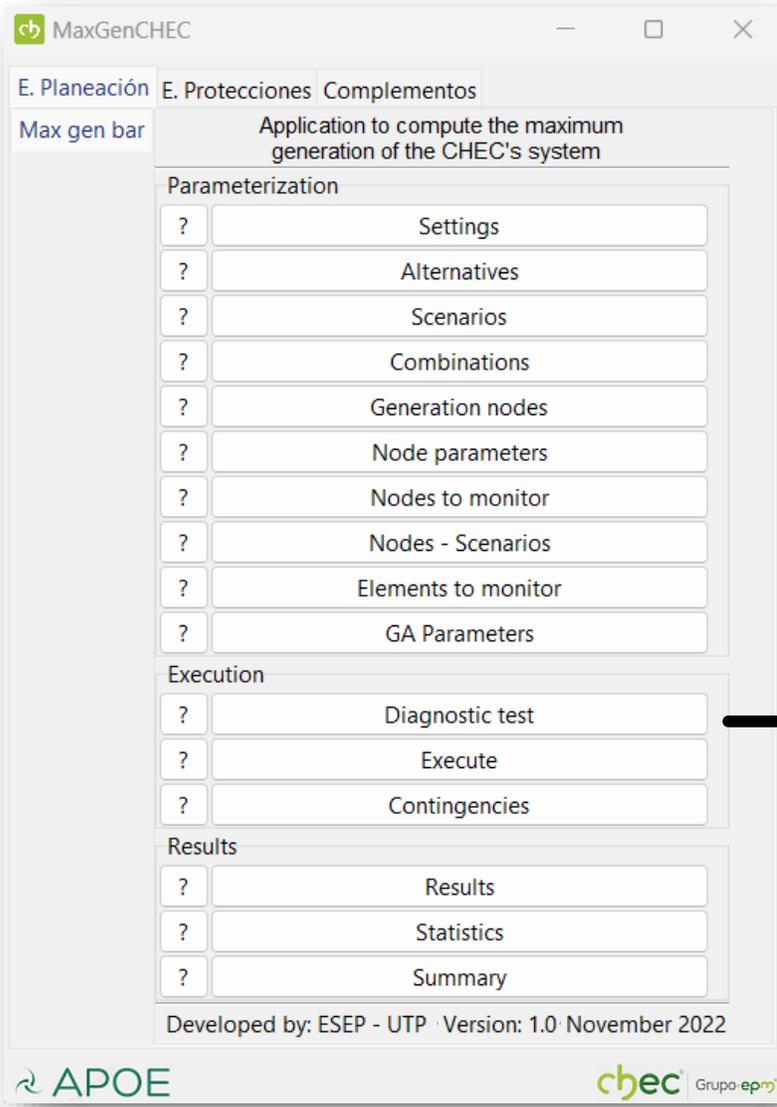
Reports - Algorithm parameters

Algorithm parameters

	Parameters	Value
▶ 1	Population	12
2	Maximum number of iterations	20
3	Non improvement iteration	20
4	Lower voltage limit [p.u.]	0.90
5	Upper voltage limit [p.u.]	1.01
6	Maximum loadability [%]	100.00
7	PowerStep [MW]	1.00
8	Voltage regulation penalisation	10.00
9	Loadability penalisation	10.00
10	Short-Circuit penalisation	10.00

# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

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



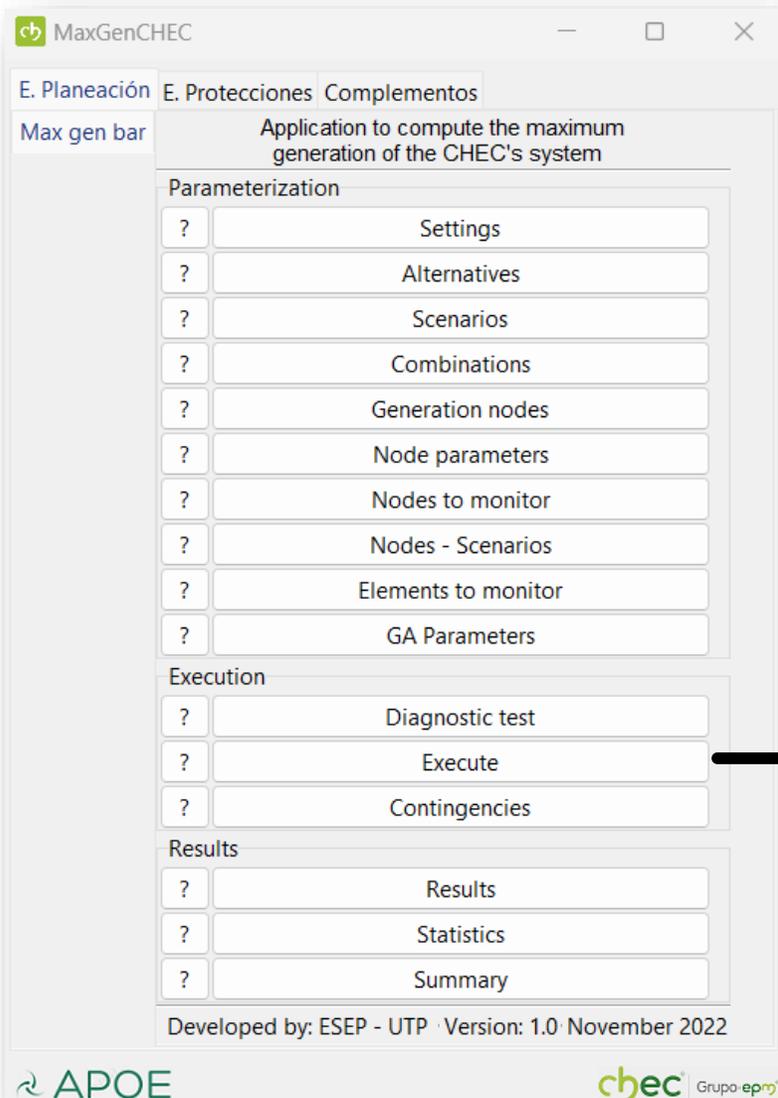
```

SUMMARY DIAGNOSTIC
-----
Combinacion(Alt: Alternative_1, Esc: CB_H)
----- Sin Pmin -----
* El flujo converge
Revisa regulación de 6, nodos
Nodo:AZA30: Vmin:1.020 - Vmax:1.020
Viola Nodo:AZA30, TensionSuperior:1.020
Nodo:ENE30: Vmin:1.020 - Vmax:1.020
Viola Nodo:ENE30, TensionSuperior:1.020
Nodo:ENE40: Vmin:1.048 - Vmax:1.048
Viola Nodo:ENE40, TensionSuperior:1.048
Nodo:MAN30: Vmin:1.033 - Vmax:1.033
Viola Nodo:MAN30, TensionSuperior:1.033
Nodo:MAN40: Vmin:1.047 - Vmax:1.047
Viola Nodo:MAN40, TensionSuperior:1.047
Nodo:VMA30: Vmin:1.032 - Vmax:1.032
Viola Nodo:VMA30, TensionSuperior:1.032
Revisa cargabilidad de 16, líneas
Line:ENE40MAN1, Cargabilidad:15.294
Line:ENE40PSO1, Cargabilidad:17.659
Line:MAN30MTO2, Cargabilidad:35.516
Line:AZA30PSO1, Cargabilidad:53.962
Line:AZA30MTO1, Cargabilidad:43.552
Line:AZA30ENE1, Cargabilidad:2.176
Line:MAN30L22D, Cargabilidad:31.458
Line:CHA30MAN1, Cargabilidad:19.729
Line:AZA30ENE3, Cargabilidad:2.183
Line:CHI30PSO1, Cargabilidad:6.682
Line:INS30L23D, Cargabilidad:33.330
Line:MAN30MTO1, Cargabilidad:35.925
Line:CHI30MAN1, Cargabilidad:25.831
Line:MTO30PSO1, Cargabilidad:9.889
Line:MNA30L12D, Cargabilidad:2.760
Line:CHA30INS1, Cargabilidad:33.915
Revisa cargabilidad de 7, Tr3
Tr3:ENE46A23, Cargabilidad:13.427
Tr3:ENE46A22, Cargabilidad:13.272
Tr3:PSO40T19W, Cargabilidad:28.711
Tr3:PSO40T21W, Cargabilidad:28.719
Tr3:ENE40T22W, Cargabilidad:46.015
Tr3:MAN40T21W, Cargabilidad:27.447
Tr3:INS40T21W, Cargabilidad:15.837
Revisa cargabilidad de 0, Tr2
    
```

```

Combinacion(Alt: Alternative_2, Esc: Alt_T)
----- Sin Pmin -----
* El flujo converge
Revisa regulación de 6, nodos
Nodo:AZA30: Vmin:1.032 - Vmax:1.032
Viola Nodo:AZA30, TensionSuperior:1.032
Nodo:ENE30: Vmin:1.037 - Vmax:1.037
Viola Nodo:ENE30, TensionSuperior:1.037
Nodo:ENE40: Vmin:1.052 - Vmax:1.052
Viola Nodo:ENE40, TensionSuperior:1.052
Nodo:MAN30: Vmin:1.039 - Vmax:1.039
Viola Nodo:MAN30, TensionSuperior:1.039
Nodo:MAN40: Vmin:1.051 - Vmax:1.051
Viola Nodo:MAN40, TensionSuperior:1.051
Nodo:VMA30: Vmin:1.037 - Vmax:1.037
Viola Nodo:VMA30, TensionSuperior:1.037
Revisa cargabilidad de 14, líneas
Line:ENE40MAN1, Cargabilidad:11.821
Line:ENE40PSO1, Cargabilidad:15.927
Line:AZA30PSO1, Cargabilidad:22.292
Line:AZA30MTO1, Cargabilidad:16.193
Line:AZA30ENE1, Cargabilidad:10.585
Line:MAN30L22D, Cargabilidad:18.780
Line:CHA30MAN1, Cargabilidad:11.192
Line:CHI30PSO1, Cargabilidad:4.777
Line:INS30L23D, Cargabilidad:20.538
Line:MAN30MTO1, Cargabilidad:21.870
Line:CHI30MAN1, Cargabilidad:16.386
Line:MTO30PSO1, Cargabilidad:8.114
Line:MNA30L12D, Cargabilidad:2.749
Line:CHA30INS1, Cargabilidad:25.102
Revisa cargabilidad de 7, Tr3
Tr3:ENE46A23, Cargabilidad:15.743
Tr3:ENE46A22, Cargabilidad:15.559
Tr3:PSO40T19W, Cargabilidad:25.905
Tr3:PSO40T21W, Cargabilidad:25.912
Tr3:ENE40T22W, Cargabilidad:31.193
Tr3:MAN40T21W, Cargabilidad:25.945
Tr3:INS40T21W, Cargabilidad:3.286
Revisa cargabilidad de 0, Tr2
    
```

# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec



```

-----
REPORTE FINAL
-----
Combinacion(Alt:Alternative_1,Esc:CB_H)

Potencia en los nodos:
Nodo:AZA30,Pinicial:0.00,Padicional:18.00,Ptotal:18.00
Nodo:ENE30,Pinicial:0.00,Padicional:12.00,Ptotal:12.00
Nodo:ENE40,Pinicial:0.00,Padicional:50.00,Ptotal:50.00
Nodo:MAN30,Pinicial:0.00,Padicional:18.00,Ptotal:18.00
Nodo:MAN40,Pinicial:0.00,Padicional:249.00,Ptotal:249.00
Nodo:VMA30,Pinicial:0.00,Padicional:1.00,Ptotal:1.00
Revisando regulacion de 6 nodos
Revisando cargabilidad de 16 lineas
Revisando cargabilidad de 7 Tr3
Revisando cargabilidad de 0 Tr2
Revisando corto circuito de 6 nodos

Potencia activa total (incluye Pmin):348.00
Numero de nodos que violan Icc_max:0/6
Numero de nodos con tensión por debajo de limite inferior:0/6
Numero de nodos con tensión por encima de limite supeior:0/6
Numero de lineas que violan carg:0/16
Numero de tr3 que violan carg:0/7
Numero de tr2 que violan carg:0/0
Terminos de la función de adaptación:
Termino 1: Sumatoria(Generación*Factor de atractividad) : 348.00
Termino 2: Sumatoria(DiffRegulacion*FactorReg) : -0.00
Termino 3: Sumatoria(DiffCargabilidad*FactorCarg) : -0.00
Termino 4: Sumatoria(DiffCorto*FactorCorto) : -0.00
Funcion de adaptacion: T1 + T2 + T3 + T4: 348.00
Factible: SI
    
```

```

-----
Combinacion(Alt:Alternative_2,Esc:Alt_T)

Potencia en los nodos:
Nodo:AZA30,Pinicial:0.00,Padicional:0.00,Ptotal:0.00
Nodo:ENE30,Pinicial:0.00,Padicional:0.00,Ptotal:0.00
Nodo:ENE40,Pinicial:0.00,Padicional:45.00,Ptotal:45.00
Nodo:MAN30,Pinicial:0.00,Padicional:25.00,Ptotal:25.00
Nodo:MAN40,Pinicial:0.00,Padicional:329.00,Ptotal:329.00
Nodo:VMA30,Pinicial:0.00,Padicional:5.00,Ptotal:5.00
Revisando regulacion de 6 nodos
Revisando cargabilidad de 14 lineas
Viola Line:ENE40MAN1, Cargabilidad:110.370
Revisando cargabilidad de 7 Tr3
Revisando cargabilidad de 0 Tr2
Revisando corto circuito de 6 nodos

Potencia activa total (incluye Pmin):404.00
Numero de nodos que violan Icc_max:0/6
Numero de nodos con tensión por debajo de limite inferior:0/6
Numero de nodos con tensión por encima de limite supeior:0/6
Numero de lineas que violan carg:1/14
Numero de tr3 que violan carg:0/7
Numero de tr2 que violan carg:0/0
Terminos de la función de adaptación:
Termino 1: Sumatoria(Generación*Factor de atractividad) : 404.00
Termino 2: Sumatoria(DiffRegulacion*FactorReg) : -0.00
Termino 3: Sumatoria(DiffCargabilidad*FactorCarg) : -1.04
Termino 4: Sumatoria(DiffCorto*FactorCorto) : -0.00
Funcion de adaptacion: T1 + T2 + T3 + T4: 402.96
Factible: NO
    
```

# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

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

**MaxGenCHEC**

E. Planeación | E. Protecciones | Complementos

Max gen bar

Application to compute the maximum generation of the CHEC's system

Parameterization

- Settings
- Alternatives
- Scenarios
- Combinations
- Generation nodes
- Node parameters
- Nodes to monitor
- Nodes - Scenarios
- Elements to monitor
- GA Parameters

Execution

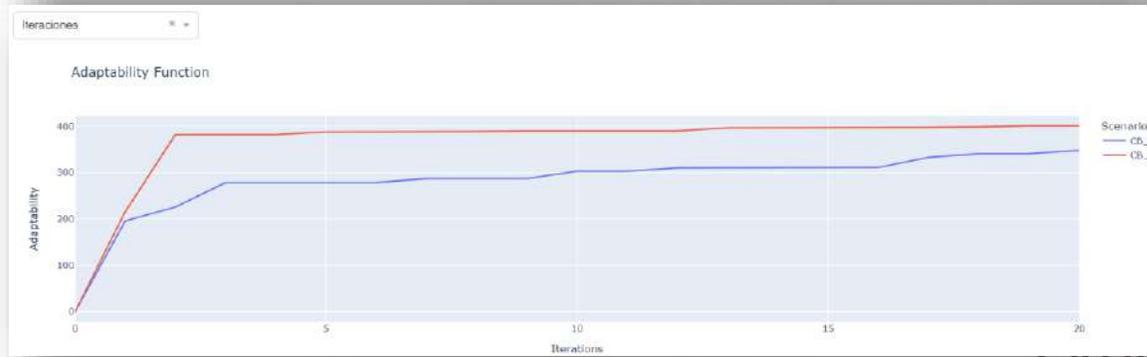
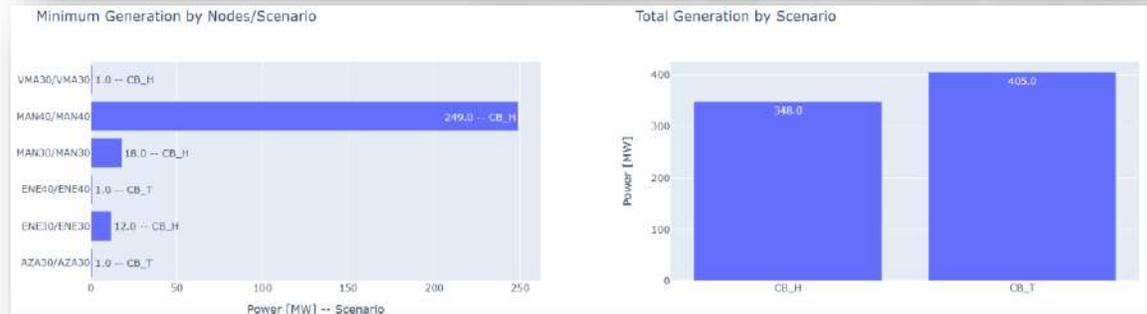
- Diagnostic test
- Execute
- Contingencies

Results

- Results
- Statistics
- Summary

Developed by: ESEP - UTP | Version: 1.0 November 2022

APOE | chec | Grupo epm



# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

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

The screenshot displays the MaxGenCHEC application interface. A summary window is open, showing the following details:

- App MaxGenCHEC Summary
- Results are saved in: C:\Users\agilrest\Desktop\Jornadas Técnicas EPM\Nereidas\reporte\_Study Cases\_Admin BD CHEC\_08.txt
- Graphing options: Select alternative (Alternative\_1), Select contingency (Cont\_0), Map option (Caso Base&CB\_H)
- Buttons: Show graphic, Map
- Developed by: ESEP - UTP, Version: 1.0

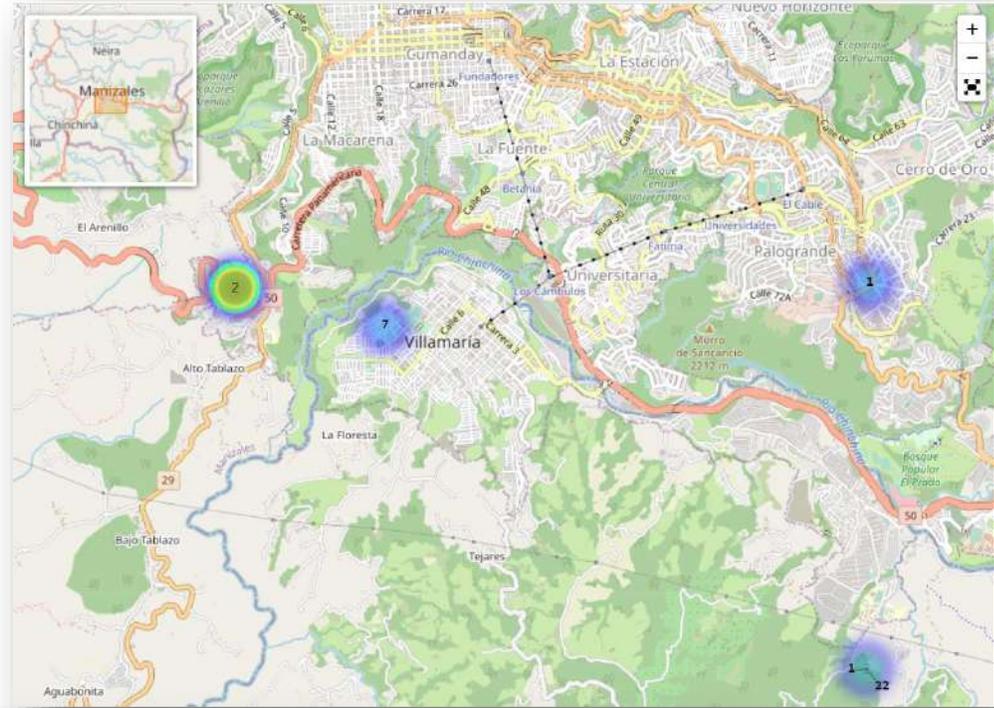
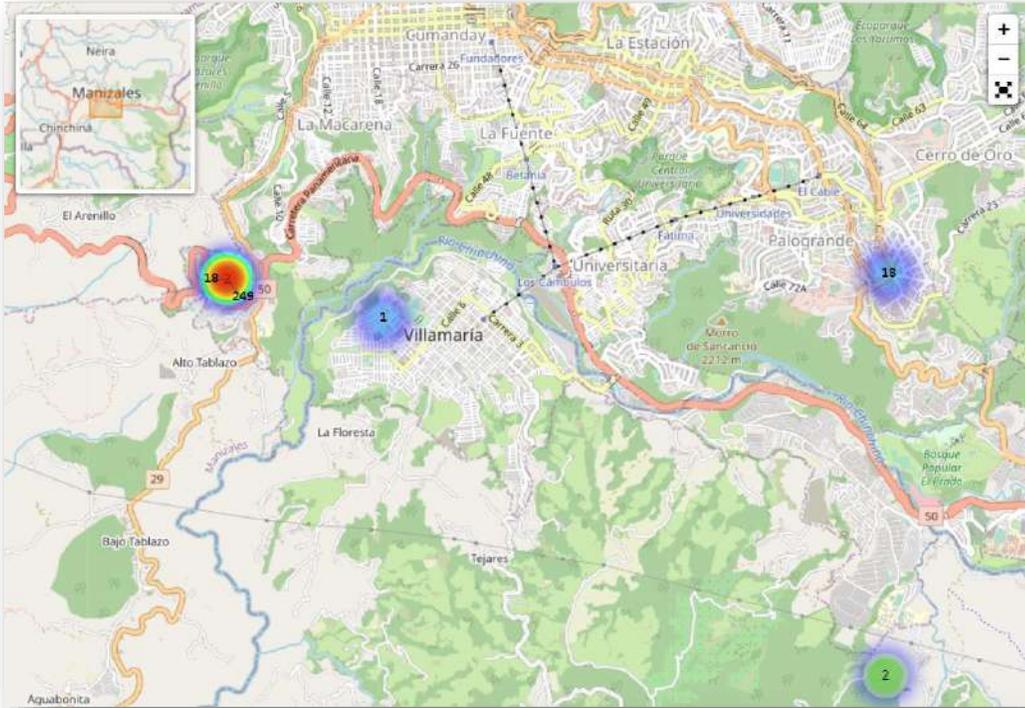
Below the summary window, there are sections for 'Nodes - Scenarios', 'Elements to monitor', 'GA Parameters', 'Execution' (Diagnostic test, Execute, Contingencies), and 'Results' (Results, Statistics, Summary). The background shows a map of a region with a power grid overlay.

A bar chart titled 'Minimum Power per Nodes/Scenarios' is overlaid on the map. The chart shows the minimum power (in MW) for various nodes under different scenarios. The data is as follows:

Node	Scenario	Minimum Power (MW)
VMA30	1.0 MW -- CB_H	~10
MAN40	249.0 MW -- CB_H	249.0
MAN30	18.0 MW -- CB_H	18.0
ENE40	1.0 MW -- CB_T	~10
ENE30	12.0 MW -- CB_H	12.0
AZA30	1.0 MW -- CB_T	~10

# Aplicativo para estimar la máxima capacidad de conexión de generación al SDL y STR del sistema chec

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



Nodal Generation by Scenario



## Conclusiones

- Mediante la implementación del modelo se logró obtener la máxima capacidad de generación por nodo en el SDL N3 y STR del sistema eléctrico operado por CHEC. Esta capacidad se establece cumpliendo los criterios de calidad, seguridad y confiabilidad definidos para este estudio y los límites de capacidad de cortocircuito de los interruptores existentes y la estabilidad de voltaje.
- La integración del modelo a DigSILENT PowerFactory abre la posibilidad de obtener resultados para diferentes sintonizaciones del sistema, es decir, a través del aplicativo se puede ejecutar un modelo del sistema eléctrico actual o futuro, con el propósito de que la herramienta se adapte a la dinamicidad de la red.
- La metodología permite obtener señales tempranas sobre las restricciones que pueden presentarse en el mediano y largo plazo conllevando a una buena toma de decisiones sobre la pertinencia de nuevas obras infraestructura en el sistema.

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

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

# ¡Gracias!

Grupo·epm