

# Planificación de Diversos Sistemas Energéticos para el Desarrollo Sostenido de los D.T.

***PhD. Iván Rafael Tovar Ospino.***

Grupo Interdisciplinario de Investigación en Energía y Medio Ambiente-GIIMA

**Miembro:** Red Colombiana de Conocimiento en Eficiente Energética.- RECIEE

**Miembro:** Asociación Colombiana de Acondicionamiento de Aire y de la Refrigeración.-

**ACAIRE**

**Miembro:** Alianza para la sostenibilidad energética de los sectores industrial y transporte colombiano mediante el aprovechamiento de los recursos renovables regionales –SENECA

**Octubre 2022**

# ÍNDICE DE LA PRESENTACIÓN

1. Introducción a la planificación integrada de los sistemas energéticos ~~D.T.~~
2. Acciones de la planificación energética.
3. Actividades de la planeación energética de los D.T.
4. Fundamentos para la selección de esquemas energético en los D.T.
5. Estudios de casos.

# 1. INTRODUCCIÓN

## Estadísticas del Sector de la Edificaciones

- El consumo de energía por climatización de espacios se ha más que *triplicado* desde 1990, con implicaciones significativas para las redes eléctricas.
- El espacio de piso construido en edificios en todo el mundo ha aumentado un **65%** desde 2000, alcanzando casi 240 mil millones de m<sup>2</sup> en 2018.
- El 2021 se caracterizó por ser el de los más cálidos en los últimos años.

***“Reducción de la demanda energética de las tecnologías activas”.***

Estándares de Eficiencia (MEPs).

E.E. Edificaciones (Programas de C.)

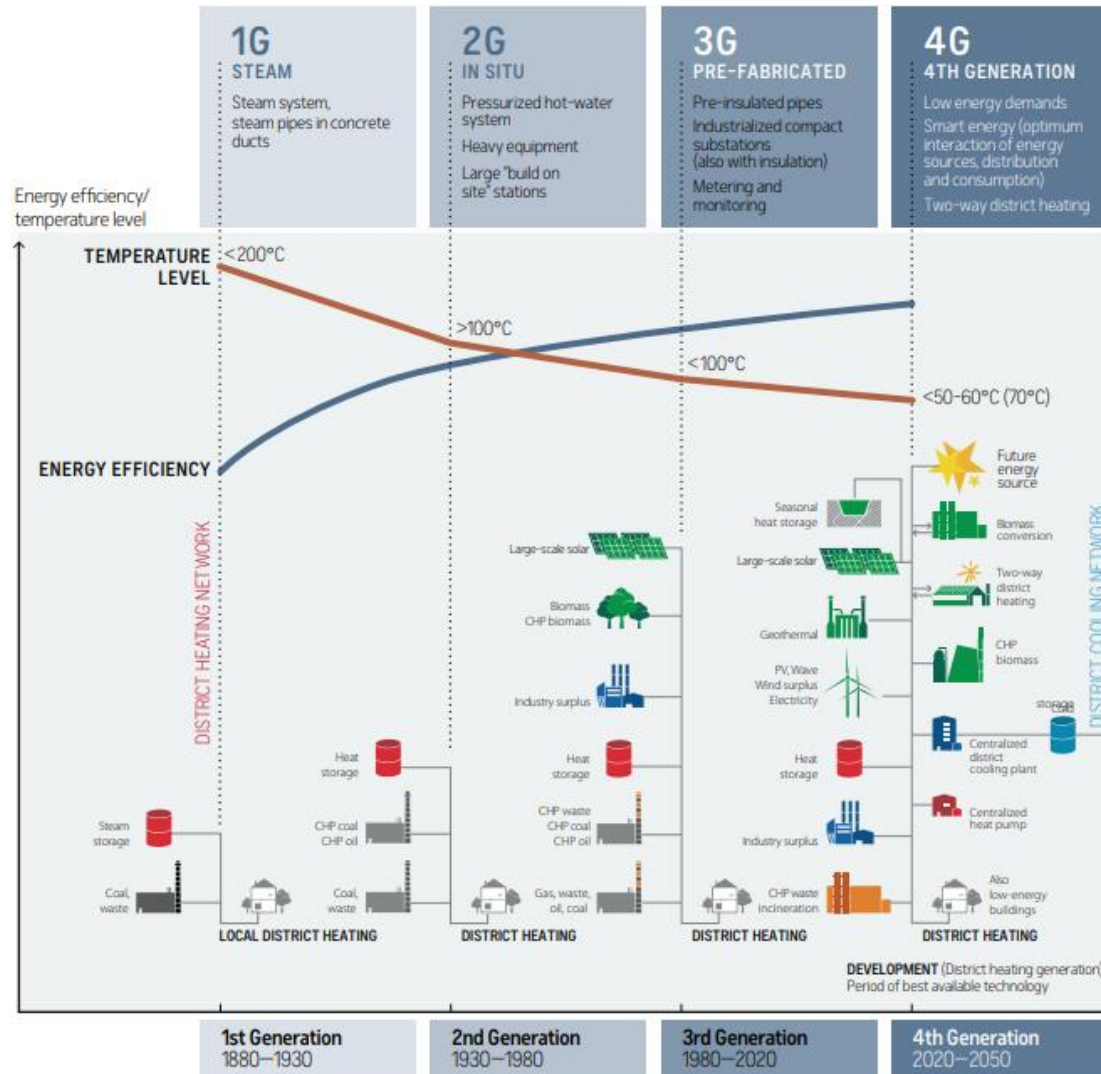
***Distritos Térmicos.***

Para el 2020, los HVAC deben incrementar su EE en un 50% ODS.



Garantía en el suministro, alta eficiencia de los sistemas, reducción de los picos de demandas, bajas emisiones de **CO<sub>2</sub>, GWP, y ODP**.

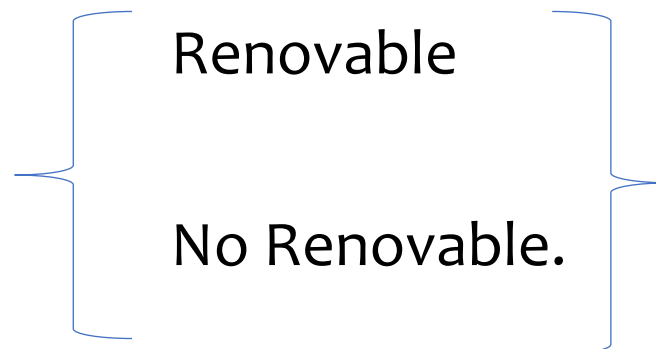
***“DHC: son hoy día una solución a los desafíos tanto energético como ambientales de los grandes centros urbanos en el planeta”.***



**Fuente:** Aalborg University and Danfoss District Energy, 2014

La planificación integrada de los sistemas energéticos en un-D.T (garantizar un suministro confiable y sustentable de energía).

***Fuentes de energía***



***Transición energética:***

**Cambio en los modelos de producción de energía, distribución y consumo para la reducción de los**



- **Análisis energético:** constituye la definición de sistema energético entendido como el estudio de los procesos de producción, transformación, transporte o transmisión, distribución y consumo de energía..
- **Plan energético:** guiar actividades y recursos de un sistema energético, especialmente durante tiempos de ***elevada incertidumbre***.

## 2. Planificación Energética como herramienta de gestión para el desarrollo sostenible.



***“La principales de acción de la planificación energética: garantía y seguridad del suministro, desarrollo coordinado de los mercados de energía, adecuado equilibrio con el medio ambiente. Contribución con la sociedad, especialmente alivio de la pobreza y contribución al desarrollo sostenible del sistema productivo”.***

La identificación y validación de ***indicadores de desempeño energético*** permite identificar los ejes y desafíos que podría enfrentar las estrategias y en consecuencia, la planificación e intervención sobre el sistema.

### **Planificación energética de los D.T.**

Eficiencia energética.

Uso de combustibles renovables y no renovables.

Desarrollos tecnológicos.

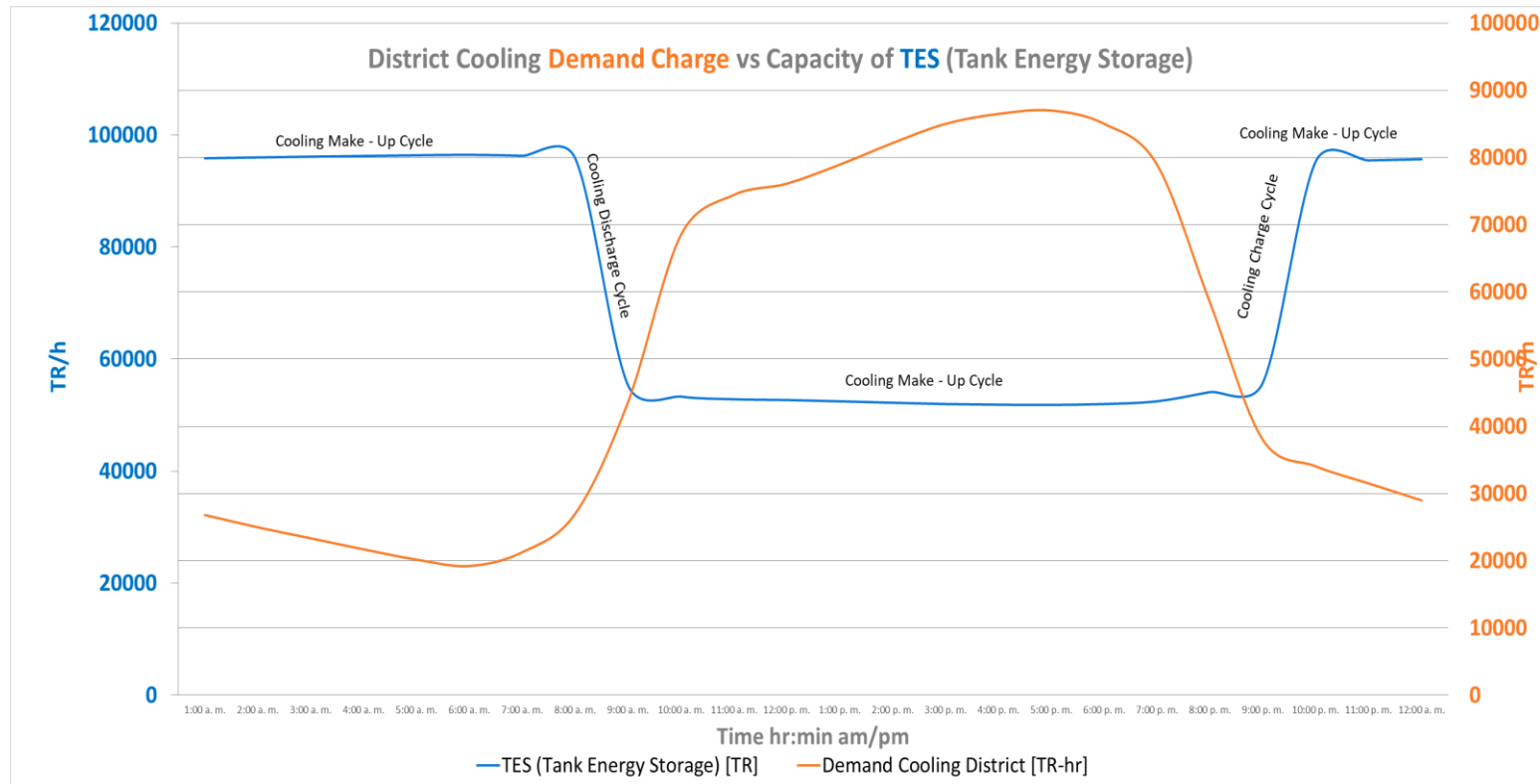
Acceso a la energía.

Garantía de la inversión desarrollada.

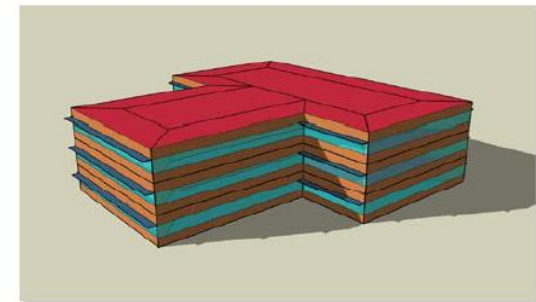
# Actividades para el Desarrollo de los D.T.

- a. **Establecimiento de los requerimientos energéticos y potenciales en sitio (*diagnostico*)**. Determinación de las curvas de demanda a través del uso de herramientas de análisis detallado. Establecimiento de los potenciales renovables en sitio para máximo aprovechamiento.
- b. **Diseño de una agenda energética, donde se identifiquen y prioricen los objetivos a partir de los necesidades identificados en el diagnóstico.**
  - La propuesta de una estrategia para los recursos no renovables y la captura y utilización de la renta que los mismos generan.
  - Fomentar el uso de los energéticos más abundantes y de menor costo.
  - Promover y facilitar el acceso a la energía.
  - Concretar inversiones en infraestructura en las cadenas energéticas.
- c. **Elaboración de escenarios energéticos, a través fundamentos teóricos.**

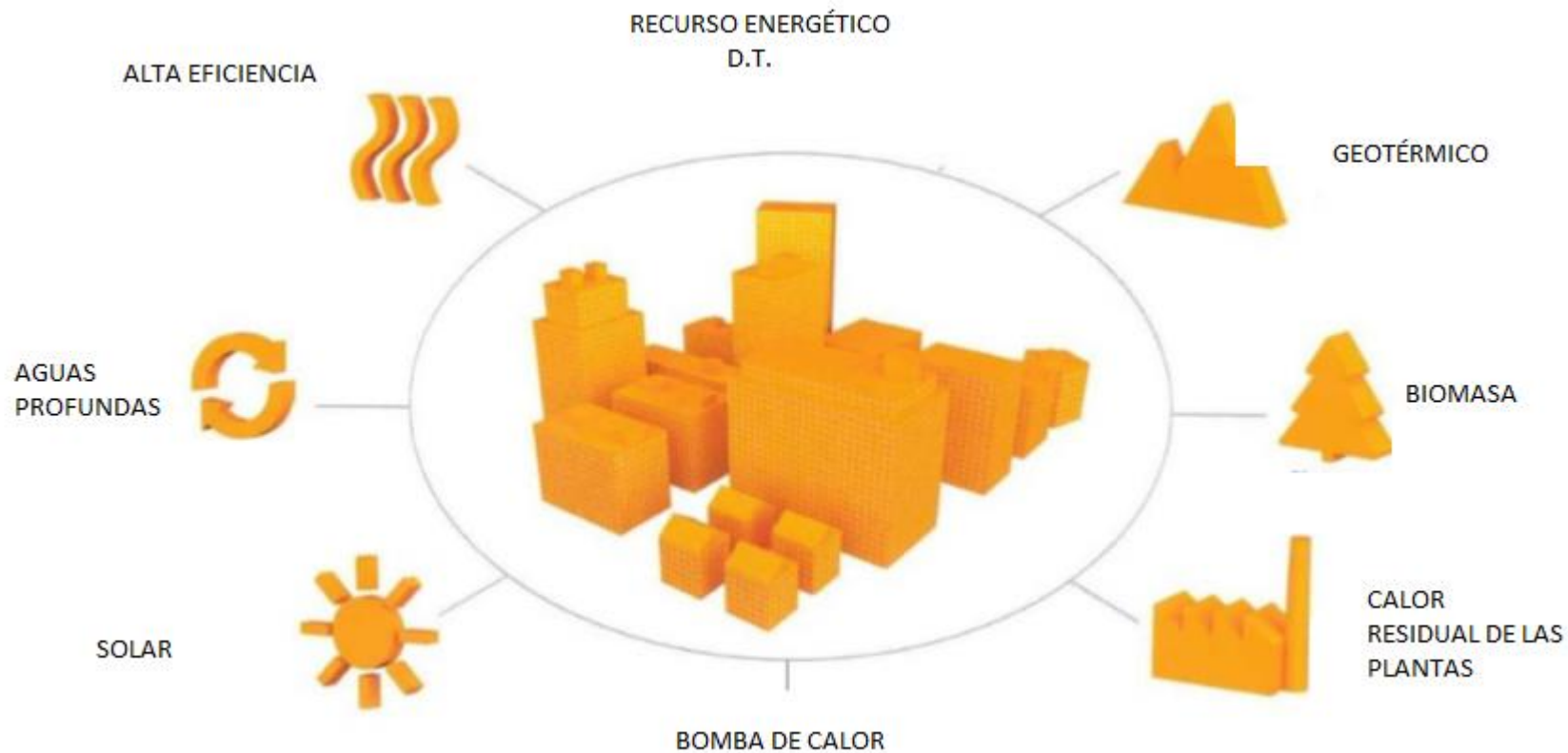
# Evaluación precisa del comportamiento de la demanda energética



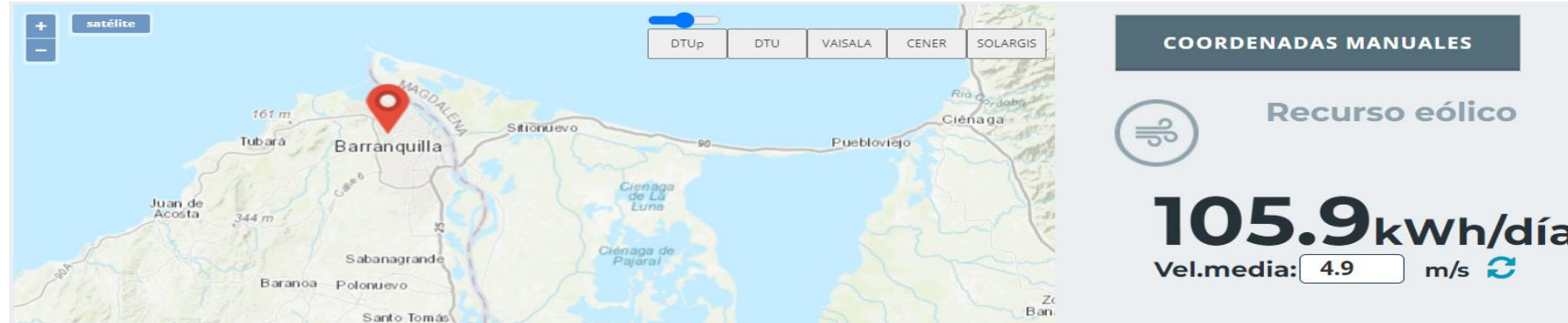
Curva de demanda horaria



# Determinación de los potenciales energéticos en sitio.

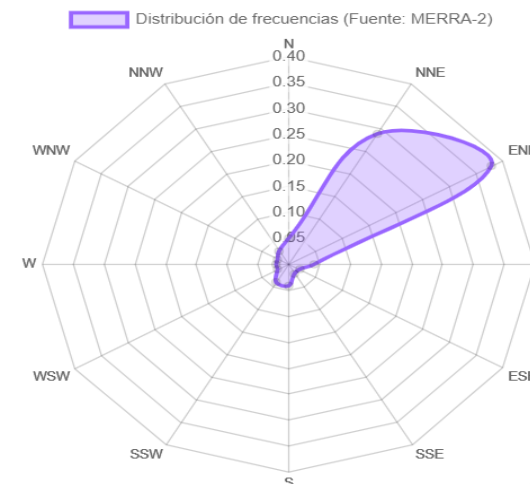
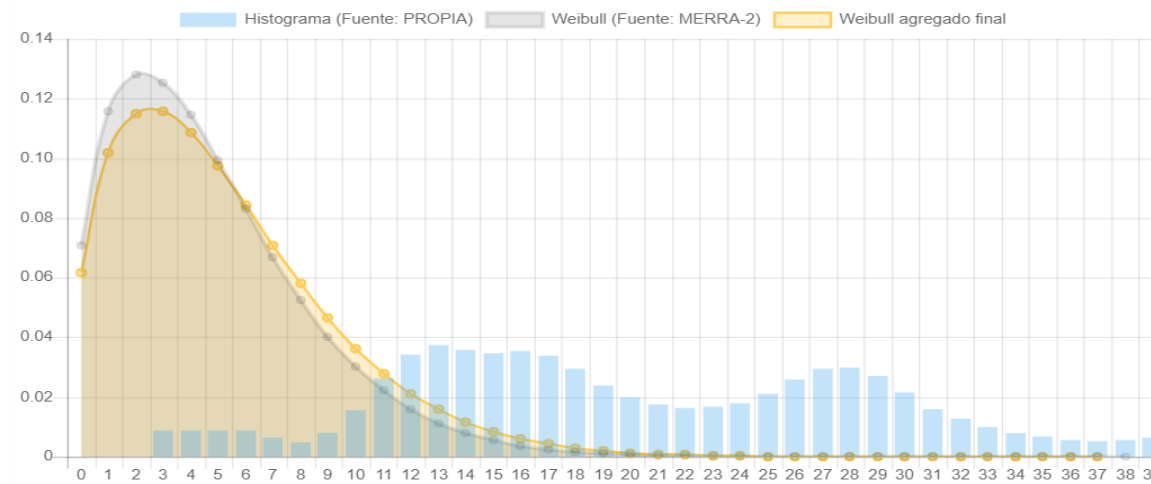


# Atlas Eólicos Solar



Producción eólica en kWh													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
Wind speed (m/s)	7.5	7.6	7.0	5.6	3.8	3.8	4.4	3.7	3.0	3.0	3.6	5.9	4.9
kWh/day	276.7	287.7	225.9	117.5	36.7	36.7	56.3	33.9	18.4	17.5	30.1	133.5	105.9
kWh/month	8577	8126	7002	3524	1136	1100	1746	1051	552	544	902	4138	3223

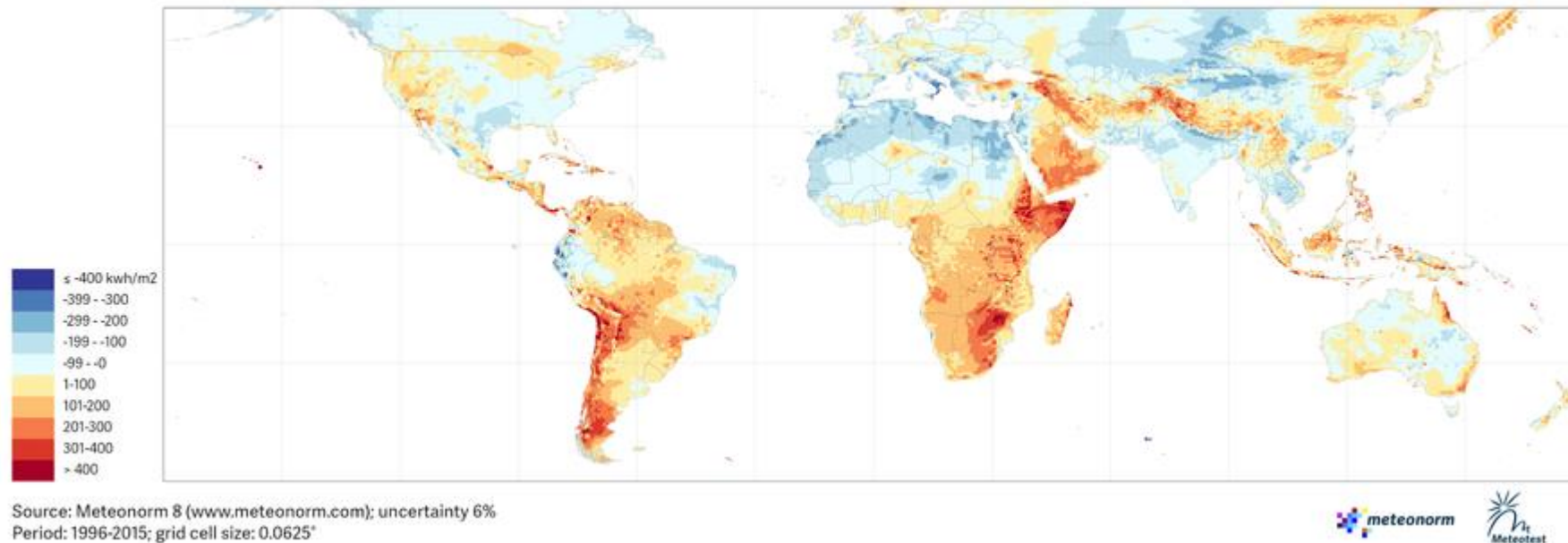
<https://www.enair.es/es/app>





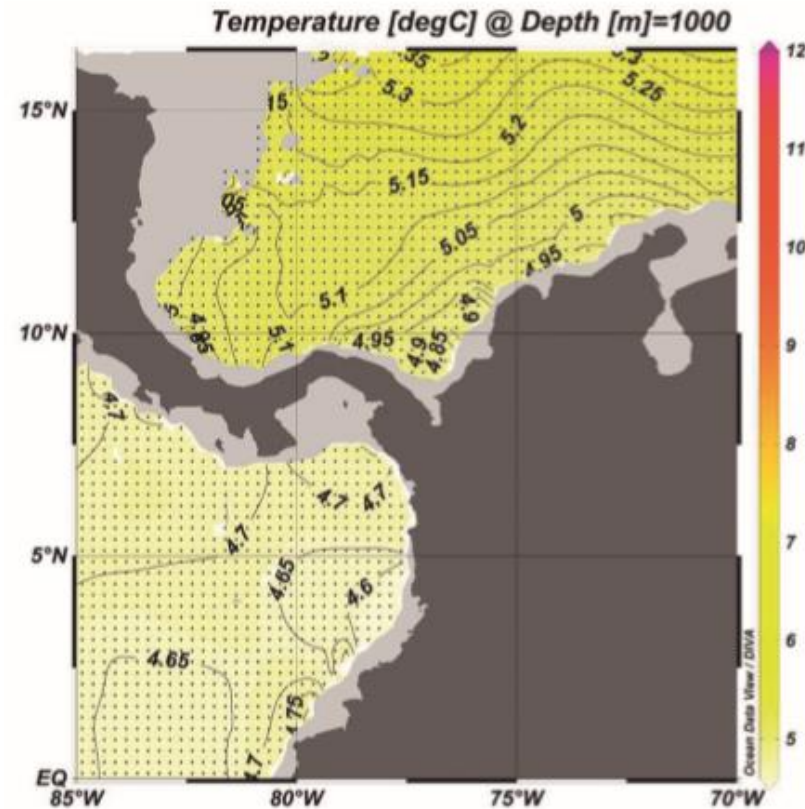
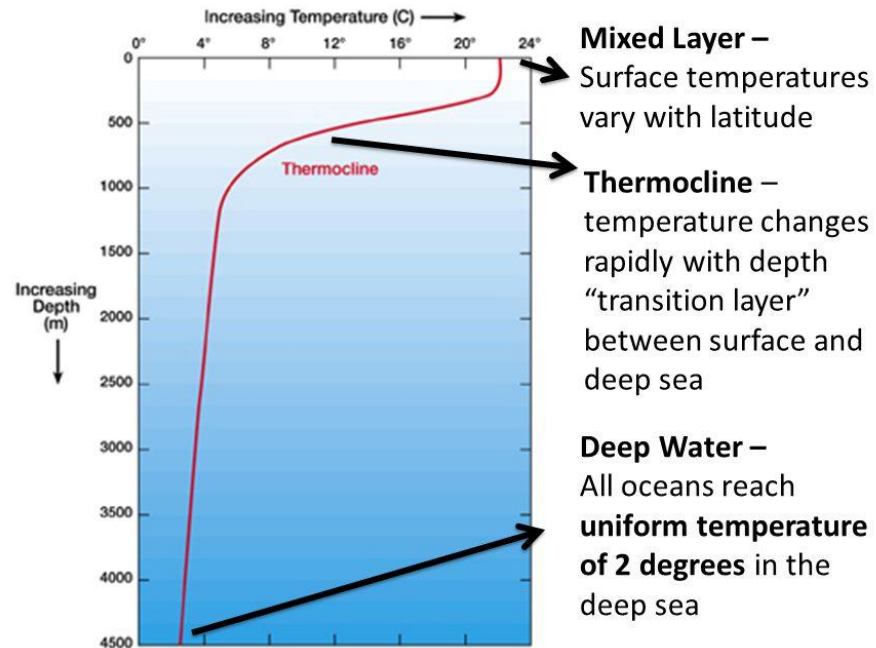
<https://www.enair.es/es/app>

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI): Difference between MN 8.0 and 7.3.2



Datos meteorológicos precisos para cualquier lugar en la Tierra: irradiación, temperatura, humedad, viento, precipitación y más parámetros climáticos. Con datos de 8325 estaciones meteorológicas, cinco satélites geoestacionarios. Modelos de interpolación más avanzados que permiten la entrega de los datos climáticos más precisos en el mercado.

## Vertical variations in sea temperatures



# CRITERIOS GENERALES PARA SELECCIÓN DE ESQUEMAS ENERGÉTICO ASOCIADOS A LOS D.T

El buen rendimiento de un D.T. radica en su diseño, de aquí el criterio general de dimensionar el sistema, sobre la base de la **demanda térmica**.

1. Modelación y simulación del comportamiento resulta crucial en el éxito de un D.T. (**curva de demanda**).

*No necesariamente el esquema más rentable, responde de manera simple y fiable a la demanda térmica.*

2. *Selección de variantes del esquema del D.T. Una vez conocidos los perfiles detallados de demandas eléctrica y térmica de la planta, se puede proceder a plantear las diversas alternativas*

## Selección del Motor Primario.

Según el tipo de demanda térmica:

DEMANDA	EQUIPO
Vapor presión superior a 2 bar.	Turbina de gas
Agua caliente vapor a presión inferior a 2 bar.	Motor alternativo
Secado a temperatura superior a 150 <sup>0</sup> C	Motor alternativo
Atomizado a temperatura superior a 150 <sup>0</sup> C	Turbina de gas
Agua sobrecalentada	Motor alternativo
Aceite térmico	Turbina de gas

## Relación entre la Demanda Eléctrica y Térmica (RCE).

Sistema de cogeneración	Relación ( Q/E )	Temperatura de fluido caliente
Motor de combustión interna	De 0.8 a 2	De 120 a 400°C
Turbina de vapor	De 2 a 30	De 120 a mayores de 400°C
Turbina de gas	De 1.2 a 4	De 80 a 150°C

Dos posibles tipos de comportamiento:

- Uniformidad.
- Variaciones y valores máximos y mínimos.

Si  $Q/E < 1$ , Usuarios consumidores de energía eléctrica, tales como grandes centros comerciales y de servicios.

Si  $Q/E > 1$ , Usuarios consumidores de calor.

**Disponibilidad de Combustibles Residuales:** empresas con posibilidad de recuperar sus desechos de la producción y emplearlos como combustible, contribuyendo de esta forma a uso racional y sostenible de los recursos.

**Gamas de Potencias de las Máquinas Existentes en el Mercado.**

**Efecto de la Variación de Carga en la Máquina.**

DEMANDA	EQUIPO
Demanda regulada	Turbina de gas o de vapor
Demanda irregular	Motor alternativo

**Índice de Calor Neto (ICN):** Cuantifica el aprovechamiento del combustible para la generación eléctrica.

$$\text{ICN} = \frac{Q_s - \frac{Q}{\eta}}{E}$$

$Q_s$  = Calor suministrado como combustible al sistema (kW.)

$Q$  = Calor útil proporcionado (fluido caliente) por el sistema (kW.)

$\eta$  = Eficiencia convencional de generación de energía térmica (%)

$E$  = Generación eléctrica del sistema (kW.)

ICN muestra la manera en que se utiliza el combustible para generar electricidad.

**Índice de Combustible Ahorrado (ICA):** corresponde al combustible ahorrado por Kw/h. de electricidad generada es la diferencia entre el HEAT RATE de la planta de potencia estándar

$$ICA = (HR_s - ICN) IEC$$

ICA = Índice de combustible ahorrado.

HR<sub>s</sub> = Heat rate de la planta de potencia estándar.

ICN = Índice de calor neto.

IEC = Índice de energía eléctrica / calor.

ICA indica los ahorros brutos de combustible

## Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE)

$$REE = \frac{EE}{EP - \frac{ET}{\eta_{ref ET}}}$$

**REE** Rendimiento Eléctrico Equivalente, en porcentaje [%].

**EE** Producción total anual bruta de energía eléctrica en el proceso, expresado en kWh.

**EP** Energía primaria del combustible consumido anual-mente por el proceso, expresado en kWh y calculada empleando el Poder Calorífico Inferior del combustible.

**ET** Producción total anual de Calor Útil del proceso, expresado en kWh.

**nref** Eficiencia de referencia para la producción de Calor Útil.



# Viabilidad de usar energía solar en distritos de enfriamiento en las seis regiones de Colombia

Establece los potenciales usos de la energía solar fotovoltaica en las diferentes regiones de Colombia para alimentar los enfriadores de agua. Se determinó la rentabilidad de implementar un sistema de energía solar para un distrito de 2000 TR destinado al sector residencial.

**Curvas de demanda de enfriamiento, tarifa de electricidad y las condiciones climáticas externas.**

**Análisis:** software para la simulación de la demanda energética, analítica de dato en Python.

**Tabla** Ciudades consideradas para el análisis de la utilización de la energía solar.

Región	Ciudad	Horas de brillo solar	Temperatura (°C)	Tarifa electricidad (\$COP/ kWh)
Caribe	Barranquilla	6-7	24-33	558
	Santa Marta	6-7	22-35	558
	Valledupar	7-8	21-35	558
Andina	Manizales	4-5	9-25	560
	Cúcuta	4-5	21-33	560
	Ibagué	4-5	19-30	700
	Medellín	5-6	17-28	570
	Cali	4-6	19-31	570
	Bogotá	4-5	8-20	550
	Tunja	4-5	9-20	550
Pacífico	Quibdó	4-5	22-31	560
Orinoquia	Yopal	5-6	21-35	600
Amazonia	Mocoa	3-5	19-28	600
	Florencia	3-5	21-33	570
Insular	San Andres	6-7	25-31	470

**Tabla** Indicadores económicos y energéticos para cada ciudad utilizando paneles policristalinos (430W).

Región	Ciudad	Número de paneles policristalinos	Payback (años)	TIR (%)	Ahorro de energía (%)	Potencia anual generada (MW)
Caribe	Barranquilla	3600	6.0	21.5	37.3	96.7
	Santa Marta	3600	6.0	21.5	40.3	96.7
	Valledupar	2400	6.1	20.1	30.1	60.6
Andina	Manizales	1000	7.0	19.1	20.1	24.0
	Cúcuta	5000	8.0	16.4	42.9	105.9
	Ibagué	2200	5.1	22.2	25.5	48.5
	Medellín	1200	6.1	19.9	21.7	29.4
	Cali	3600	8.0	16.8	41.7	76.2
	Bogotá	1200	7.1	17.9	21.6	27.8
	Tunja	800	7.1	18.1	25.9	84.8
Pacífico	Quibdó	4400	9.1	14.6	37.8	84.8
Orinoquia	Yopal	4400	8.1	15.9	37.9	26.8
Amazonia	Mocoa	1400	8.1	15.8	18.8	41.9
	Florencia	2000	8.0	16.6	20.8	109.9
Insular	San Andres	4400	8.1	16.2	44.4	18.7

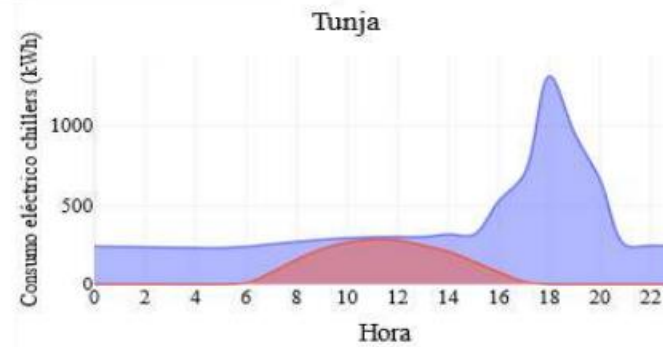
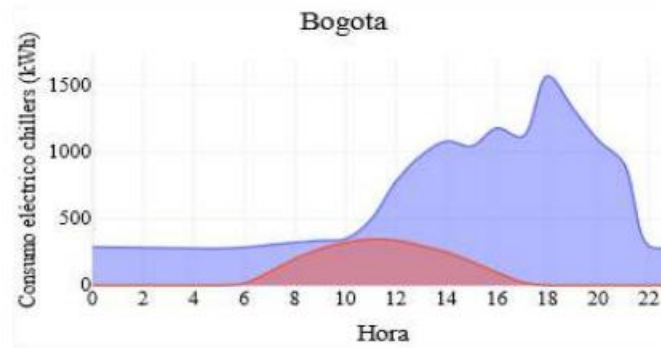
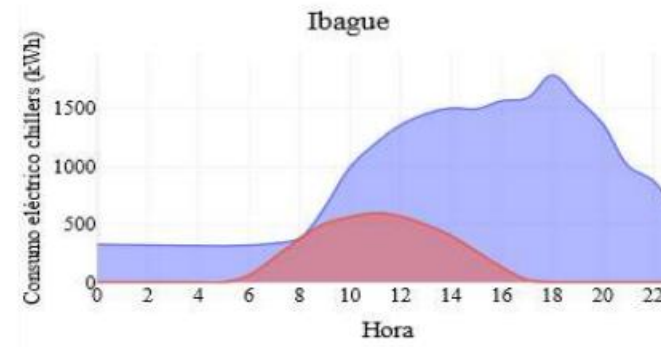
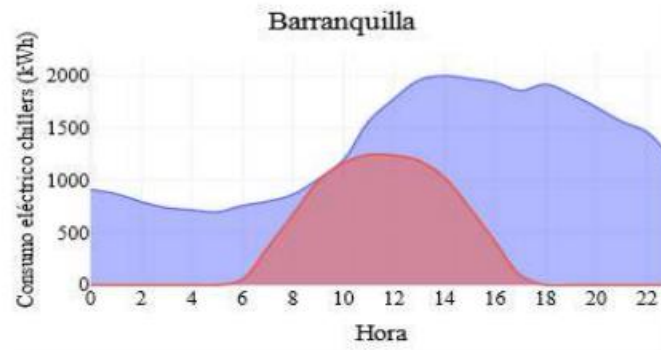
**Tabla** Indicadores económicos y energéticos para cada ciudad utilizando paneles mono cristalinos (580 W).

Región	Ciudad	Número de paneles monocristalinos	Payback (años)	TIR (%)	Ahorro de energía (%)	Potencia anual generada (MW)
Caribe	Barranquilla	2800	6.1	19.6	36.9	95.5
	Santa Marta	2800	6.1	19.6	39.8	95.5
	Valledupar	1800	7.1	18.3	28.7	57.6
Andina	Manizales	800	8.0	17.2	20.3	24.2
	Cúcuta	3800	9.0	14.9	41.5	102.2
	Ibagué	1800	6.1	20.2	26.4	50.2
	Medellín	1000	7.1	18.0	22.8	30.9
	Cali	3000	9.0	15.1	43.7	80.0
	Bogotá	800	8.1	16.1	18.2	23.4
	Tunja	600	8.1	16.2	24.4	83.0
Pacífico	Quibdó	3400	11.0	13.1	37.0	83.0
Orinoquia	Yopal	3400	9.1	14.4	37.0	24.1
Amazonia	Mocoa	1000	10.0	14.1	16.9	42.4
	Florencia	1600	9.0	15.0	21.0	107.6
Insular	San Andres	3400	9.1	14.6	43.5	17.6

**Tabla** Indicadores económicos y energéticos para cada ciudad utilizando paneles CIGS (360 W).

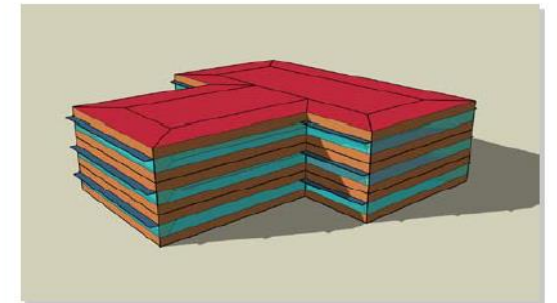
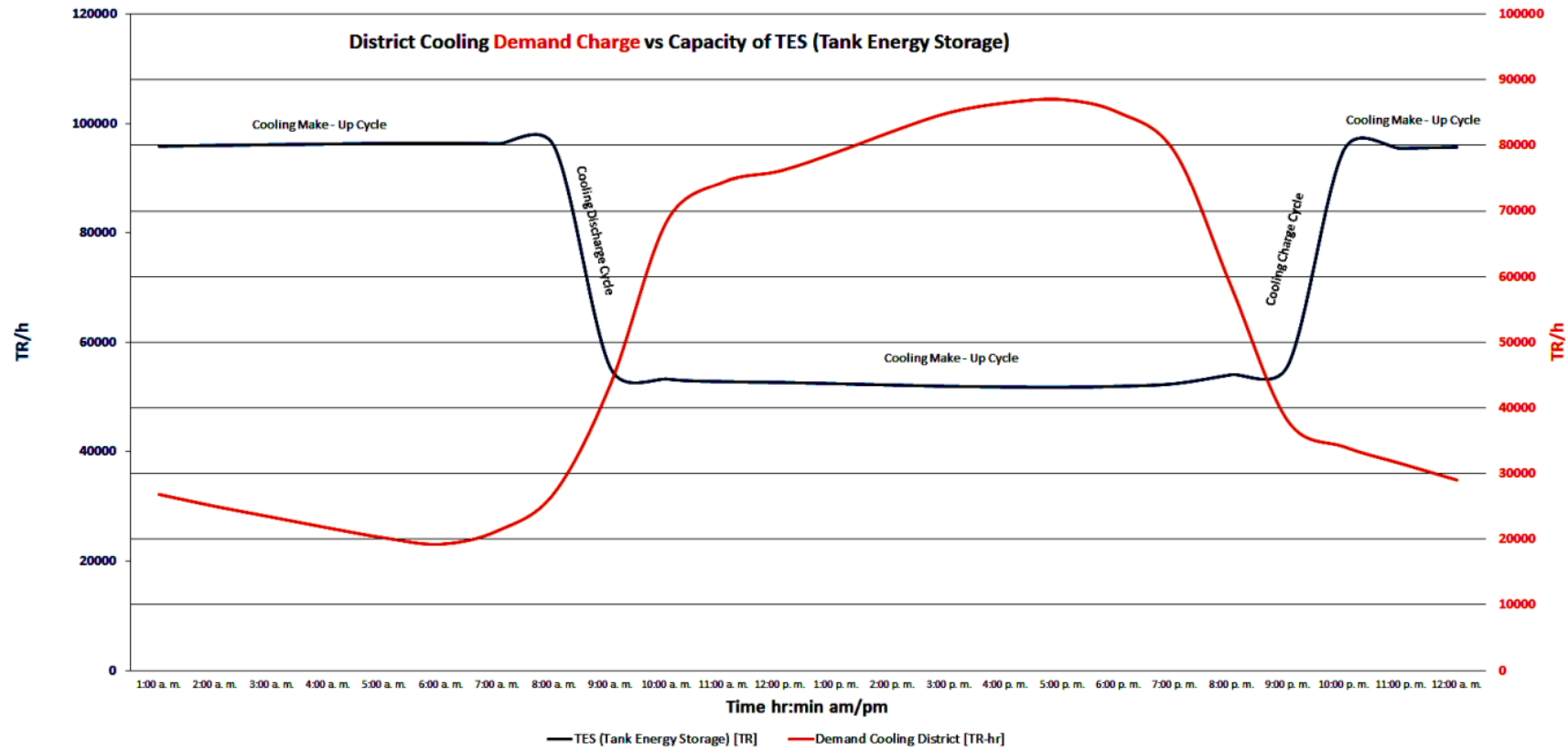
Región	Ciudad	Número de paneles CIGS	Payback (años)	TIR (%)	Ahorro de energía (%)	Potencia anual generada (MW)
Caribe	Barranquilla	7200	12.0	12.2	38.5	99.6
	Santa Marta	7200	12.0	12.2	41.6	99.6
	Valledupar	4400	13.0	11.2	28.7	59.0
Andina	Manizales	2000	14.0	10.8	21.2	26.6
	Cúcuta	7800	18.0	8.7	35.1	93.2
	Ibagué	4200	11.0	13.0	25.6	48.6
	Medellín	2400	13.0	11.3	22.8	31.0
	Cali	7000	17.0	9.1	43.0	77.6
	Bogotá	2400	15.0	9.9	22.8	29.3
	Tunja	1800	15.0	10.1	30.8	82.6
Pacífico	Quibdó	7800	19.0	8.2	35.5	82.1
Orinoquia	Yopal	7800	18.0	8.4	18.0	27.6
Amazonia	Mocoa	2600	18.0	8.4	18.0	43.1
	Florencia	4000	17.0	8.9	17.0	109.1
Insular	San Andres	7800	18.0	8.4	18.0	22.3

*Fuente: los autores.*



- El porcentaje de ahorro de energía que se logra depende principalmente del perfil de demanda de enfriamiento, de las condiciones climáticas del exterior (irradiancia, brillo solar y temperatura), de la tarifa de electricidad y de la eficiencia de la tecnología fotovoltaica utilizada.
- El rango de ahorros de energía eléctrica por la implementación de los sistemas fotovoltaicos varía según la tecnología de los paneles, desde un 19% hasta un 47%, las tasas internas de retorno van desde un 9.3 % hasta un 21.5%, y los periodos de retorno de la inversión van desde 6 años hasta 11 años.





Demanda se sitúa en aproximadamente una **87,000 tn** de refrigeración con un gasto anual de **22,294 MWh/año**

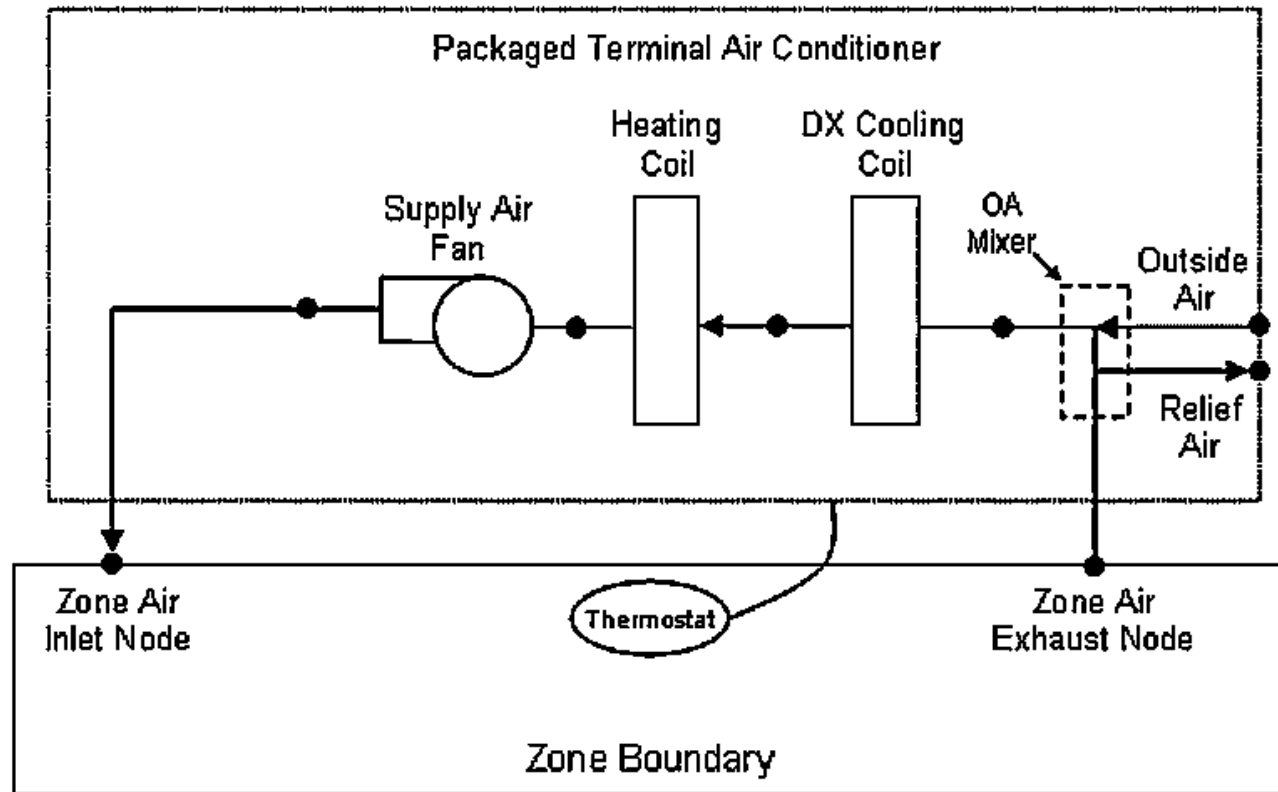
Demandan de potencia aproximadamente **100 Mwe.** (Sistema convencional)

Demandan de potencia aproximadamente **5 Mwe.** (Sistema SWAC)

Ahorro de un **90%** en el gasto operacional.

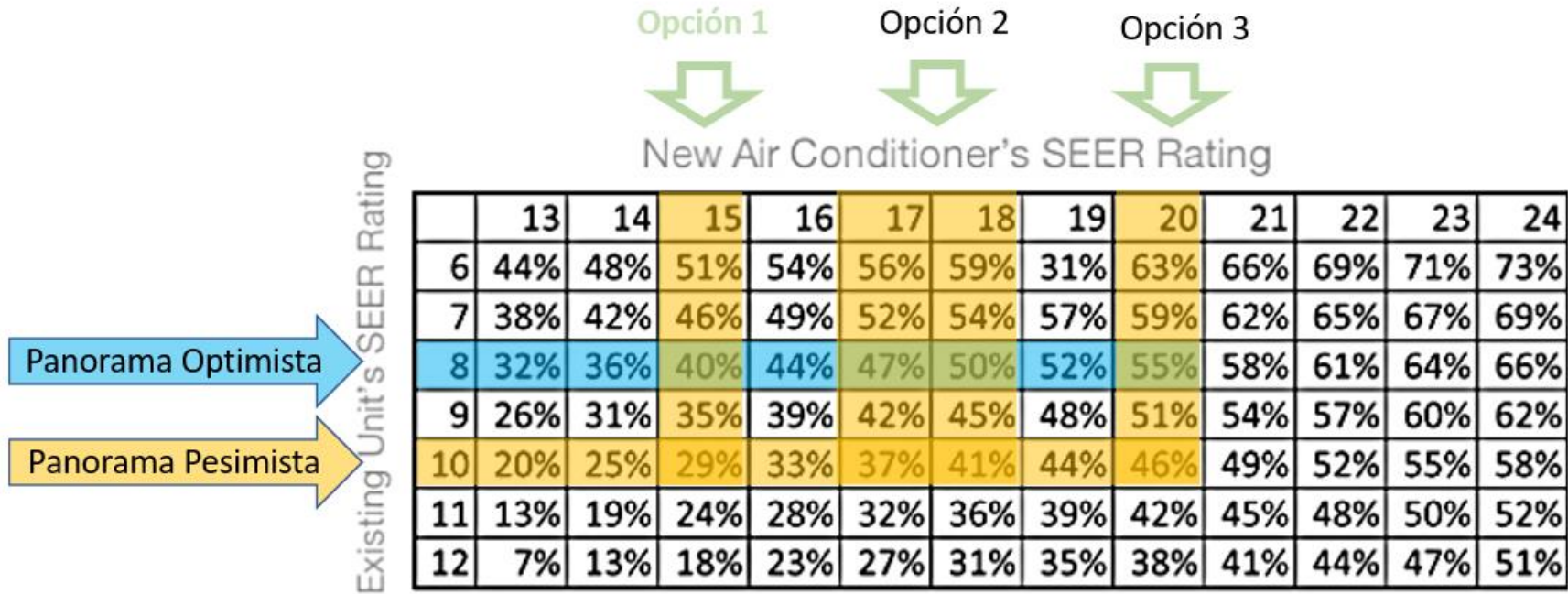
<b>Tecnología para la producción de energía eléctrica</b>	<b>COSTOS ( U\$)</b>
<b>1. Turbina Hidrocinética (4MW)</b>	<b>27.400.000</b>
<b>2. Sistema Fotovoltaico (4MW)</b>	<b>7.500.000</b>
<b>Costo Total del sistema de autogeneración por FRE</b>	<b>34.900.000</b>

# Sistema Intramural para un-C.C



	CHILLER			PTHP AIRE-AIRE	VRF-WATER-AIR	PTHP AGUA-AIRE	
	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]	Electricity [kWh]
<b>Heating</b>	0.00						
<b>Cooling</b>	993053	992696	994213	1010899	1286775	1600854	1561639
<b>Interior Lighting</b>	410734	410734	410734	410734	410734	375616.40	426145
<b>Exterior Lighting</b>	0.00	0.00	0.00	0.00			
<b>Interior Equipment</b>	771178	771178	771178	771178	782046		782046
<b>Exterior Equipment</b>	0.00	0.00				224532.44	
<b>Fans</b>	24062	24062	24062	18593	22827	18657	18275
<b>Pumps</b>	190632	123428	201430		82195	103232	37493
<b>Heat Rejection</b>	48588	48009	48648		47508	70383	39846
<b>Total End Uses</b>	2438249	<b>2370110</b>	2450267	<b>2237684</b>	<b>2632088</b>	<b>3181420</b>	2865446

**Chiller 25,50 % ahorro**  
**VRF 17,27 % ahorro**  
**PTHP AGUA-AI 9,90 % ahorro**  
**PTHP AIR-AIF 29,66 % ahorro**



## Conclusiones

- Resulta crucial planificar en situaciones de un clima cambiante, la mayor incertidumbre económica en el contexto global, rupturas estructurales y de paradigmas, proceso de transición energética obliga a la anticipación de acontecimiento.
- Al considera un diseño de los D.T. deben tenerse presente varios factores como son calidad de los requerimientos térmicos y eléctricos, la disponibilidad de combustible, los costos de operación, la flexibilidad del sistema, etc.
- El incorporar soluciones disruptiva basadas en el uso de recurso renovables resulta una necesidad en materia de sostenibilidad energética de los D.T. En especial en zonas de gran severidad climática como la Costa Atlántica Colombiana.

GRACIAS POR LA ATENCIÓN BRINDADA

¿PREGUNTAS?