

# TERCER CONCURSO UNIVERSITARIO

## Herramienta de Evaluación de Fuentes de Suministro de Energías Renovables para Satisfacer la Demanda de un Distrito Térmico en Barranquilla

Equipo UNAB:

Hernán Darío Pedraza Corzo

Leidy Daniela Gómez Silva

Mario Jonatan Acero Caballero



FACULTAD DE  
INGENIERÍA

VIGILADA MINEDUCACIÓN

1



DISTRITOS TÉRMICOS  
EN COLOMBIA

# AGENDA



## INTRODUCCIÓN



### 1. INTRODUCCIÓN



## METODOLOGÍA



### 2. METODOLOGÍA



## DESARROLLO APLICATIVO



### 3. DESARROLLO APLICATIVO



## CONCLUSIONES



### 4. CONCLUSIONES



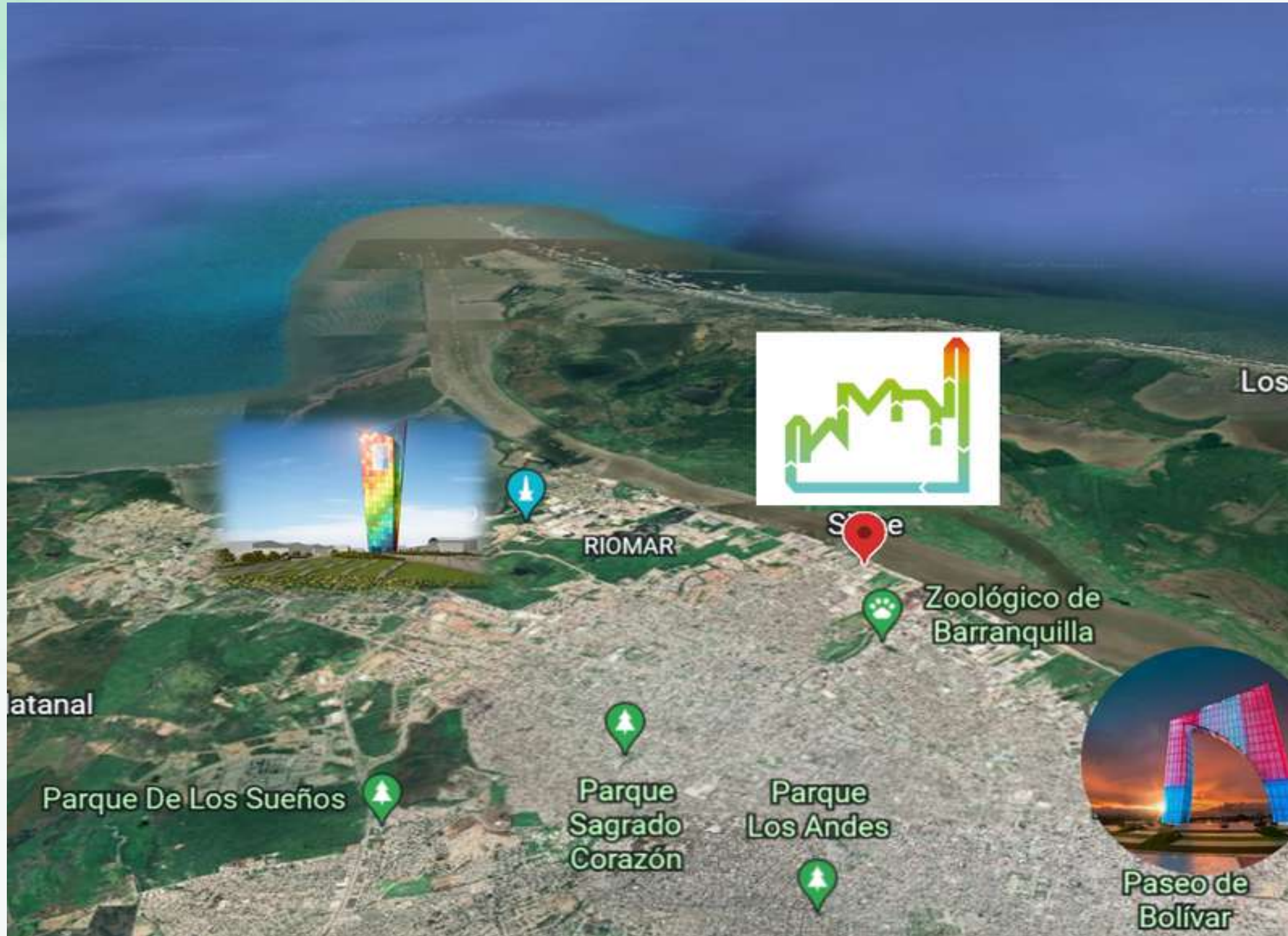


# INTRODUCCIÓN





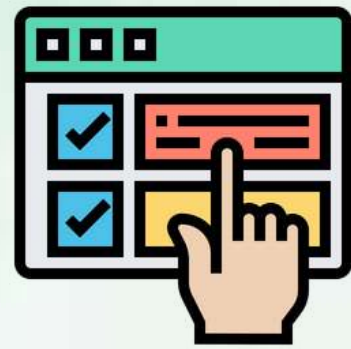
# INTRODUCCIÓN



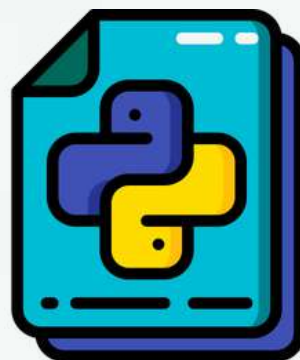


# INTRODUCCIÓN

Interfaz Gráfica



Desarrollada

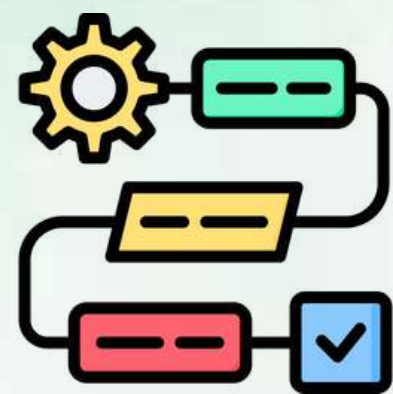


Caso Base



Caso Renovable

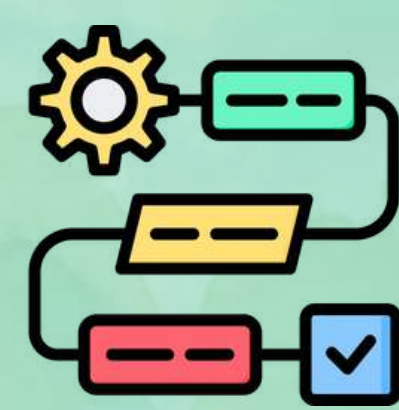




# METODOLOGÍA

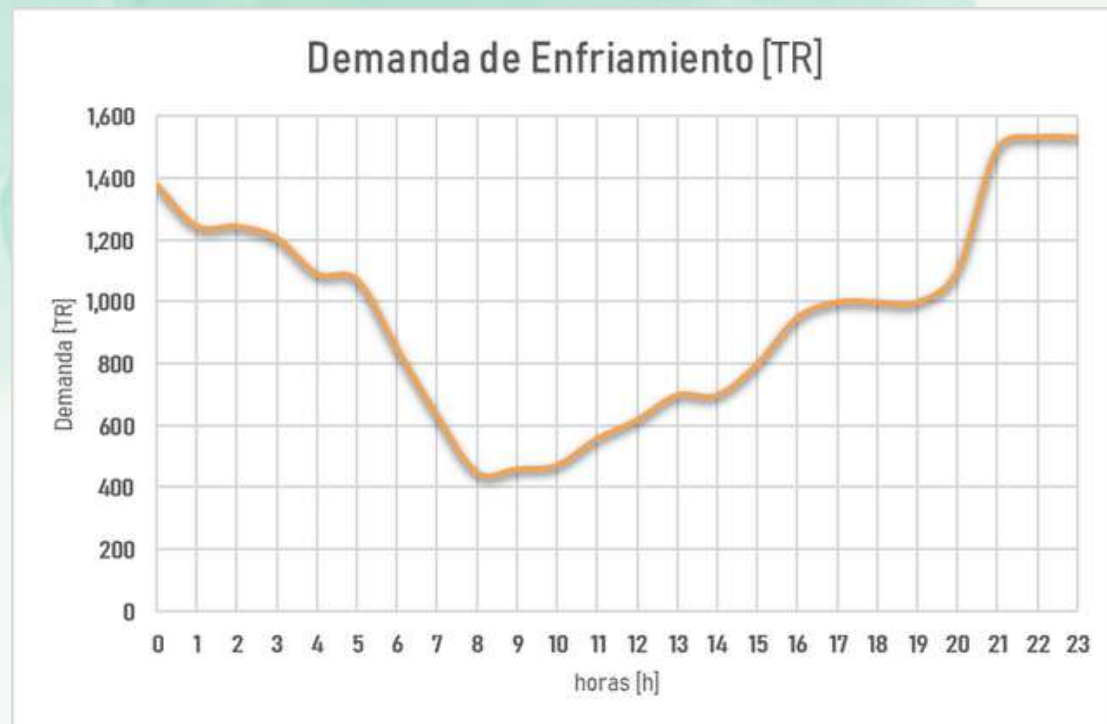


# Metodología



## 2. Evaluación del Caso Base

### 1. Curva de Demanda



Debido a diferentes factores:

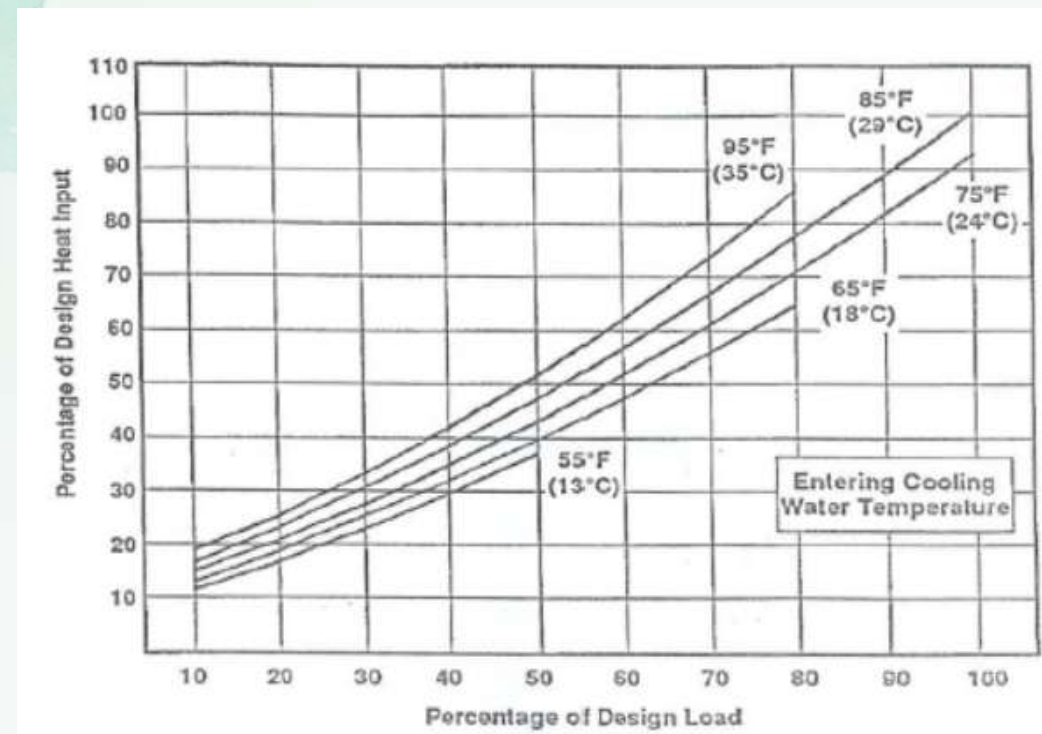
- Día laboral o festivo
- Condiciones Climatológicas:  
radiación, precipitaciones,  
humedad relativa

CASO BASE	
Capacidad Distrito	1704 [TR]
Generación de Frio	2 Chiller Eléctricos de compresión de 652 [TR] c/u 1 Chiller de Absorción de 400 [TR]
Autogeneración del Distrito	1 Turbina de Gas Natural (GN) con capacidad 880 kW a condiciones reales de operación
Chiller de Compresión	Consumo de energía: Turbina GN o Energía Red Eléctrica
Chiller de Absorción	Funciona con los gases de escape de la turbina GN



# Metodología

## 3. Chiller de Absorción



El chiller de absorción entrega en una relación lineal 1:1 la carga de refrigeración a partir de la carga de trabajo de la turbina

Nota: En condiciones de NO operación del chiller de absorción, la potencia máxima de electricidad es posible suplirla con un sistema de autogeneración de 1.500 kW

## 4. Chiller de Compresión

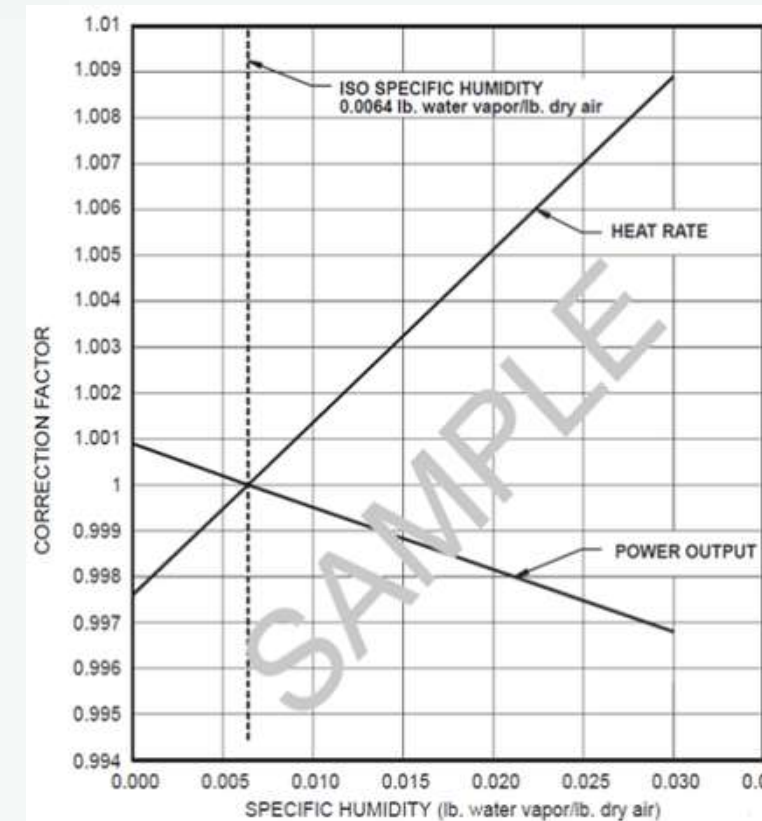
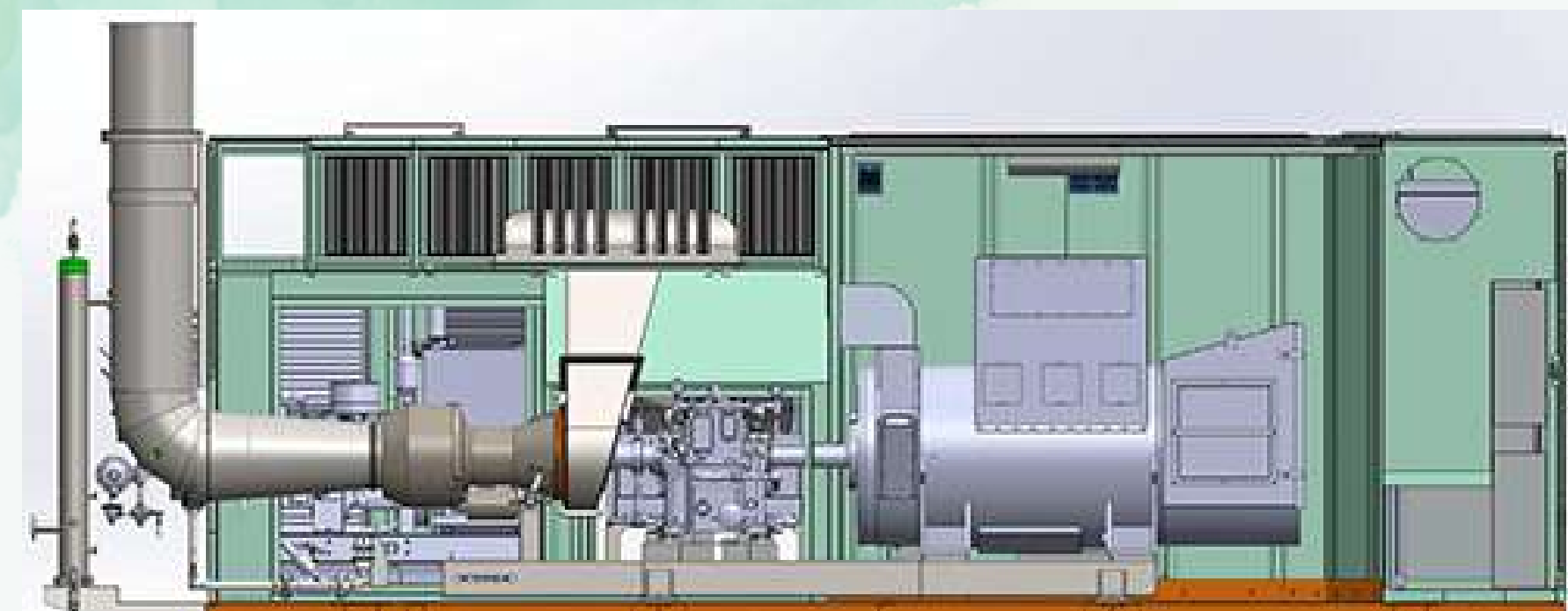


2 chillers centrífugos de compresión con indicador de consumo de 0.85 [kWe/TR]



# Metodología

## 5. Microturbina de Gas Natural



La herramienta implementa factores de corrección para el **HEAT RATE**, en función de: presión atmosférica, la temperatura ambiente, la humedad relativa y el factor de carga de la turbina.



# Metodología

## 6. Parámetros de Cálculo

- Precio de Gas Natural: 0.3 [USD/m<sup>3</sup>]
- Precio Energía Eléctrica: 0.2 [USD/kWh]
- Precio Energía Solar: 0.0691 [USD/kWh]
- Precio Energía Eólica: 0.1 [USD/kWh]
- Precio Energía Planta Incineración: 0.1935 [USD/kWh]

Para el determinar el precio de la energía solar, eólica y planta de incineración, se realiza un análisis financiero para cada sistema, con el fin de encontrar el costo nivelado de energía (LCOE).

Datos del Proyecto Solar		
Tipo de Proyecto	Solar Fotovoltaica	
Capacidad	0.8	MW
Factor de Planta	25.30%	
Eficiencia Equipos auxiliares	80.00%	
Energía Generada	1420	MWh/Año
LCOE	0.0691	USD/kWh
Aumento del precio de energía	5%	Aumento anual
Total de Ingresos primer año	\$ 98,049	USD

Datos del Proyecto Eólico		
Tipo de Proyecto	Eólica	
Capacidad	20	MW
Factor de Planta	32%	
Eficiencia Equipos auxiliares	80.00%	
Energía Generada	44.8512	GWh
LCOE	0.069	USD/kWh
Aumento del precio de energía	5%	Aumento anual
Total de Ingresos primer año	\$ 3,094,788	USD

Datos del Proyecto Planta Incineración		
Tipo de Proyecto	Incineración	
Capacidad	1	MW
Factor de Planta	85%	
Heat Rate	14,000	kJ/kWh
Eficiencia	25.71%	
Energía Generada	7446	MWh
LCOE	0.1935	USD/kWh
Aumento del precio de energía	5%	Aumento anual
Total de Ingresos primer año	\$ 1,441,030	USD

Se determina el LCOE con un VPN=0

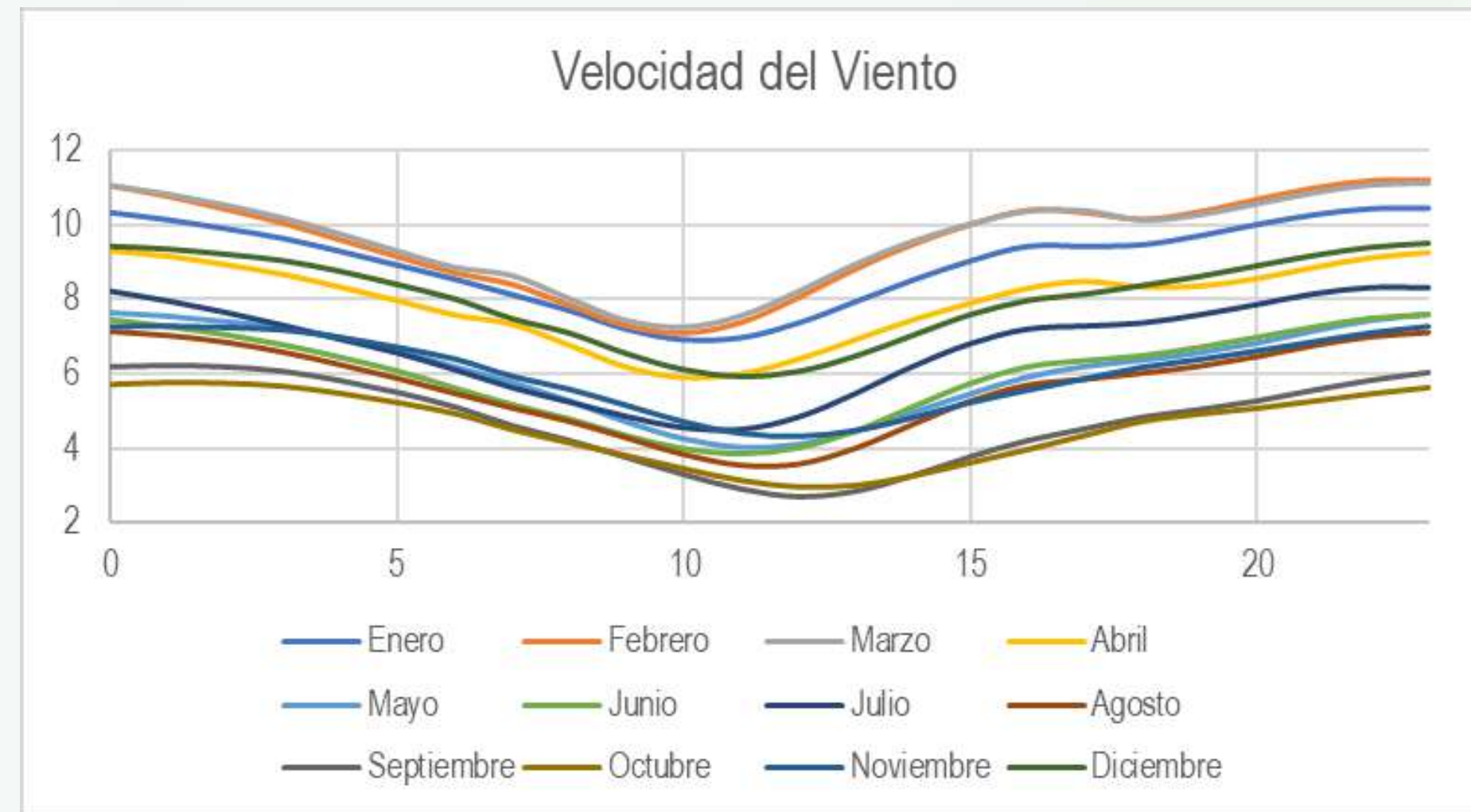
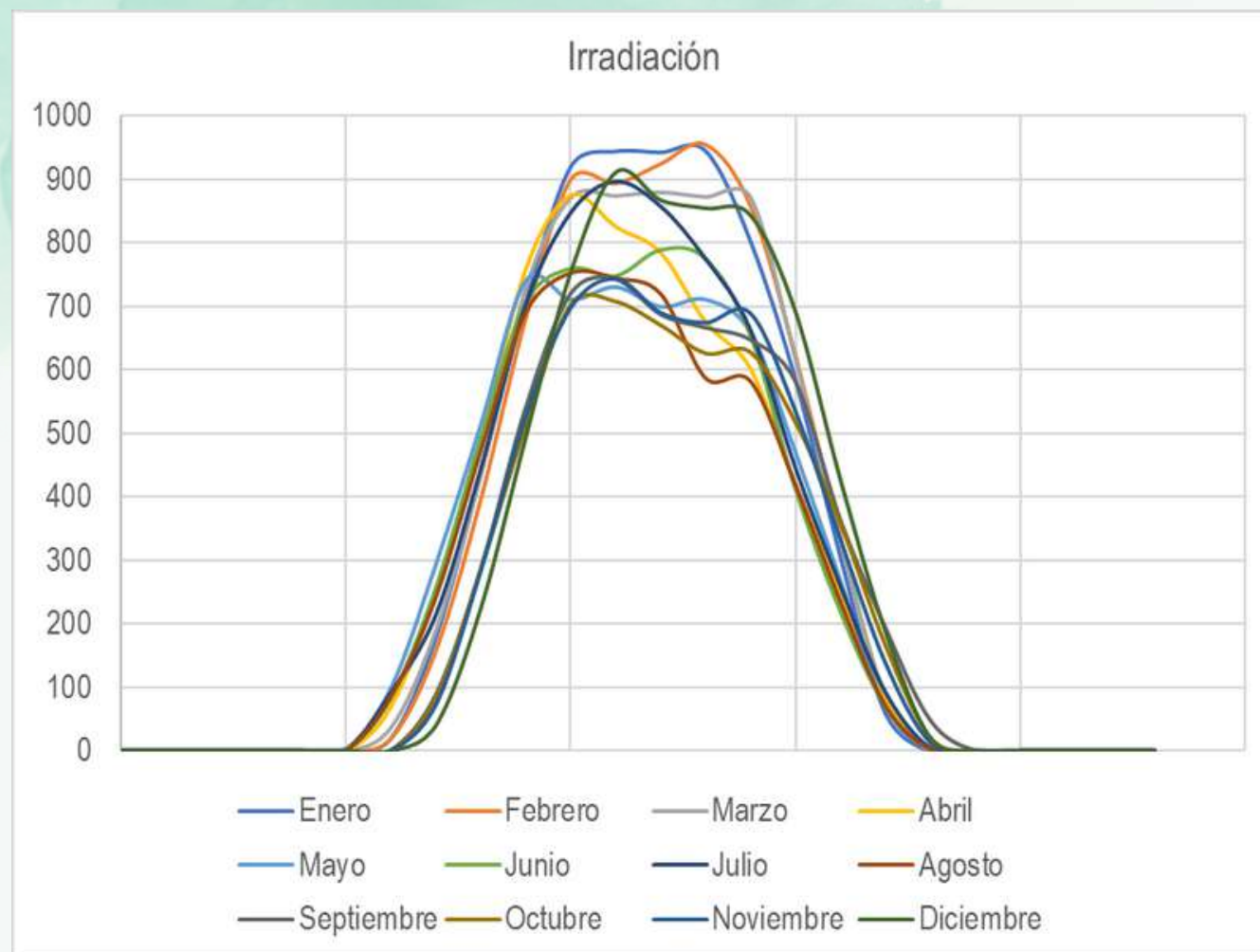


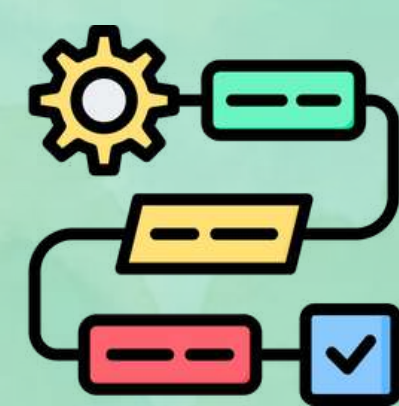


# Metodología



## 7. Evaluación Caso Renovable





# Metodología

## 8. Modelos de Optimización

Implementar el modelo, automáticamente recomienda las fuentes, con un enfoque de gestión de la demanda

$$\text{Min: } C_T[\text{USD}] = C_{GN} + C_E$$

$$C_{GN} [\text{USD}] = 0.3 [\text{USD}/\text{m}^3] * \text{Consumo}_{GN} [\text{m}^3]$$

$$C_E [\text{USD}] = 0.2 [\text{USD}/\text{kWh}] * \text{Red}[\text{kWh}]$$

$$\text{s. a: } \begin{cases} HR = 26990(\%Load_{Turb})^2 - 51116(\%Load_{Turb}) + 43361 \\ Ener_{TermTGN} = 880(\%Load_{Turb})HR \\ Consumo_{GN} = \frac{Ener_{TermTGN}}{PCI_{GN}} \\ Pot_{Red} \geq 0 \\ 0\% \leq \%Load_{Turb} \leq 100\% \\ D_C + D_A - Dem_{frio} = 0 \\ D_A = 400(\%Load_{Turb}) \\ D_C = \frac{880(\%Load_{Turb}) + Pot_{Red}}{0.85} \end{cases}$$

Caso Base

$$\text{Min: } C_T[\text{USD}] = C_{Pho} + C_{WP} + C_{InPlant} + C_E$$

$$C_{Pho} [\text{USD}] = 0.0691 [\text{USD}/\text{kWh}] * E_{Pho} [\text{kWh}]$$

$$C_{WP} [\text{USD}] = 0.1 [\text{USD}/\text{kWh}] * E_{WP} [\text{kWh}]$$

$$C_{InPlant} [\text{USD}] = 0.1935 [\text{USD}/\text{kWh}] * E_{InPlant} [\text{kWh}]$$

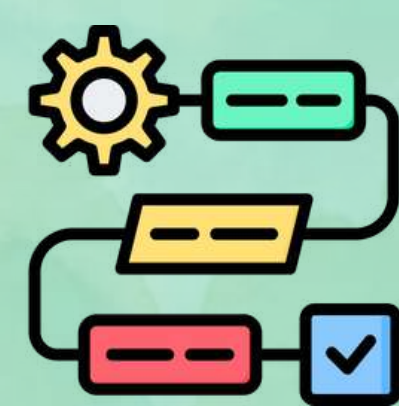
$$C_E [\text{USD}] = 0.2 [\text{USD}/\text{kWh}] * Pot_{Red} [\text{kWh}]$$

$$\text{s. a: } \begin{cases} HR_{InPlant} = 1.30e^6(\%Load_{InPlant})^6 - 5.12e^6(\%Load_{InPlant})^5 + 8.12e^6(\%Load_{InPlant})^4 \\ \quad - 6.62e^6(\%Load_{InPlant})^3 + 2.93e^6(\%Load_{InPlant})^2 \\ \quad - 6.85e^5(\%Load_{InPlant}) + 9.4e^4 \\ Ener_{Term,InPlant} = 1000(\%Load_{InPlant})HR_{InPlant} \\ Consumo_{MWS} = \frac{Ener_{Term,InPlant}}{PCI_{MWS}} \\ Pot_{Red} \geq 0 \\ E_{WP} \leq 500 \\ 0\% \leq \%Load_{InPlant} \leq 100\% \\ D_C + D_A - Dem_{frio} = 0 \\ D_A = 400(\%Load_{InPlant}) \\ D_C = \frac{E_{Pho} + E_{WP} + 1000(\%Load_{InPlant}) + Pot_{Red}}{0.85} \end{cases}$$

Caso Renewable

Para cada Hora



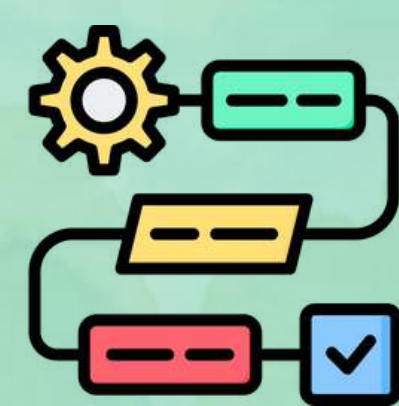


# Metodología

Recapitulando

	Costo	Factor de Emisión
Gas Natural	0.3 [USD/m <sup>3</sup> ]	1.8392 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]
Red Eléctrica	0.2 [USD/kWh]	0.126 [Ton CO <sub>2</sub> /MWh]
Energía Solar	0.691 [USD/kWh]	0.504 [Ton CO <sub>2</sub> /MWh]
Energía Eólica	0.1 [USD/kWh]	0.504 [Ton CO <sub>2</sub> /MWh]
Energía Planta de Incineración	0.1935 [USD/kWh]	1.022 [kg CO <sub>2</sub> / Ton]





# Metodología

Recapitulando

REPÚBLICA DE COLOMBIA

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME

**RESOLUCIÓN No. 000320 de 2022**

05-08-2022

Radicado ORFEO: 20221140003205

**000320 c**

"Por la cual se actualiza el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional del año 2021 para inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI."

**EL DIRECTOR GENERAL DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME**

En ejercicio de sus facultades legales y especialmente las conferidas por el artículo 9 del Decreto 1258 de 2013 y,

**Engineering Journal**

Article

**Comprehensive Analysis of Solid Waste for Energy Projects in Colombia**

Diego Alejandro Orca<sup>1</sup>, Andrés Julián Antizabal<sup>2</sup>, and Daniel Ospina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Bogotá 110231, Colombia  
<sup>2</sup> Engineering Department, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá 110311, Colombia  
<sup>3</sup> Melbourne College of Earth and Energy, The University of Oklahoma, OK 73019, United States  
 E-mail: <sup>1</sup>orca@superpoderos.gov.co, <sup>2</sup>andres@antizabal@utadeo.edu.co (Corresponding author), <sup>3</sup>dospina@ou.edu

**Abstract.** The purpose of this study is to determine the financial feasibility of electricity production projects in Colombia using thermal treatment technologies for Municipal Solid Waste (MSW), by assessing the generation potential, the costs associated with investment, operation and maintenance of infrastructure, and the environmental impacts in terms of CO<sub>2</sub> emissions. The study is developed for three capital cities that reflect different conditions of production and characteristics of the MSW, which are: Bogotá D.C., Cartagena and Manizales. MSW production volumes were determined from information reported by public sanitation service providers, while their lower calorific value was estimated from a predictive model referenced in the literature. The results of the study indicate that the development of these technologies, in the three cities mentioned, would allow to contribute 2.509 GWh/year, corresponding to approximately 3,3% of the electricity demand in Colombia; likewise, they would reduce CO<sub>2</sub> emissions by more than 3 million tons per year, compared to the emissions generated by the final disposal of waste in sanitary landfills. The plant located in the city of Bogotá would have the best financial performance, with an internal rate of return of 7,1%, while the infrastructure located in the cities of Cartagena and Manizales would not have an interesting financial performance, under the assumptions used in the study.

la cual se actualiza el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional del año 2021 para inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI."

Que así mismo, el Decreto 1258 de 2013 señala en su artículo 4 que a la UPME le corresponde, entre otras, realizar diagnósticos y estudios que permitan la formulación de planes y programas orientados a fortalecer la competitividad económica y la sociedad en un marco de desarrollo sostenible, en los planes, programas y proyectos, relacionados con la generación de energía en todos los campos de la actividad económica, así como las demás tareas que por su naturaleza le correspondan.

Que en atención con lo dispuesto en el artículo 4 del Decreto 1258 de 2013, corresponde a la Unidad de Planeación Minero Energética de la Entidad Operacional, para sustentar la presente resolución con base en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de conformidad con lo dispuesto en el artículo 17 de la Ley 164 de 1994, la UPME la actualización anual del factor de emisión del SIN. Lo anterior, en consideración a lo establecido en el artículo 4 del Decreto 1258 de 2013, como se dispuso en el artículo 4 del Decreto 1258 de 2013.

Que mediante la Ley 164 de 1994 fue aprobada la Ley sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo es reducir el efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y mitigar los riesgos en el sistema climático.

Que mediante la Ley 629 de 2000 fue aprobada el Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual obliga a las partes a establecer obligaciones cuantificadas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que instó a los demás estados parte a tomar medidas para cumplir con estas obligaciones.

Que de conformidad con el artículo 2º de la Ley 629 de 2000, se establecieron las normas necesarias para el desarrollo de la Energía (URE), a través de las cuales se establecieron los factores de emisión de gases de efecto invernadero.

**Calculo para Gas Natural Guajira**

**Total de emisiones CO2 calculadas (No equivalentes):**

Total de emisiones	1839,2156
Factor de emisión CO2	1839,2156

<b>Poderes caloríficos</b>	
Poder calorífico inferior:	33.4943 MJ/m <sup>3</sup>
Poder calorífico superior:	37.1937 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Volumen de gas quemado</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Gas quemado:	8.4427 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>Factores de emisión</b>	Factor:
Factor de emisión CO2:	54911.3424 KgCO2/TJ
Factor de emisión CO2:	1.8392 KgCO2/m <sup>3</sup> ST
Factor de emisión CO2:	0.0335 KgCO2/m <sup>3</sup> ST

**Leading turbine innovation.**

**GAMESA G114-2.0 MW**

**MÁS ENERGÍA CON MENOS VIENTO**

En su constante compromiso para el desarrollo de soluciones tecnológicas que garanticen la máxima rentabilidad para sus Clientes, Gamesa lanza el nuevo aerogenerador Gamesa G114-2.0 MW.

Con un nuevo rotor de 114 metros y una potencia nominal de 2.0 MW, Gamesa G114-2.0 MW es el nuevo modelo más eficiente de la plataforma Gamesa G96-2.0 MW, una de las más exitosas del mercado con más de 10 años de experiencia, 12 GW de capacidad instalada y niveles de disponibilidad superiores al 98%.

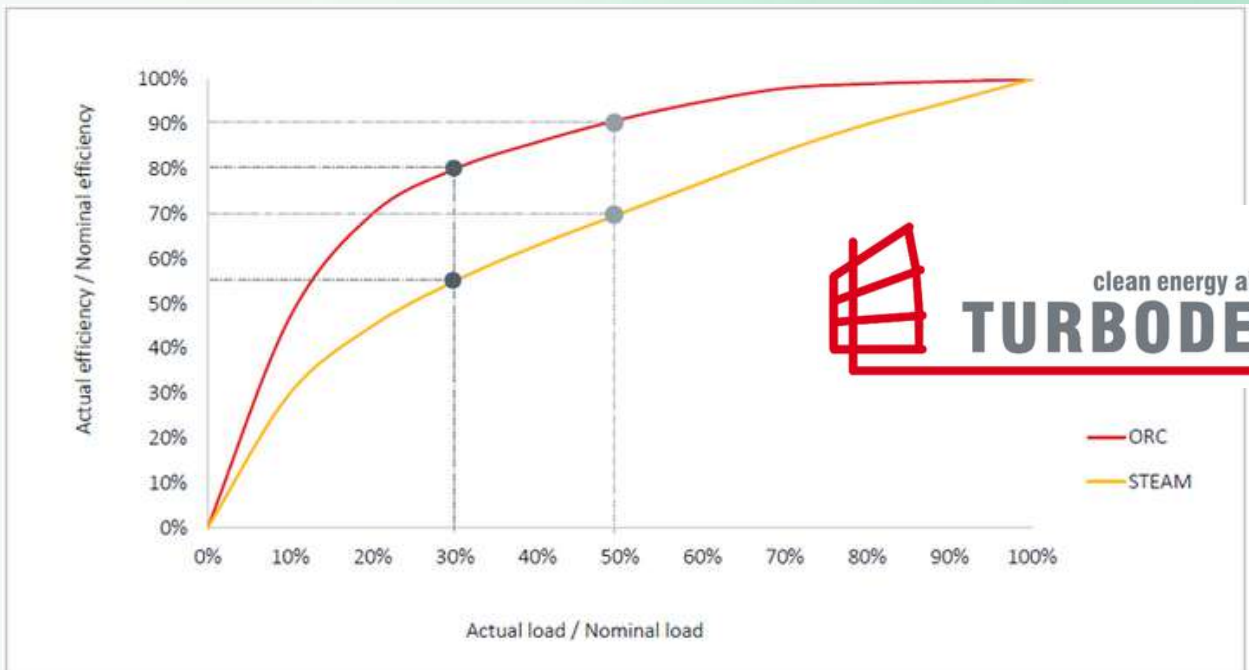
Desde su lanzamiento comercialmente en 2013, este nuevo modelo se ha convertido en una referencia en el mercado por su alta capacidad de potencia, lo que permite obtener la máxima rentabilidad en emplazamientos de vientos bajos.

**MÍNIMA DENSIDAD de potencia**

**MEJORA de CoE**

**MÁXIMA RENTABILIDAD**

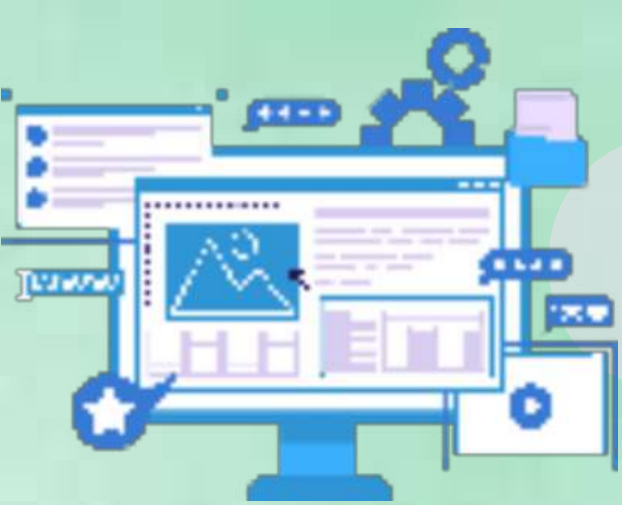
Gamesa





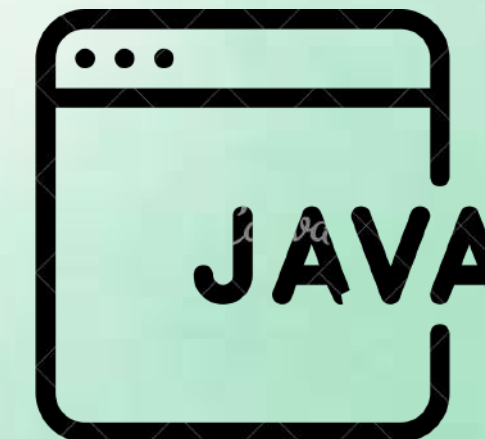
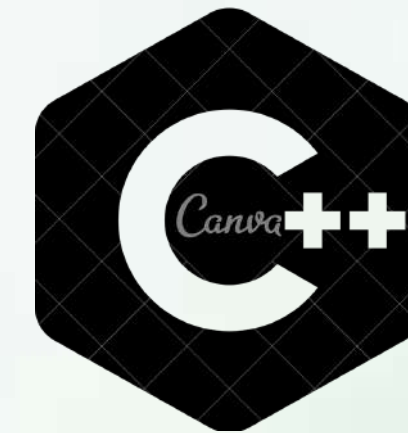
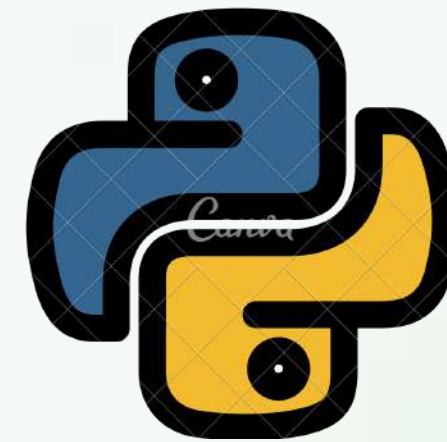
# DESARROLLO APLICATIVO





# DESARROLLO APLICATIVO

SELECCIONAR EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

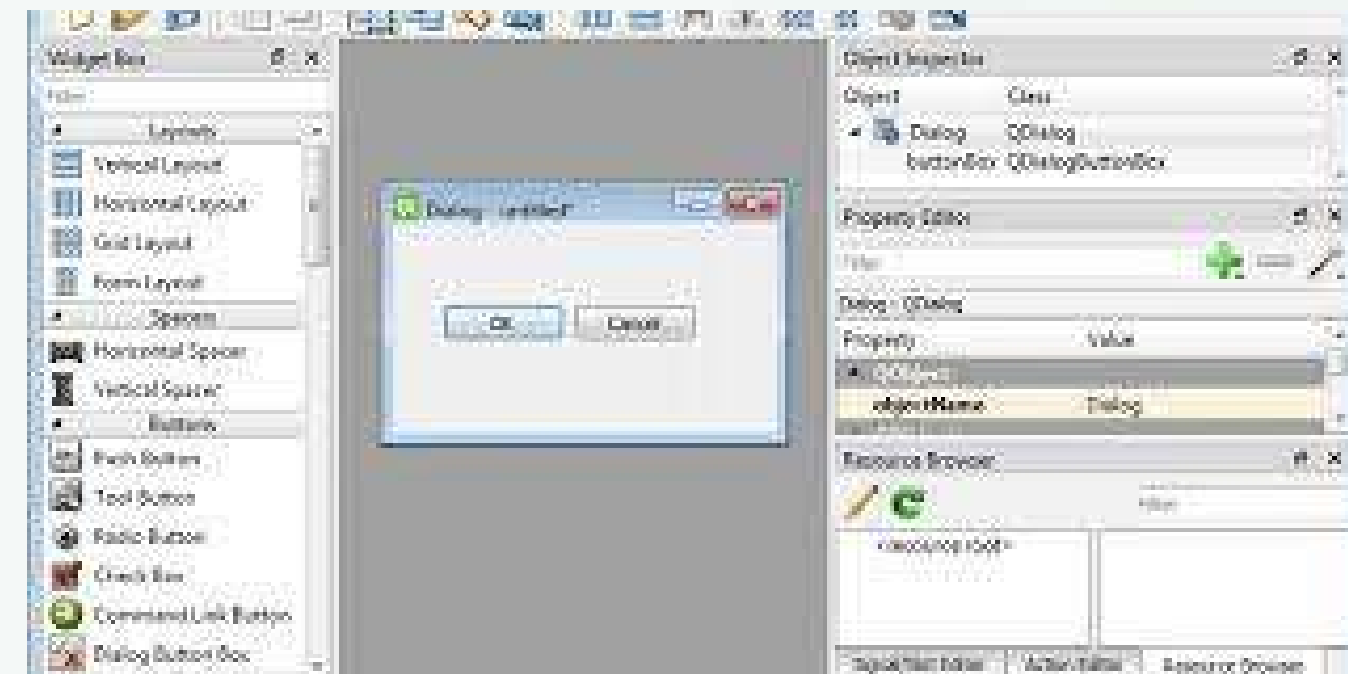




# DESARROLLO APLICATIVO

## DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

tkinter with python



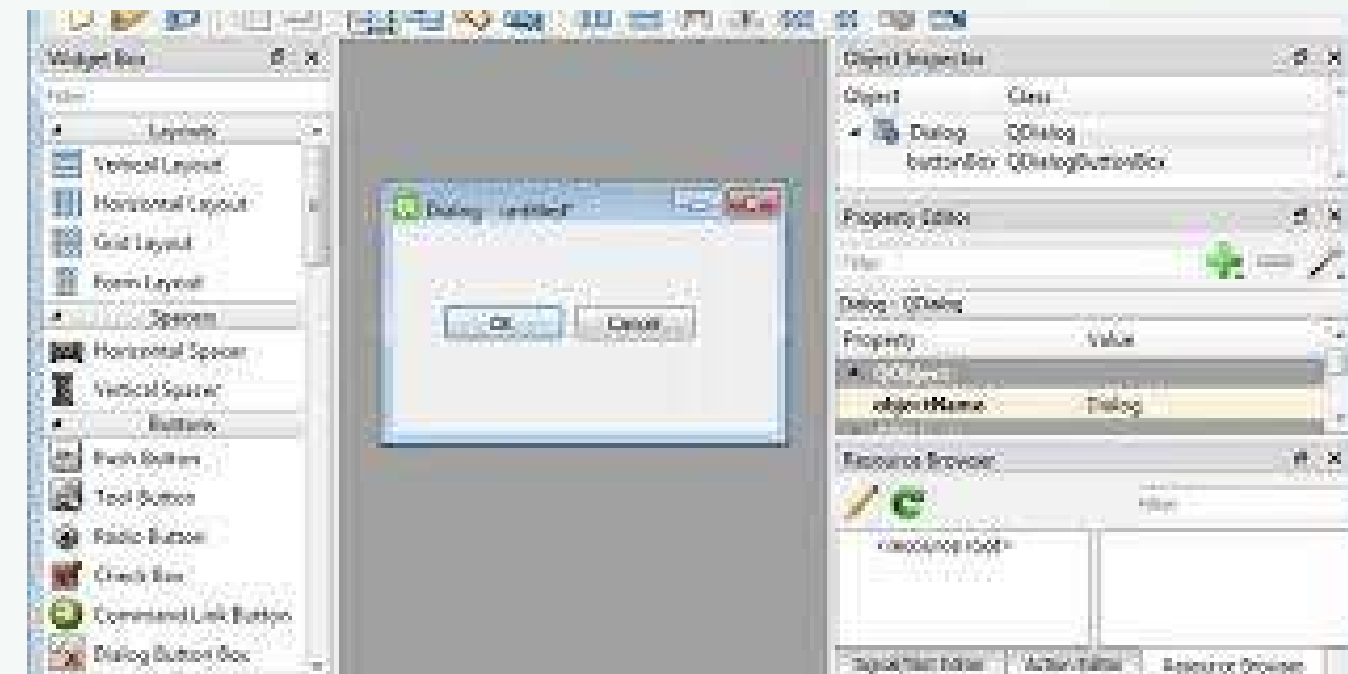
Pyside2 Qt



# DESARROLLO APLICATIVO

## DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

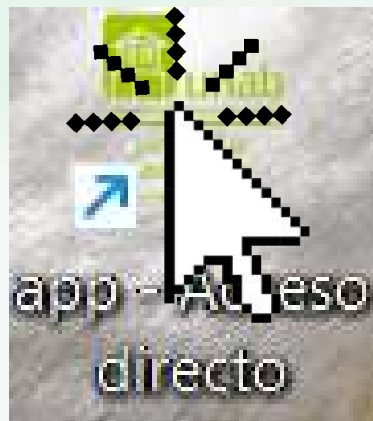
tkinter with python



Pyside2 Qt

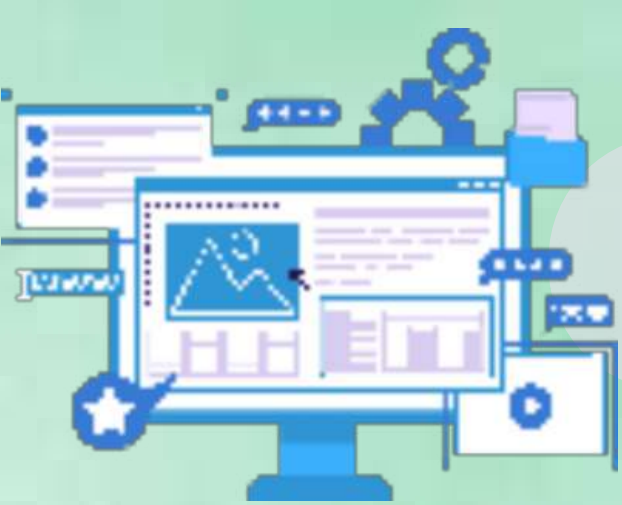


# DESARROLLO APLICATIVO



## EJECUCIÓN DEL APLICATIVO





# DESARROLLO APLICATIVO



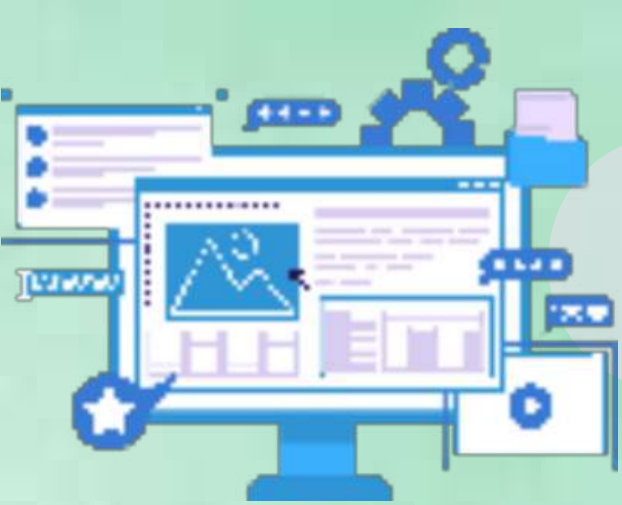
Cargar Datos



Datos Pre-Cargados

SELECCIONAR CON QUE DATOS SE VA A TRABAJAR LA HERRAMIENTA

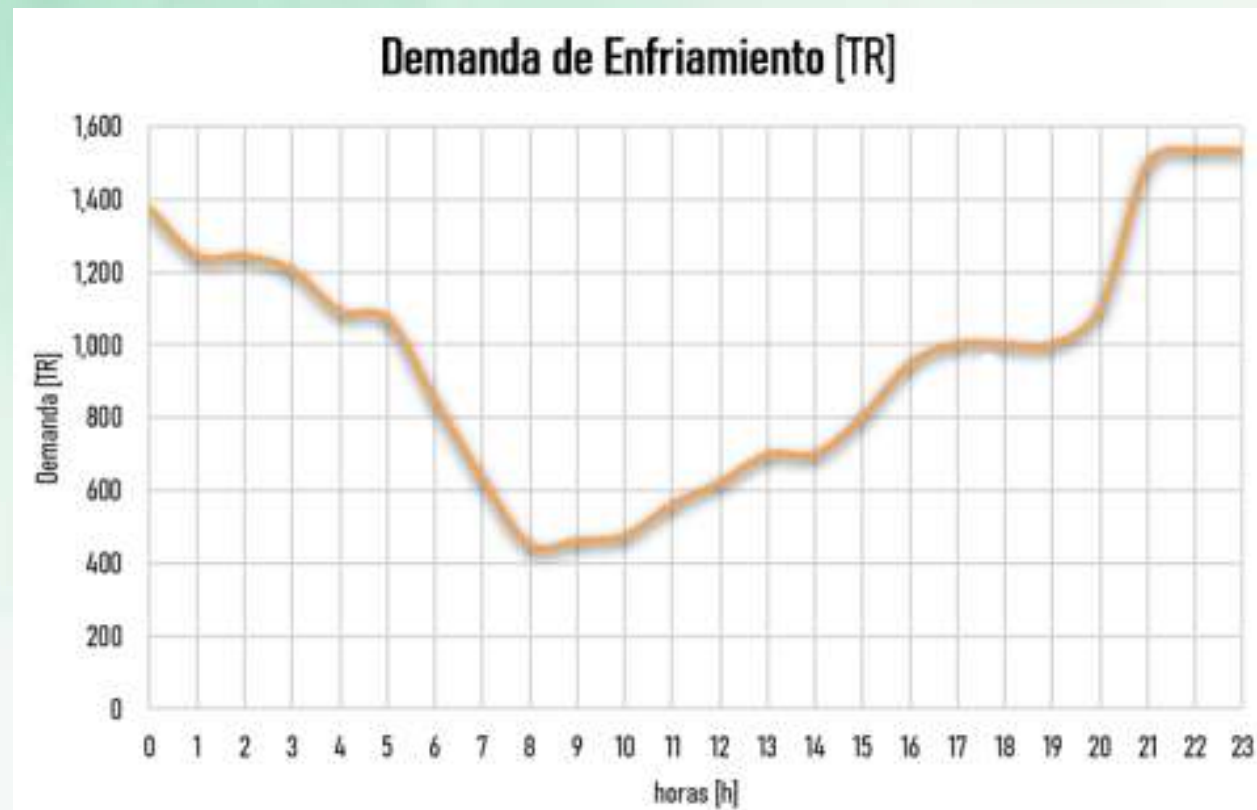




# DESARROLLO APLICATIVO



Cargar Datos



Limites de datos de demanda  
0- 1704[TR]

info

Existen diferentes motores de búsqueda para datos meteorológicos y recurso renovables, entre ellos:

- IDEAM
- Meteonorm
- NASA: The POWER Project
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)

OK IDEAM Meteonorm NASA SWERA

Una velocidad de viento mayor a  
30 [m/s] o una radiación mayor a  
1000 [Wh/m<sup>2</sup>]





# DESARROLLO APLICATIVO



Cargar Datos



Datos Pre-Cargados

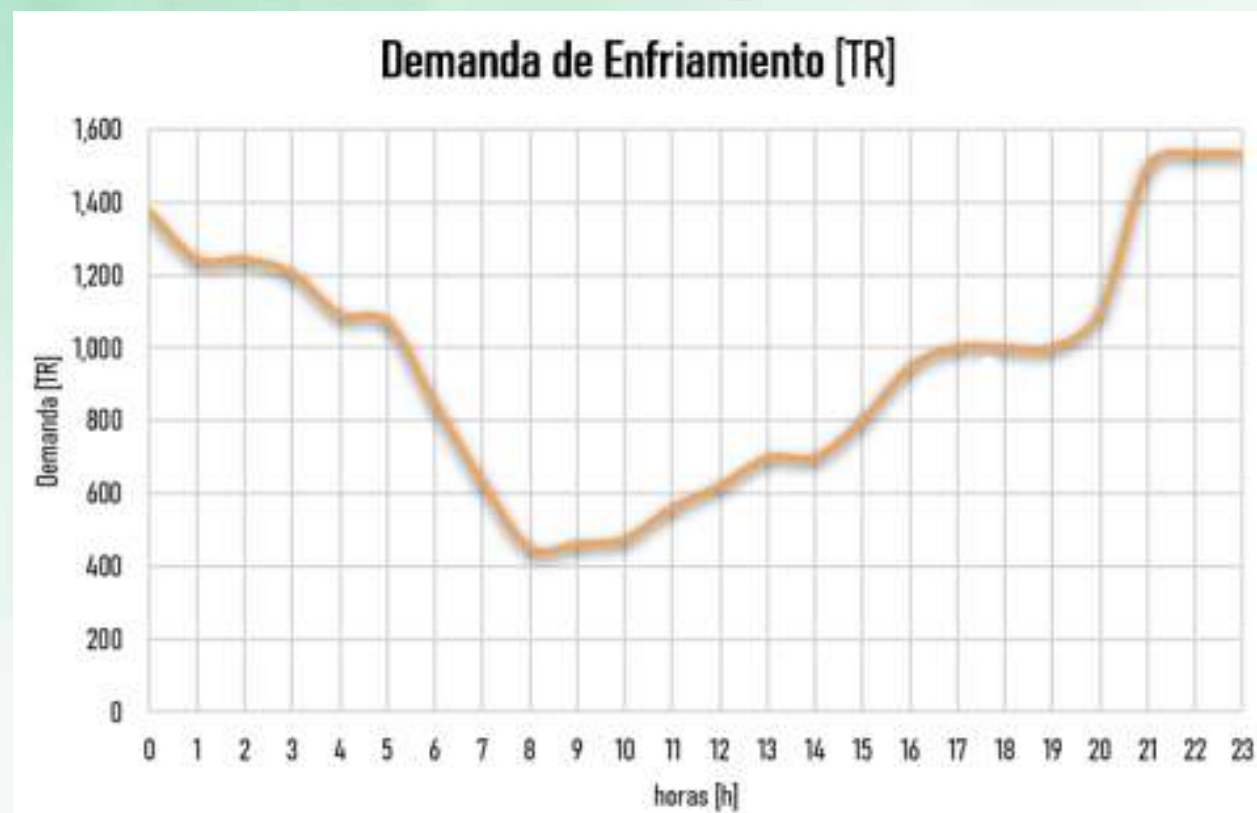
SELECCIONAR CON QUE DATOS SE VA A TRABAJAR LA HERRAMIENTA



# DESARROLLO APLICATIVO



Datos Pre-Cargados



info

Existen diferentes motores de búsqueda para datos meteorológicos y recurso renovables, entre ellos:

- IDEAM
- Meteonorm
- NASA: The POWER Project
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)

OK IDEAM Meteonorm NASA SWERA

Se utiliza una curva de demanda típica y los recursos renovables provienen de bases de datos: IDEAM para la radiación solar y NASA para el recurso eólico.





# DESARROLLO APLICATIVO



Diario



Annual

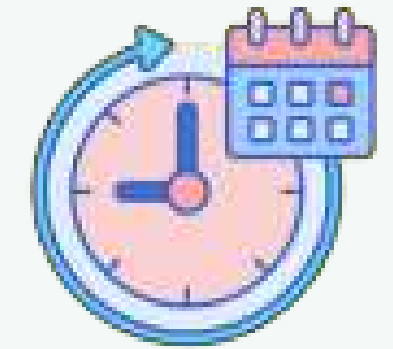
SELECCIONAR EL TIEMPO QUE VA TRABAJAR LA HERRAMIENTA



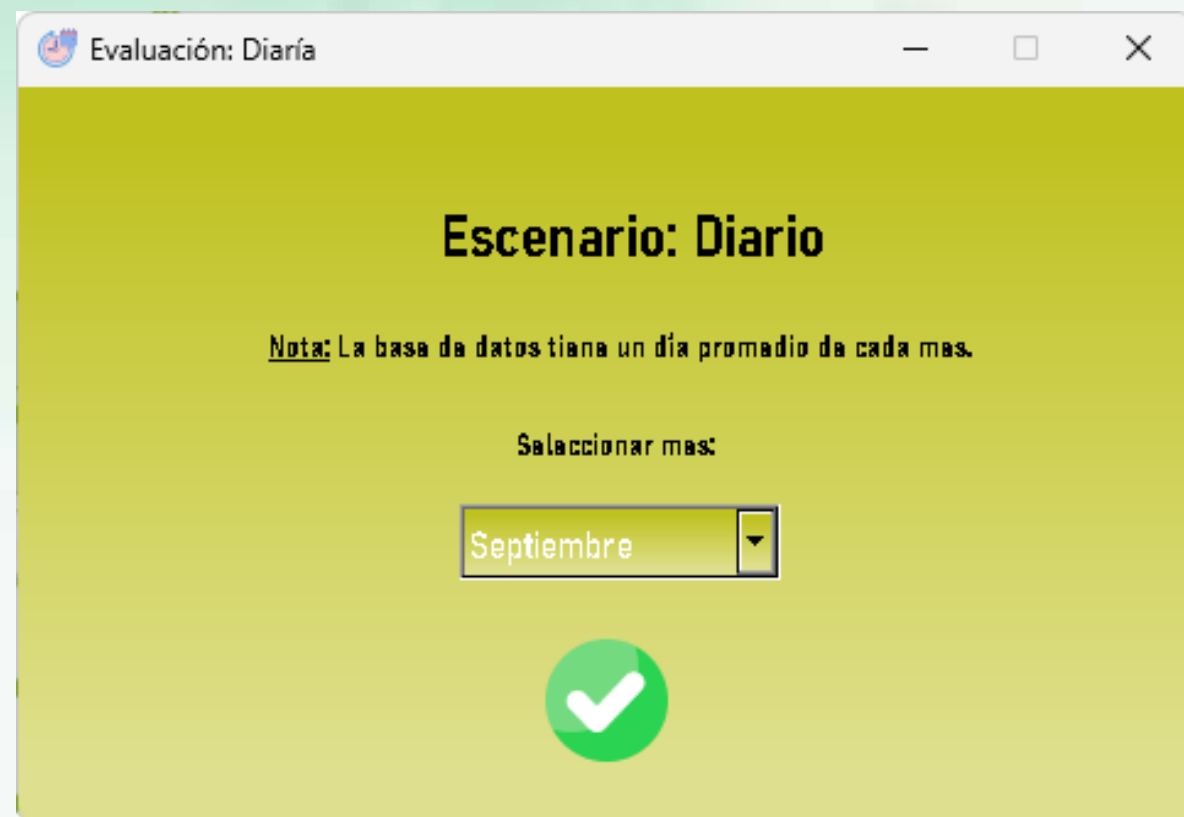
# DESARROLLO APLICATIVO



Annual



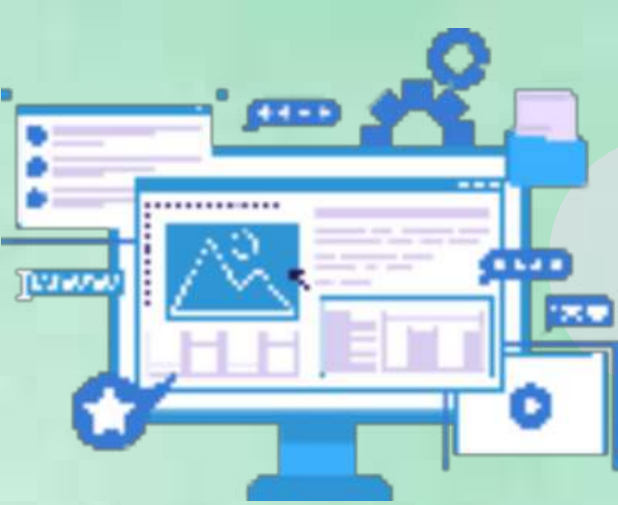
Diario



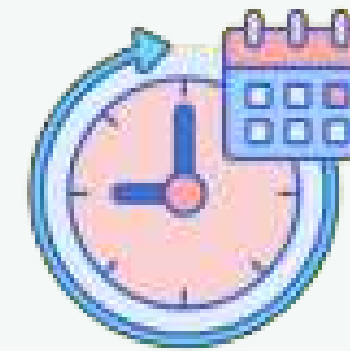
Para la evaluación diaria, se toma la curva de demanda del distrito térmico como demanda diaria promedio, por defecto, esta será la demanda promedio de un día de Enero, por lo cual, la herramienta automáticamente genera 11 curvas de demanda aleatorias  $\pm 5\%$ . Por lo cual debe seleccionar un mes.

ejemplo: se escoge el mes de septiembre, por lo tanto se realizará la evaluación de un día promedio de Septiembre.





# DESARROLLO APLICATIVO




Diario



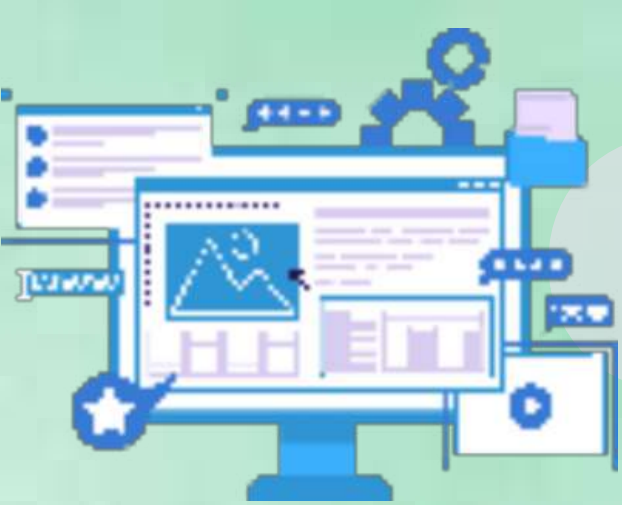
Anual

? Nuevo Mes ×

 Seleccione tipo de parametros para realizar cálculos  
Los parametros pre-cargados son:

- Precio gas natural: 0.3 [USD/m<sup>3</sup>]
- Precio Servicio Energía Eléctrica: 0.2 [USD/kWh]
- Precio Energía Solar: 0.0691 [USD/kWh]
- Precio Energía Eólica: 0.1 [USD/kWh]
- Precio Energía Planta Incineración MSW: 0.1935 [USD/kWh]





# DESARROLLO APLICATIVO



Annual

Va a realizar mantenimiento, si es un sí, en que mes?

Mes Manteni... ? X

Indique el mes donde se va a realizar el mantenimiento

No-Mantenimiento

No-Mantenimiento

Enero

Febrero

Marzo

Abril

Mayo

Junio

Julio

Agosto

Septiembre

Que sistema/s estará/n en mantenimiento?

Agregar Nuevo Si... ? X

Seleccione Nuevo Sistema de Generación en Mantenimiento

Parque Solar FV

Parque Solar FV

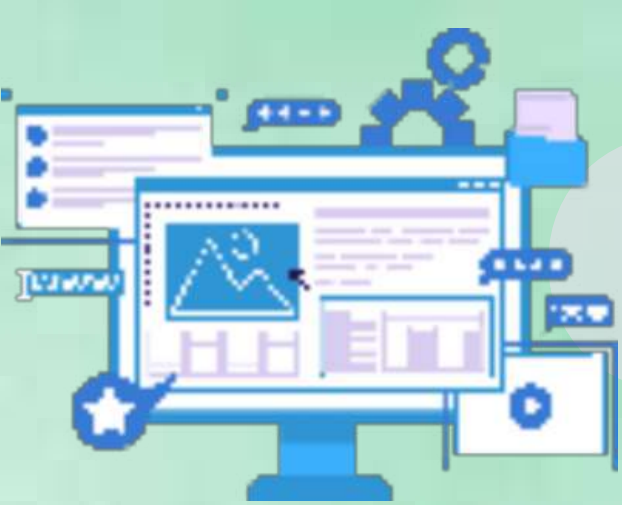
Parque Eólico

Planta de Incineración MSW

Hora de inicio y fin de mantenimiento

Agregar un nuevo mes

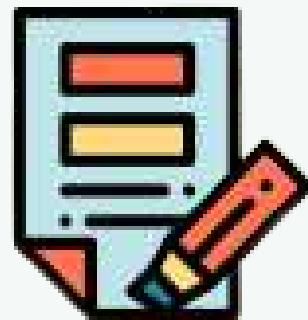




# DESARROLLO APLICATIVO



Caso Base



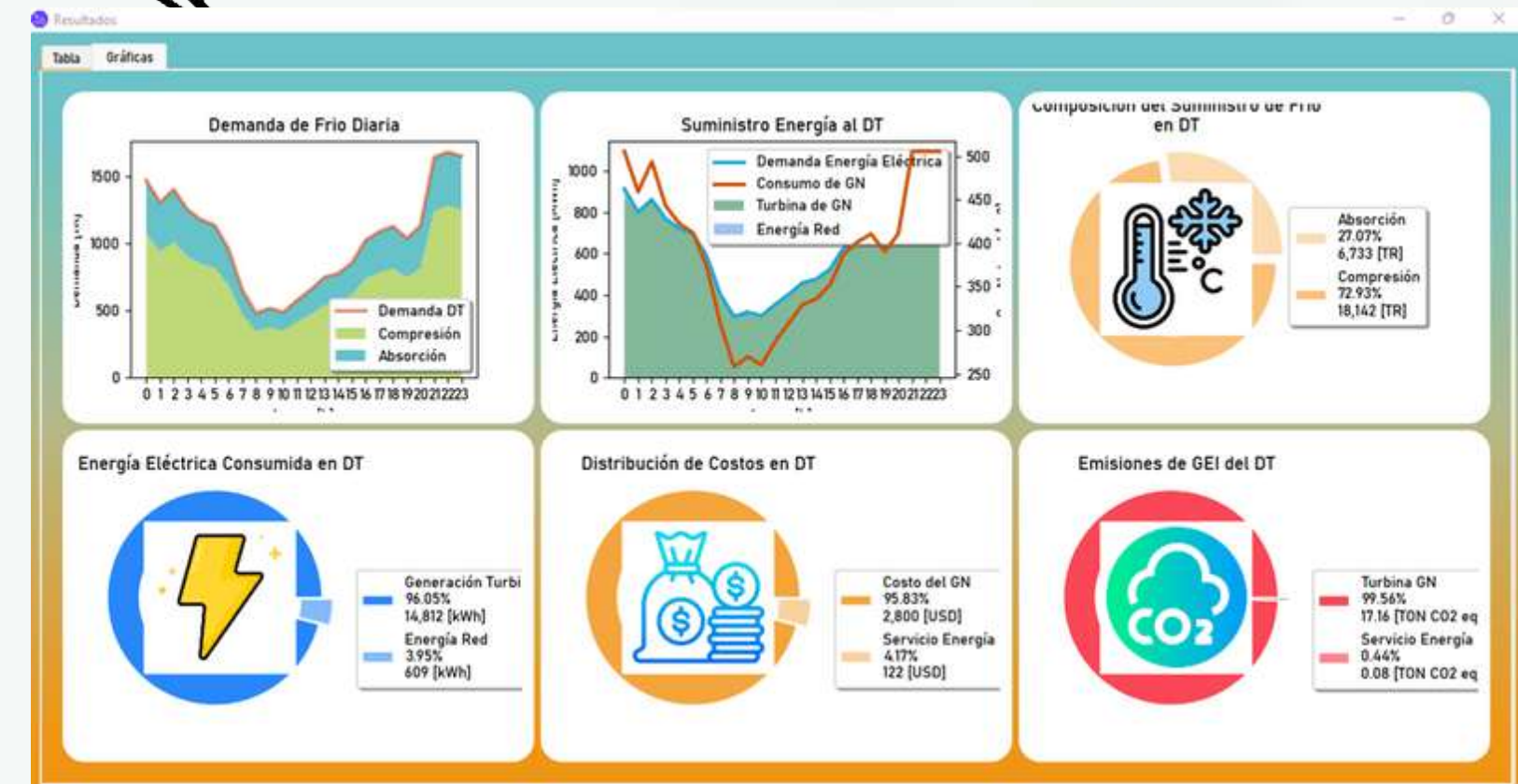
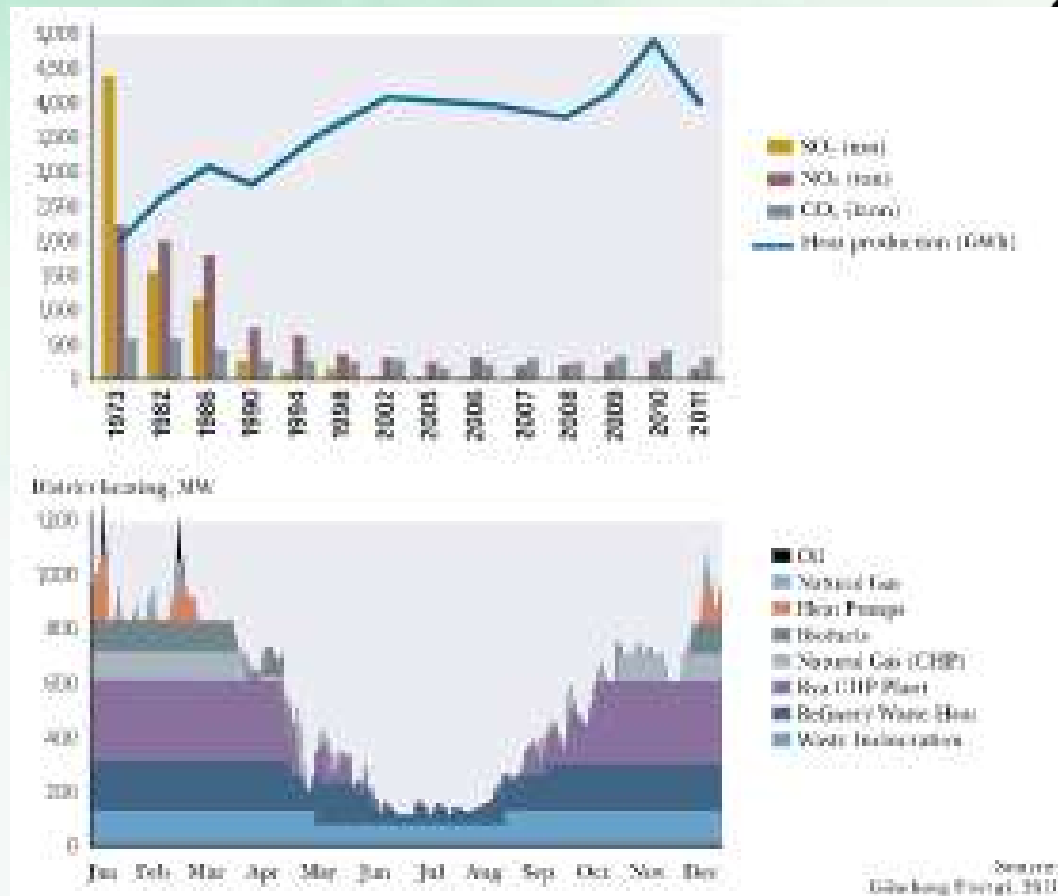
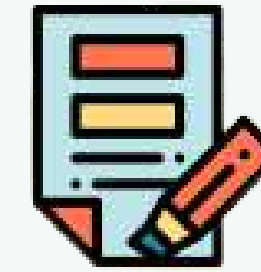
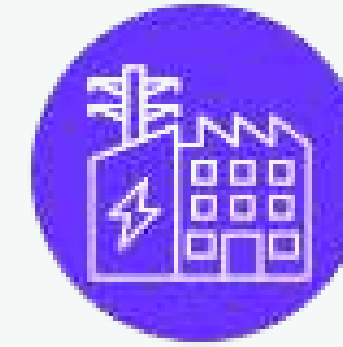
Resumen



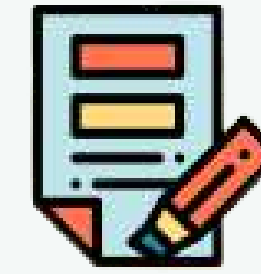
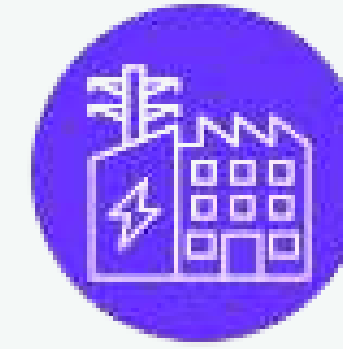
Caso Renovable



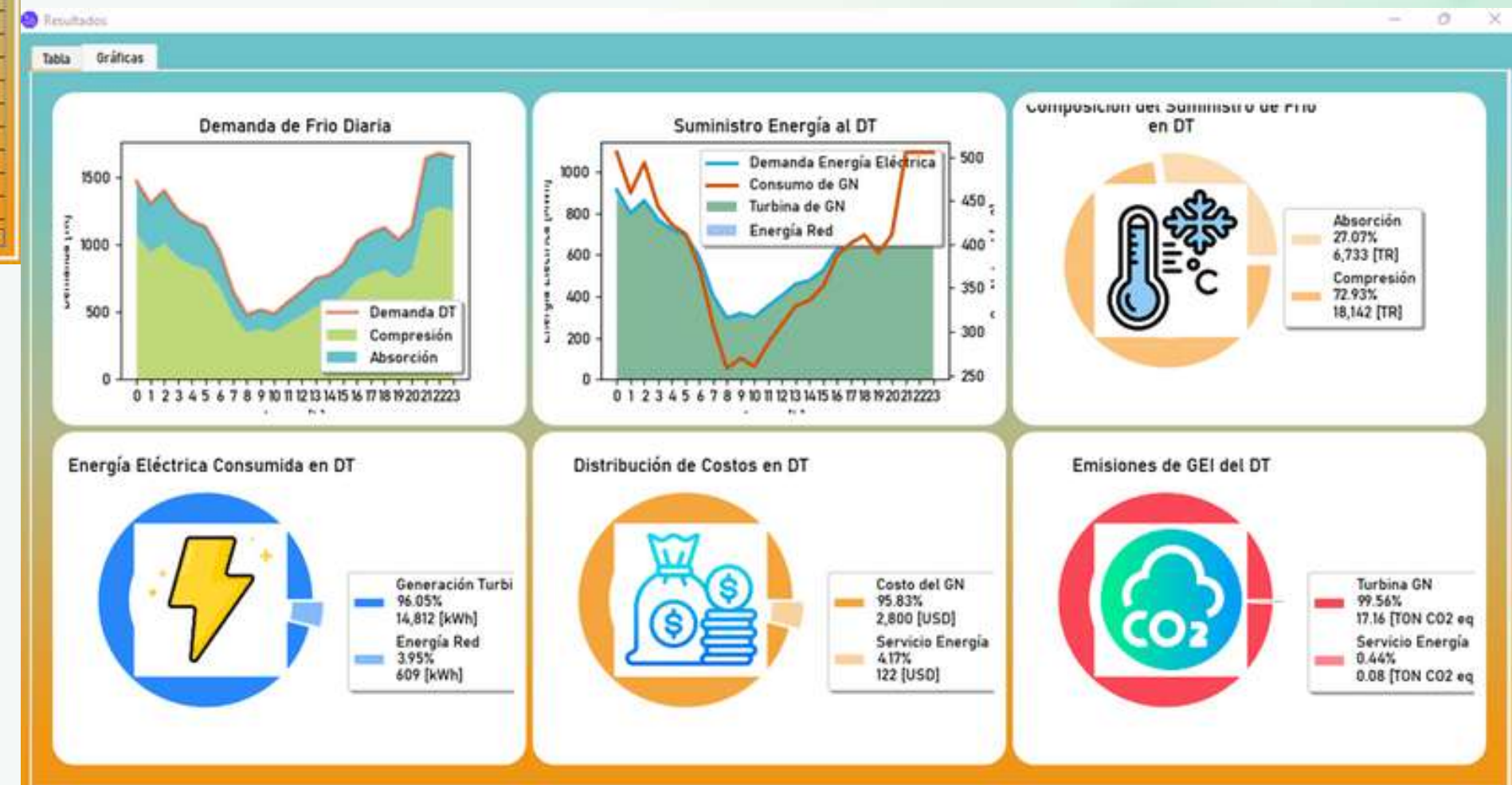
# DESARROLLO APLICATIVO



# DESARROLLO APLICATIVO

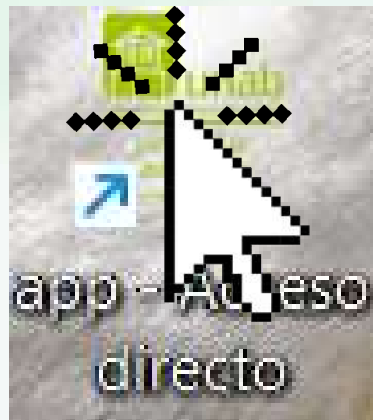


Hora	Demanda Total [TR]	Generación Turbina GN [MW <sub>e</sub> ]	Energía Red [MW <sub>e</sub> ]	Suministro Chiller Absorción [TR]	Suministro Chiller Compresión [TR]	Consumo de GN [Mm <sup>3</sup> ]	Costo GN [USD]	Costo Energía Red [USD]
0	1474.46	879.998	33.294	399.999	1074.461	505.362	151.609	6.659
1	1306.2	800.85	0.0	364.023	942.177	458.971	137.691	0.0
2	1405.72	861.867	0.0	391.758	1013.962	493.727	148.118	0.0
3	1254.24	768.993	0.0	349.542	904.698	443.181	132.954	0.0
4	1178.28	722.421	0.0	328.373	849.907	422.474	126.742	0.0
5	1136.32	696.694	0.0	316.679	819.641	412.045	123.614	0.0
6	960.5	568.897	0.0	267.68	692.82	373.46	112.038	0.0
7	654.05	401.007	0.0	182.276	471.774	307.362	92.209	0.0
8	481.5	295.214	0.0	134.188	347.312	257.811	77.343	0.0
9	517.44	317.25	0.0	144.204	373.236	269.386	80.816	0.0
10	488.22	299.333	0.002	136.061	352.159	260.032	78.01	0.0
11	576.8	353.644	0.0	160.747	416.053	286.954	86.086	0.0
12	657.2	402.939	0.0	183.154	474.046	308.144	92.443	0.0
13	749.0	459.223	0.0	208.738	540.262	329.55	98.865	0.0
14	777.0	476.39	0.0	216.541	560.459	335.649	100.695	0.0
15	856.0	524.826	0.0	238.557	617.443	352.174	105.652	0.0
16	1026.0	629.056	0.0	285.934	740.066	387.134	116.14	0.0
17	1090.0	668.295	0.0	303.77	786.23	401.206	120.362	0.0
18	1130.0	692.819	0.0	314.918	815.082	410.528	123.158	0.0
19	1040.0	637.639	0.0	289.836	750.164	390.139	117.042	0.0
20	1133.0	694.659	0.0	315.754	817.246	411.247	123.374	0.0
21	1644.5	879.998	177.828	399.999	1244.501	505.362	151.609	35.566
22	1685.2	879.998	212.423	399.999	1285.201	505.362	151.609	42.485
23	1653.48	879.998	185.461	399.999	1253.481	505.362	151.609	37.092
Total	24875.11	14812.008	609.008	6732.729	18142.381	9332.622	2799.788	121.802





# DESARROLLO APLICATIVO



## EJECUCIÓN DEL APLICATIVO





# CONCLUSIONES





# Conclusiones

- Se desarrolló una **herramienta** que permite realizar la **evaluación** del suministro de energía a un distrito térmico a través de un comparativo entre un caso base de fuentes convencionales de energía y un caso con implementación de **energías renovables**.
- La herramienta desarrollada **evalúa** escenario **hora a hora** para cada uno de los casos, con el fin de determinar el **suministro** de los energéticos según su disponibilidad y costos.
- La herramienta **presenta** al usuario un **comparativo** de **reducción** de costos y **emisiones** a partir de un **modelo de optimización no lineal**.
- El usuario puede **elegir** la disponibilidad de las fuentes de energía eólica y solar para la evaluación del caso renovable a partir de curvas de irradiancia solar y velocidad de viento.
- La **herramienta** tiene predefinidos costos de cada una de las fuentes de energía, pero **permite** al usuario **cambiarlos** según lo requiera.
- La herramienta presenta una **interfaz amigable** y **genera resultados** de forma tabulada y gráfica.
- La herramienta presenta **indicadores económicos y ambientales** de la evaluación del caso base y renovable.





# Recomendaciones

- Utilizar API's para extraer información de base datos sobre recursos renovables
- Enlazar la herramienta con un sistema SCADA de un distrito térmico para desarrollar un sistema de gestión de demanda en tiempo real, mediante análisis predictivo, para mejorar la toma de decisiones mediante indicadores de costos, consumo, ambientales, entre otros.

**MUCHAS GRACIAS!**



The background features a soft, artistic watercolor wash. On the left side, there are darker, more saturated washes of green and blue. These colors gradually fade and become lighter and more transparent as they move towards the right side of the image, creating a sense of depth and movement.

¿Preguntas?