

**DETERMINACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE  
FUENTES CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN UN DISTRITO TÉRMICO EN  
COLOMBIA**

**MARIA ALEJANDRA BEJARANO RESTREPO**

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**DIRECTOR**

**HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA**

**INGENIERO QUÍMICO**

**MSC INGENIERÍA QUÍMICA**

**PHD ENERGÍAS RENOVABLES**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C**

**2023**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre del director

Firma del Director

---

Nombre

Firma del presidente Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. agosto de 2023

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingeniería

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1.OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
1.1.Objetivo General	12
1.2.Objetivos Específicos	12
<b>2.METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
<b>3.MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>
3.1.Tipos de distritos térmicos	15
<b>4.MARCO REFERENCIAL</b>	<b>18</b>
4.1.Marco conceptual	18
<i>4.1.1.Panorama actual en el país</i>	<i>18</i>
<i>4.1.2.Beneficios de la implementación de los distritos térmicos</i>	<i>25</i>
<i>4.1.3.Energías Convencionales empleadas para refrigeración o calefacción.</i>	<i>26</i>
<b>5.COMBUSTIBLES PARA LA OPERACIÓN DE DISTRITOS TÉRMICOS CON RELACIÓN ENTRE FUENTES CONVENCIONALES DE ENERGÍA</b>	<b>30</b>
5.1.Gas como combustible	31
5.2.Petroleo como combustible	33
5.3Carbón como combustible	36
5.4.Zonas de alto potencial para instalación de distritos térmicos en el país	38
5.4.1.Caracterización por sector	40
5.6.Comparación entre alternativas para los combustibles de origen fósil	44
5.7.Indicadores	46
5.8.Marco legal	52
<b>6.CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>



## LISTA FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Planta de incineración de residuos y distrito térmico Copenhagen	17
Figura 2. Distrito térmico la alpujarra	19
Figura 3. Datos distrito térmico la Alpujarra	20
Figura 4. Distrito térmico Centro Comercial Nuestro Montería	21
Figura 5. Datos Distrito térmico CC nuestro Montería	21
Figura 6. Datos de la planta de generación múltiple de Air Liquide.	22
Figura 7. Distrito térmico Serena del Mar en Cartagena	23
Figura 8. Distrito térmico Serena del mar	23
Figura 9. Caracterización de la oferta y la demanda de servicios de energía térmica en Colombia	24
Figura 10. Beneficios de los distritos térmicos	26
Figura 11. Precios del gas natural en el país	32
Figura 12. Balance del gas desde el 2006 al 2025- relación exportación y producción y consumo	33
Figura 13. Precios del petróleo en el país	35
Figura 14. Balance del petróleo desde el 2006 al 2025- relación exportación y producción y consumo	36
Figura 15. Precios del carbón en el país	37
Figura 16. Balance del carbón desde el 2006 al 2025 - relación exportación y producción y consumo	38
Figura 17. Ciudades potenciales para el desarrollo de un distrito térmico	40
Figura 18. Perfil de carga de una oficina	42
Figura 19. Perfil de carga de un Centro Comercial	43
Figura 20. Perfil de carga de un Hospital	44
Figura 21. Comparación de Emisiones provenientes de los combustibles fósiles	45
Figura 22. Factores diferenciadores entre fuentes de energía convencionales	46
Figura 23. Proyecciones 2025-2050 capacidad instalada – fuente hidráulica	51
Figura 24. Proyecciones 2025-2050 capacidad instalada – fuente gas	52

## RESUMEN

Este trabajo presenta, como objetivo principal la identificación de estrategias para diferentes fuentes de energía convencional utilizadas para un distrito térmico con base en criterios técnicos de sostenibilidad en Colombia, teniendo como referentes los distintos distritos térmicos establecidos en el país. Seguido de esto, se realiza una descripción de las principales características y beneficios de las redes de energía más empleadas para el funcionamiento de los distritos térmicos. Una vez determinados estos aspectos, se plantean indicadores ambientales que determinan como se ahorran en un 100% las sustancias agotadoras de ozono al realizar el reemplazo de refrigerantes por sustancias naturales, ahorros en las emisiones contaminantes en un 41,84% y disminuciones en el potencial de calentamiento, información base que aportara a la selección la fuente de energía convencional óptima para el desarrollo de los sistemas centralizados de refrigeración.

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica, distritos urbanos, sustancias refrigerantes, almacenamiento de energía, consumo energético, impacto ambiental, climatización, combustible fósil.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un crecimiento considerable de las necesidades de refrigeración en los edificios del sector residencial en los países en desarrollo de clima cálido. Las razones de ello son una mayor exigencia de las condiciones de confort, por un ambiente exterior adverso. Dado que la mayoría de los equipos de climatización utilizan equipos de conexión eléctricos, este hecho ha tenido como consecuencia inmediata un notable aumento del consumo de energía eléctrica y de sobrecargas en las redes eléctricas. El almacenamiento de energía térmica, con su bajo costo de almacenamiento de energía y su amplia distribución en procesos industriales, es una forma efectiva de mejorar la flexibilidad operativa de las centrales eléctricas. Debido a la colosal capacidad de almacenamiento de energía y los bajos costos de implementación. (Nianci Lu, 2022) Para reducir el consumo energético de los sistemas de climatización de los edificios, la primera vía es aplicar medidas de ahorro y eficiencia energética tanto a nivel del propio edificio como a nivel de los equipos de refrigeración. Aun así, estas medidas por si solas no son suficientes y deben de ir acompañadas por sistemas basados en el uso de fuentes de energía alternas. Para su puesta en marcha y funcionamiento es importante por las siguientes razones:

- ✓ las emisiones de gases de efecto invernadero está tomando una relevancia significativa a nivel internacional debido a sus efectos sobre el calentamiento global y el clima.
- ✓ La escasez de recursos fósiles está impulsando el desarrollo de fuentes alternativas de energía.

La intensificación de los fenómenos climáticos y las crisis ambientales que han golpeado al planeta en los últimos años, han dejado claro que se necesita el compromiso de todos para reducir el impacto contaminante sobre la Tierra y contrarrestar los daños ocasionados por viejas prácticas ancestrales, de consumo y de planificación urbana. Además, el crecimiento proyectado de la población mundial impone el reto de planear ciudades más sostenibles y que garanticen los servicios para todos sus habitantes. Los distritos térmicos ofrecen una solución para la climatización sostenible de las ciudades, que involucra el concepto de eficiencia energética sin sacrificar el confort ni la rentabilidad como negocio. Estas nuevas tecnologías de climatización urbana generan

ahorros entre el 30 % y el 50 % en el consumo de energía primaria, según estudios de las Naciones Unidas realizados en más de 45 ciudades alrededor del mundo. (Ministerio de Ambiente, 2019)

Sus características hacen de los distritos térmicos un engranaje clave para la articulación de gobiernos locales; en Colombia contribuyen al cumplimiento de los compromisos con el protocolo de Montreal y a la COP21 de cambio climático, así como a la meta de ahorro energético definida en el PAI PROURE 2017-2022. Se trata de una innovadora alternativa de infraestructura para producir frío, de manera centralizada, y distribuir esta forma de energía mediante redes a múltiples usuarios y edificaciones agrupadas, en entornos urbanos como sectores residenciales, industriales y comerciales. Es, por tanto, una tecnología diseñada para sustituir los sistemas que funcionan con Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) y que generan un alto impacto ambiental. (Minambiente, 2020)

Por otro lado los objetivos de desarrollo sostenible son una guía importante para lograr las alianzas y colaboraciones gubernamentales para adoptar nuevas estrategias que ayuden a mitigar los impactos asociados a la contaminación, para lograrlo uno de los objetivos asociados al trabajo propuesto es el objetivo número nueve el cual dicta que la industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, pueden dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos. Estas desempeñan un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos. (Organización de Naciones Unidas , 2016)

El mundo cada vez está más urbanizado ya que desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumenta hasta el 60 % para 2030. Las ciudades y las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del consumo de recursos. (Organización de Naciones Unidas , 2016). Por estas razones como objetivos fundamentales que se abordaron en este trabajo, se realizare la identificación de estrategias para las diferentes fuentes de energía convencional utilizadas para un distrito térmico con base en criterios

técnicos de sostenibilidad en Colombia y se establecerán los componentes principales de los sistemas de refrigeración, así como la distribución de energía en redes de distrito en entornos urbanos en la actualidad.

## **1.OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General**

Identificar las estrategias para diferentes fuentes de energía convencional utilizadas para un distrito térmico con base en criterios técnicos de sostenibilidad en Colombia.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Revisar los componentes principales de los sistemas de refrigeración y calefacción, así como la distribución de energía térmica en redes de distrito en entornos urbanos en la actualidad.
- ✓ Definir la metodología para la evaluación y estimación de la demanda de las fuentes de energía convencionales para un distrito térmico en el país.
- ✓ Desarrollar indicadores que posibiliten la identificación de fuentes utilizadas en los procesos térmicos.

## 2.METODOLOGÍA

La metodología empleada en el desarrollo del trabajo se ha articulado por una serie de fases:

- ✓ En primer lugar, se establece un recorrido de los antecedentes históricos que existan referentes a este sistema y establecer un marco legal aplicable que respalde la información documentada en nuestro país.
- ✓ Una vez reconocidos los antecedentes se realizará un análisis acerca de los distritos térmicos en el país con el fin de conocer la ocupación real del sistema y sus principales fuentes de energías convencionales.
- ✓ A partir de los datos extraídos, se elaborarán tablas descriptivas que, a modo de síntesis, recopilaron principales características de las redes de energía más empleadas en el país permitiendo una comparación entre ellas que ayuden a seleccionar la óptima y eficiente para el caso de estudio.
- ✓ Posteriormente se procede a descripción en cuanto al funcionamiento concreto y su comparación con la empleabilidad de otras fuentes energéticas y se elaborara una metodología apropiada para la identificación y la ocupación de estas fuentes de energía en la actualidad en el país y su potencial a futuro.
- ✓ Recopilando la información anterior se elaborarán indicadores que denoten las ventajas económicas de implementar estos sistemas en el país y las fuentes más apropiadas para su desarrollo.
- ✓ or último, se realiza la recopilación de los distintos ámbitos que presenta el uso de este sistema y el potencial que permita establecer las conclusiones del trabajo.

### 3.MARCO TEÓRICO

Los distritos térmicos se proyectan como soluciones sostenibles de climatización para entornos urbanos con beneficios en materia ambiental y de eficiencia energética que son cada vez más demandados en economías en vía de desarrollo. Se trata de redes de distribución de frío y calor que abastecen, desde una central, la demanda de zonas residenciales, industriales y empresariales, con amplia trayectoria en países de Europa y en Estados Unidos. Según el Centro de Eficiencia Energética de Copenhague, un distrito térmico puede representar un ahorro de hasta el 80% en la eficiencia energética de la climatización de una edificación, al compararse contra un sistema convencional. Sin embargo, esta cifra puede variar dependiendo de la estructuración del sistema (Ministerio de ambiente, 2019).

El desarrollo de los distritos térmicos en la historia se puede dividir en cuatro generaciones que marcan los grandes avances que se han dado en materia de funcionamiento y eficiencia de los distritos térmicos. En cada una de las generaciones prevalecen diferentes fuentes de energía que, al pasar los años, se han ido transformando en fuentes más limpias. En este sentido, se puede considerar que las primeras redes urbanas de calefacción surgieron entre los siglos IV-II A.C. en las ciudades de la antigua Roma. En ellas, el agua caliente discurría por canales abiertos hasta llegar a los distintos edificios, en los que se empleaba como sistema de calefacción o como aguas de baños termales (Ministerio de ambiente, 2019).

A pesar de ello se considera que la primera red de calefacción urbana del mundo surgió en el siglo XIV en una ciudad del sur de Francia. Se trata de la ciudad de Chaudes-Aigues, conocida por sus aguas termales que, hoy en día, continúan distribuyéndose a toda la ciudad por conductos de madera. En general, se pueden establecer cuatro generaciones de sistemas de calefacción urbana que corresponden con 4 periodos temporales distintos:

#### ✓ **Primera Generación**

A finales del siglo XIX es cuando comienzan a aparecer las primeras redes urbanas de calor. Estados Unidos, la primera red se desarrolló en Lockport en 1877. Años después, hacia 1881, varias ciudades, especialmente New York, desarrollaran esta nueva forma de calefacción utilizando el vapor como medio de transporte de energía. Por ejemplo, el

sistema que actualmente abastece a la ciudad de Manhattan se puso en funcionamiento en el año 1882 (Campos, 2020).

#### ✓ **Segunda Generación**

Es durante la primera mitad del siglo XX cuando estos sistemas empiezan a proliferar, principalmente en Estados Unidos y, en menor medida, en Europa. De esta época se destacan ejemplos como la red de Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain, instalada en el año 1930 en París (Francia) o la red urbana de Odense (Dinamarca) en el año 1920. A mediados del siglo XX, se produjeron una serie de cambios a nivel mundial que provocaron que estos sistemas quedaran en un segundo plano, el uso de fuentes como el petróleo y el gas natural era más barato que la construcción de plantas de producción centralizada, lo que provocó la paralización de su desarrollo (Campos, 2020).

#### ✓ **Tercera Generación**

Más adelante, en la década de los años 70 del siglo XX y, como consecuencia de la crisis del petróleo de 1973, se produjo un nuevo resurgir del sistema. Es a partir de entonces cuando comienzan a proliferar las grandes instalaciones en el Norte de Europa, Estados Unidos y Japón, para más adelante extenderse a China y Corea (Campos, 2020).

En esta época surgieron ejemplos como la red urbana de Helsinki (Finlandia) en el año 1953, la de Brescia (Italia) en 1982 o el District Heating de St. Paul (EE. UU.) que comenzó a funcionar en 1983 y hoy en día es el sistema de calefacción más grande de América del Norte (Campos, 2020).

#### ✓ **Cuarta generación**

Actualmente se están desarrollando nuevas redes o intervenciones en sistemas preexistentes diseñadas para combatir el cambio climático. En la mayoría de ellas emplean fuentes de energía renovables tales como colectores solares, el reciclaje de residuos o aprovechamiento de la energía residual resultante de procesos industriales (Campos, 2020).

### **3.1. Tipos de distritos térmicos**

Los distritos térmicos pueden emplear distintas fuentes primarias para generar la energía térmica que es suministrada a los usuarios finales. En el mundo, existen casos de distritos térmicos que utilizan:

✓ Gas natural

✓ Residuos sólidos urbanos

- |                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ✓ Biomasa o Biogás                        | ✓ Geotermia                            |
| ✓ Energía Eléctrica (hidráulica)          | ✓ Energía Eólica                       |
| ✓ Calor residual de procesos industriales | ✓ Energía solar térmica o fotovoltaica |

Dependiendo del proyecto, los Distritos Térmicos pueden ser de dos tipos:

- ✓ *Distritos térmicos intramurales*: Son plantas de generación de energía térmica que inicialmente atienden la demanda de un solo edificio. Están ubicados al interior del mismo proyecto al que sirven y sus equipos se localizan normalmente en cuartos o cubiertas técnicas. Están en capacidad de ofrecer agua helada, para aire acondicionado, agua caliente para calefacción y energía eléctrica (Celsia, s.f.).
- ✓ *Distritos térmicos extramurales*: Son plantas de generación de energía térmica que atienden la demanda de múltiples edificios. Están ubicados en predios independientes y trabajan bajo el concepto de “energía térmica como servicio público”. Están en capacidad de ofrecer agua helada y agua caliente, para procesos de aire acondicionado y calefacción (Celsia, s.f.).

Esta nueva generación está teniendo su base en los países del norte de Europa como Suecia, Finlandia o Dinamarca; queda representada por ejemplos tales como el District Heating de Copenhague, que emplea el excedente de la incineración de residuos y aporta el 98% del consumo requerido para abastecer la ciudad (Copenhague, 2009).



## Figura 1.

*Planta de incineración de residuos y distrito térmico  
Copenhagen*



**Nota.** Imagen ilustrativa de planta de incineración de residuos  
Tomado de: Global District Energy Climate Awards (2019)  
Application for the 'Global District Energy Climate Award'  
.[Archivo en pdf]. [https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/Copenhagen\\_Denmark-District\\_Energy\\_Climate\\_Award.pdf](https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/Copenhagen_Denmark-District_Energy_Climate_Award.pdf)

Por otro lado, el District Heating de Sonderborg, que emplea la geotermia como fuente de energía principal y consta de una instalación geotérmica de última generación que, en combinación con bombas de calor de absorción masiva y quemadores de biomasa, ahora abastece a más de 10.000 hogares, empresas y clientes industriales en el centro de Sonderborg. Junto con las instalaciones de calefacción solar térmica, quemadores de biomasa, hornos de bioaceite y otras fuentes, la red se ampliará para suministrar aprox. 60 % de los hogares de la isla de Als con calefacción urbana ecológica y neutra en CO<sub>2</sub>. (Copenhagen, 2009).

## 4.MARCO REFERENCIAL

### 4.1.Marco conceptual

#### 4.1.1. *Panorama actual en el país*

Los distritos térmicos nacen de la necesidad de evolucionar en cuanto a nuestras fuentes de energía y consumos, fuentes de alta eficiencia y bajos consumos energéticos comprendiendo panoramas que favorezcan la gestión y formulación de instrumentos para crear ambientes sanos. Colombia en América Latina, es pionero en la implementación de distritos térmicos, pero que hace a Colombia un País privilegiado para repensar en estas tecnologías, evidentemente su ubicación geográfica, demandas de consumo, variabilidad climática con ciudades que requieren un impulso energético favorable.

Se ha identificado que Colombia es un país con condiciones altamente favorables para la implementación de los distritos térmicos de enfriamiento para confort, asociado principalmente con dos factores fundamentales:

- ✓ Los planes de ordenamiento territorial de las ciudades colombianas tienden a propender por la densificación, altos índices de construcción y diversificación de usos en las mismas localidades de desarrollo.
- ✓ El 70 % de los centros urbanos se encuentra en zonas climáticas que ameritan la instalación de sistemas de aire acondicionado. Adicionalmente, dada la ausencia de variación estacional pronunciada a lo largo del año, por la posición ecuatorial del país, la demanda de los distritos térmicos es casi constante durante todo el año (Orozco, 2019).

De los primeros ejemplos de distritos térmicos en nuestro país es el de La Alpujarra, el primero de su tipo en Latinoamérica. Provee el servicio de agua fría para los sistemas de aire acondicionado de los edificios de la Alcaldía de Medellín, el Concejo Municipal, la Gobernación de Antioquia, la Asamblea Departamental y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales que entró en operación en el año 2016 operado por EPM beneficiando a alrededor de 10.000 personas entre funcionarios y visitantes, generando ahorros de energía en los edificios de entre el 15 % y el 20 %, además de disminuir en un 100 % el uso de las SAO y un 30 % las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Orozco, 2019). Se muestran a continuación descripción y especificaciones de este complejo.

## Figura 2.

*Distrito térmico la alpujarra*



**Nota.** Primer distrito térmico ubicado en Medellín. Tomado de: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) guía metodológica / unidad técnica de Ozono. [Archivo en pdf]. [https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/11/Gui%C3%ACa-metodolo%C3%ACgica-VF\\_2020.pdf](https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/11/Gui%C3%ACa-metodolo%C3%ACgica-VF_2020.pdf)

### Figura 3.

#### Datos distrito térmico la Alpujarra

<b>Descripción Distrito Térmico La Alpujarra</b>	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión de los clientes del Centro Administrativo La Alpujarra
<b>Especificaciones</b>	Actualmente tiene una capacidad instalada de 3600 TR-hora, está contratado para 1880 TR- y consta de tres enfriadores (chillers) eléctricos y uno de absorción
<b>Operador</b>	EPM
<b>Estado</b>	En operación

**Nota.** descripción y especificaciones de la planta de distrito térmico en la Alpujarra

El segundo distrito térmico en operación en Colombia entró en funcionamiento en 2017 en Montería (Córdoba). De tipo intramural y operado por Celsia, presta el servicio de entrega de agua fría para el aire acondicionado de cada local en el centro comercial Nuestro Montería, generando ahorros importantes en esta zona. Este sistema reemplaza los sistemas tradicionales de aire acondicionado tipo Split o Paquete, logrando una reducción importante en el consumo energético y liberando a los usuarios finales de la gestión de estos activos que normalmente representa un dolor de cabeza por el elevado nivel de mantenimiento y reinversión que estos requieren. Este Distrito Térmico cuenta con su propio sistema de abastecimiento energético, generando electricidad a partir del sol y el gas natural. Esto le permite tener al sistema una independencia absoluta del suministro de la red, mejorando la disponibilidad del servicio y contribuyendo con una reducción importante de los impactos ambientales gracias al uso de fuentes más eficientes de energía (Revista Equipar, 2017). Se muestran a continuación descripción y especificaciones de este complejo.

#### Figura 4.

##### *Distrito térmico Centro Comercial Nuestro Montería*



**Nota.** Distrito energético ubicado en Cordoba (Montería) Tomado de: Revista Equipar. (2017) Nuestro Montería

<https://www.revistaequipar.com/sector/nuestromonteria#:~:text=El%20Distrito%20T%C3%A9rmico%20es%20probablemente,de%20climatizaci%C3%B3n%20del%20Centro%20Comercial.>

#### Figura 5.

##### *Datos Distrito térmico CC nuestro Montería*

<b>Descripción Distrito del centro comercial Nuestro Montería</b>	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión del cliente y con distribución interna a 156 subclientes (usuarios comerciales)
<b>Especificaciones</b>	Actualmente tiene una capacidad instalada de 1410 TR-hora y consta de dos enfriadores eléctricos y uno de absorción
<b>Operador</b>	Celsia
<b>Estado</b>	En operación

**Nota.** Descripción y especificaciones de la planta de distrito térmico en Montería operado por Celsia.

Así mismo, en abril de 2018 se inauguró la planta industrial de generación múltiple de Air Liquide, en Tocancipá (Cundinamarca), que presta servicios de agua fría, vapor, energía eléctrica, aire comprimido, nitrógeno y gas carbónico a las empresas del parque industrial

FEMSA. Una de sus características es que emplea gas natural para generar energía eléctrica para autoconsumo (Orozco, 2019).

**Figura 6.**

*Datos de la planta de generación múltiple de Air Liquide.*

<b>Descripción Distrito Térmico de Tocancipá</b>	Producción y distribución de energía eléctrica, vapor, gas carbónico alimentario, aire comprimido, nitrógeno y agua helada para procesos
<b>Especificaciones</b>	Turbina a gas de 5 MW, generación de vapor a partir de un sistema de cogeneración; procesa los gases de escape y obtiene gas carbónico para alimentos; genera, además, aire comprimido y agua helada con un sistema de enfriadores, y suministra nitrógeno al parque industrial FEMSA.
<b>Operador</b>	Air Liquide
<b>Estado</b>	En operación

**Nota.** Descripción y especificaciones de la planta de distrito térmico en Tocancipá operado por Air liquide En el macroproyecto urbano Serena del mar, en la costa norte de Cartagena, está en funcionamiento un distrito térmico urbano. Suministra agua helada a edificios residenciales, de salud, educación, entretenimiento, hoteleros y de negocios, entre estos un centro hospitalario que requiere muy altos niveles de confiabilidad en el sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica, los cuales serán garantizados. Este distrito térmico atenderá también al centro corporativo, 17 mil viviendas y una serie de complejos hoteleros y comerciales. Este distrito térmico funciona como una central de agua helada que atiende a toda la ciudadela y cuenta con una capacidad de 1.544 toneladas de refrigeración. (Heraldo, 2019). Se muestran a continuación descripción y especificaciones de este complejo.

**Figura 7.**

*Distrito térmico Serena del Mar en Cartagena*



**Nota.** Distrito energético impulsado por la empresa Celsia en Cartagena Tomado de: *Heraldo. (2019) Informes comerciales, el Heraldó. <https://www.elheraldo.co/informes-comerciales/los-distritos-termicos-y-la-posibilidad-de-desarrollo-en-colombia-741516>*

**Figura 8.**

*Distrito térmico Serena del mar*

<b>Descripción Distrito Térmico de Serena del mar</b>	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión del cliente y su distribución interna en edificios residenciales, de salud, educación, entretenimiento, hoteleros y de negocios
<b>Especificaciones</b>	Tendrá una capacidad instalada de 7200 TR hora y se espera que entre en operación en 2021
<b>Operador</b>	Celsia
<b>Estado</b>	Primera etapa en operación

**Nota.** descripción y especificaciones de la planta de distrito térmico en Cartagena operado por Celsia.

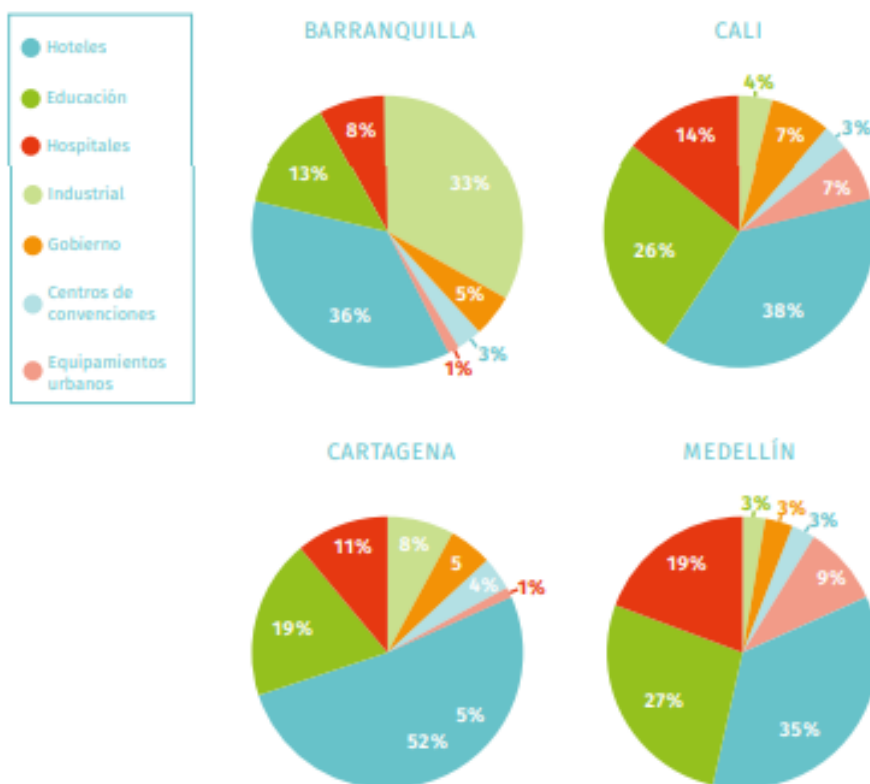
Además, están en desarrollo estudios para implementar distritos térmicos en las siguientes ciudades del país: Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, Bucaramanga,

Villavicencio y Montería. Se está evaluando la demanda potencial de frío, las condiciones del mercado, las barreras y los incentivos.

Colombia es un país que gracias a su economía e industria en crecimiento ha tenido que llevar a la expansión de sus ciudades adoptando los distritos térmicos según las necesidades de cada ciudad con beneficios en materia energética y beneficios ambientales urbanos sectorizando los centros con mayor demanda de energía para acondicionamiento de espacios en las diferentes ciudades principales del país como se muestra a continuación.

**Figura 9.**

*Caracterización de la oferta y la demanda de servicios de energía térmica en Colombia.*



**Nota.** Caracterización del servicio energético según industrias. Tomado de: Ministerio de Ambiente (2019) *Los distritos térmicos, una apuesta a la sostenibilidad urbana* [archivo en PDF]. <https://distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2019/09/Revista-Los-distritos-t%C3%A9rmicos-una-apuesta-de-sostenibilidad-urbana-1.pdf>



#### **4.1.2. Beneficios de la implementación de los distritos térmicos**

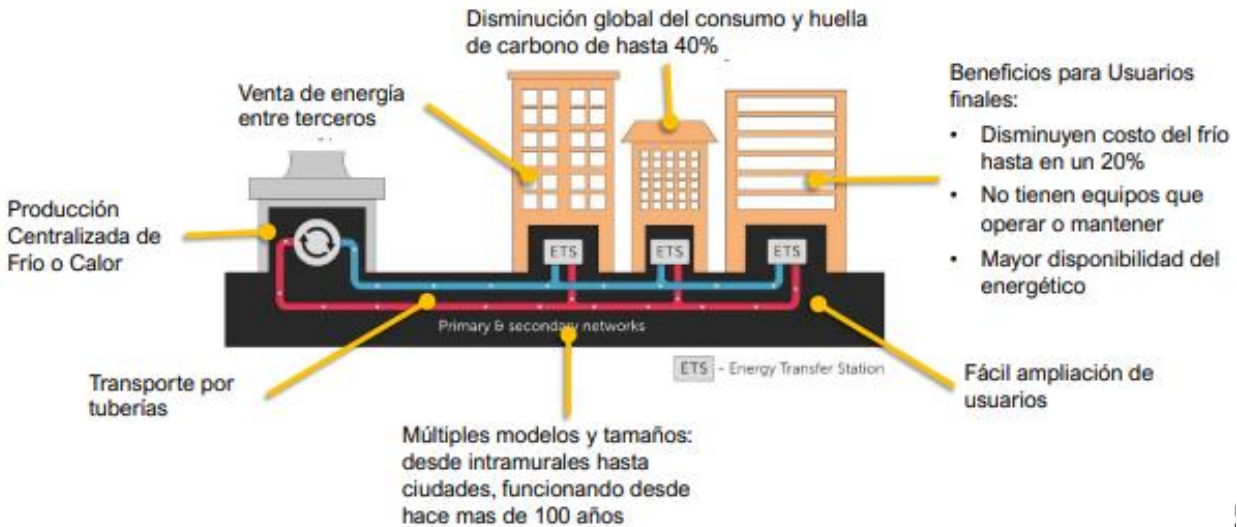
Los distritos térmicos permiten el suministro de múltiples servicios energéticos a partir de un único sistema que pudiera funcionar en cogeneración, lo que aumenta la eficiencia en los procesos, reducción de costos asociados a la operación de estos complejos y en la calidad del servicio. Esto representa ahorros económicos y energéticos en los edificios que usan la energía eléctrica para refrigeración. En el ámbito mundial, los distritos térmicos operan con eficiencias que pueden alcanzar hasta un 93%, según informes de las Naciones Unidas.

En Colombia la matriz es altamente dependiente de la generación hidráulica, por lo cual las emisiones asociadas son de por sí bajas. El hecho de que los distritos térmicos se conciben con equipos de alta eficiencia para la producción centralizada se traduce en una mayor eficacia y en un menor consumo eléctrico por unidad de energía térmica producida, en comparación con los sistemas convencionales que pretenden reemplazar (Orozco, 2019).

Se enmarcan innumerables beneficios para la implementación de los distritos térmicos en el país de los cuales los más importantes son los siguientes:

**Figura 10.**

*Beneficios de los distritos térmicos.*



**Nota.** Ventajas asociadas a la implementación de distritos energéticos. Tomado de Distrito térmico intercontinental (2021). Distrito energético, [Archivo en pdf] <https://www.districtoenergetico.com/wp-content/uploads/2021/06/PPT-CONVEX.pdf>

#### **4.1.3. Energías Convencionales empleadas para refrigeración o calefacción**

El mundo avanza y con él las tecnologías y la manera en que se consumen los recursos naturales, y con el tiempo se va adquiriendo concientización ambiental con respecto a la disminución de los impactos que estos puedan generar, con conceptos como transición energética que es el cambio a un sistema de energías con bajos índices de contaminación, en esta transición la participación de las energías convencionales como energía primaria está alrededor del 81%, (WEF, 2019) lo cual propone como realidad la implementación de nuevas fuentes de energías y nuevas tecnologías. Las posibilidades de la utilización del gas como sustituto están teniendo cada vez más fuerza en el país siendo los yacimientos de este gas fuentes prometedoras a corto y largo plazo aumentando la inversión extranjera y la generación de ingresos.

✓ **Proyección de capacidad instalada de generación eléctrica entre los años 2013-2026**

Para este periodo de tiempo se utilizó información disponible en la UPME en abril de 2013, la cual es insumo para el Plan de Expansión de Referencia de Generación Transmisión que anualmente publica la entidad en donde relacionamos el origen de la energía eléctrica que finalmente utilizamos en hogares e industria la cual una fracción está destinada a calefacción y refrigeración.

Realizando una relación del año 2022 y el año 2025, en fuente de generación hidráulica se verá un aumento en 100 MW con relación al uso de energía eléctrica, por otro lado el gas tendrá una disminución de 100 MW, por otro lado el carbón, no tiene participación significativa en el país para generación de energía.

**Tabla 1:**

*Matriz energética colombiana - Proyección de la capacidad instalada de generación eléctrica 2013-2026*

	Hidráulicos	Gas	Carbón	Menores	Total
	[MW]				
2013		40			40
2014	1,260		164	40	1,464
2015	165		410		575
2016					
2017		88			88
2018	1,552				1,552
2019	600				600
2020					
2021	1,000			70	1,070
2022	600	300	300		1,200
2023					
2024					
2025	700	200		30	930
2026					

**Nota:** Proyección de consumos energéticos tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf]

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

✓ **Proyección de capacidad instalada y demanda de energía eléctrica**

Teniendo la proyección de demanda máxima de potencia y la relación antes descrita, se estimó hasta el año 2050 la capacidad total de generación con que debía contar el sistema. Posteriormente, se procedió a establecer cómo esa capacidad se distribuía entre las distintas fuentes (hidráulica, gas natural, carbón, plantas menores y cogeneración), analizando información histórica según se explica a continuación

**Tabla 2:**

*Distribución de capacidad instalada para generación eléctrica del sistema para el 2050*

<b>Tipo de Generación</b>	<b>Porcentaje de Participación</b>	<b>Capacidad Instalada [MW]</b>
Hidráulica	64%	26,310
Térmica a Gas	26.20%	10,715
Térmica a Carbón	4.80%	2,041
Menores Hidráulicas	4.60%	1,754
Cogeneración	0.40%	159
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>40,980</b>

**Nota.** Representación porcentual de índices de capacidad instalada para el 2050. Tomado del 40. Unidad de Planeación Minero-Energética. (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. [Archivo en pdf] [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/)

Se presenta a continuación información con la entrada de la capacidad instalada de generación por tecnología, con su distribución regional con las cuales se puede realizar la proyección de los distritos térmicos dependiendo del combustible con el que comience su operación y funcionamiento así como también de su ubicación estratégica en el país en la cual es importante destacar la fuente de mayor capacidad instalada es la hidráulica con participación del 64% es decir 26,310MW del total en el país seguida por la térmica a gas con una participación de 26,20% con 10,715 MW.

**Tabla 3:**

*Distribución de tecnologías por región.*

<b>Región</b>	<b>Hidráulico</b>	<b>Gas</b>	<b>Carbón</b>
Noroccidente - Antioquia	53%	11%	0%
Centro - Cundinamarca y Boyacá	21%	0%	43%
Tolima y Huila	9%	0%	0%
Nororiente - Santander y Casanare	6%	14%	25%
Suroccidente - Valle del Cauca y Cauca	4%	10%	0%
CQR - Caldas, Quindío y Risaralda	4%	1%	0%
Costa Atlántica	3%	64%	32%

**Nota :** Balance energético por regiones de alta demanda Tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

En el módulo de energía se tiene en cuenta las actividades que utilizan materias primas para producción y uso de la energía, como lo son quema de combustibles fósiles, emisiones fugitivas y quema de biomasa. A pesar de que la mayor parte de la energía eléctrica del país es generada con agua, para mantener la estabilidad y confiabilidad del sistema, es necesario cubrir parte de la demanda con plantas térmicas, lo que lleva a que este sector contribuya en un 8.5% del total de las emisiones nacionales, por la quema de gas natural y carbón (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021).

El Ministerio de Minas y Energía entidad líder del sector minero energético dictamina que la matriz eléctrica colombiana para el 2018, dependía en un 63,4% del recurso hídrico, 12,3% del gas, 9,3% del carbón, 7,8% de combustibles líquidos, un 6% de plantas menores y sólo un 1% de fuentes no convencionales, es decir se contaba con una capacidad instalada de generación con fuentes alternativas de 50MW (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021).

## **5.COMBUSTIBLES PARA LA OPERACIÓN DE DISTRITOS TÉRMICOS CON RELACIÓN ENTRE FUENTES CONVENCIONALES DE ENERGÍA**

Los combustibles fósiles comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial y el sistema energético es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.) En vista de que se cree que las emisiones de metano y otros contaminantes climáticos de corta vida están muy subestimadas, es probable que la producción y el uso de energía sean la fuente de una proporción de emisiones incluso mayor. Asimismo, gran parte de los combustibles de biomasa se usan actualmente para calefacción y cocina a pequeña escala en todo el mundo. Estos combustibles son extremadamente ineficientes y contaminantes, sobre todo en lo que respecta a la calidad del aire interior en muchos países menos adelantados.

Las energías renovables no se pueden usar de forma uniforme en todo el sistema energético para sustituir el uso de combustibles fósiles hoy en día, principalmente por la variación en la capacidad de los diferentes subsectores energéticos para pasar de los combustibles fósiles a las energías renovables. Por ejemplo, en algunas aplicaciones industriales, tales como la producción de cemento y acero, las emisiones proceden tanto del uso de energía como del proceso de producción. Las tecnologías alternativas que pueden sustituir a las técnicas actuales de producción aún no están disponibles a la escala necesaria, por lo que se espera que estas técnicas persistirán de corto a medio plazo. En estos casos, el secuestro del carbono puede proporcionar una solución coherente con las demandas actuales y permitir el tiempo necesario para desarrollar enfoques alternativos para el futuro (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> no son la única cuestión que es necesario abordar en el uso de combustibles fósiles. Se estima que la cadena de valor del combustible fósil emite 110 millones de toneladas de metano al año en la producción y el uso de gas natural, carbón y petróleo. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.) Esto representa una gran proporción de todas las emisiones de metano. Al ser un potente gas de efecto invernadero, se deben reducir considerablemente las emisiones de metano.

### **5.1. Gas como combustible**

El gas natural es un combustible fósil extraído del subsuelo. Se caracteriza por la adición de algún odorante que permita su detección y es considerado el combustible fósil menos contaminante con el ambiente principalmente por no contar con toxinas en su composición. Entre las ventajas que posee se encuentra que es parte de una red de suministro que funciona todo el día, no necesita ser almacenado y al ser menos denso que al aire tiende a ir al exterior, es económico y no produce hollín ni residuos contaminantes. La composición del gas natural no es constante debido a que los porcentajes de sus componentes como metano o etano dependerán del yacimiento del cual se haya extraído el gas (Enciso, 2022).

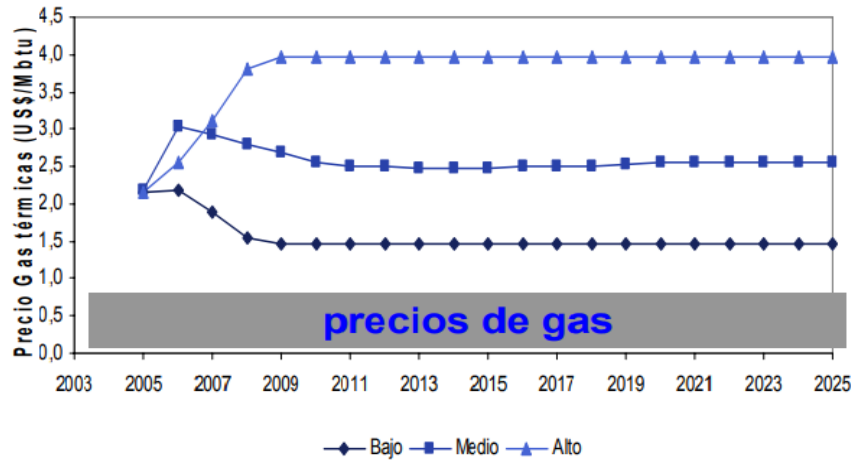
El metano es el componente primario del gas natural y se emite parte a la atmósfera durante la producción, procesamiento, almacenamiento, transmisión y distribución del gas natural. Se estima que al año se pierde alrededor de un 8% de la producción de gas natural en todo el mundo debido a escapes, fugas y quema, lo cual tiene como resultado costes ambientales y económicos considerables (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

El gas, tiene emisiones de CO<sub>2</sub> que son entre un 40% y 50% menores que las del carbón y un 25% o 30% menores que las del Diesel, sus emisiones de material particulado son mínimas y de SO<sub>x</sub> son 95% menores que las del carbón, las emisiones de óxidos de nitrógeno son un quinto de las de carbón y un 25% menores que las del Diesel (Celis, 2019).

Se presenta un escenario conformado por la oferta nacional de gas natural, proponiendo un valor competitivo frente a otras fuentes de energía para la implementación y desarrollo de distritos térmicos.

**Figura 11.**

*Precios del gas natural en el país.*



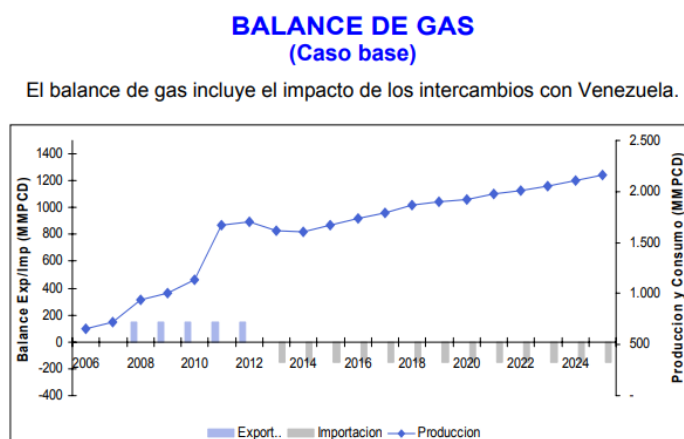
**Nota.** Balances en la demanda de gas en Colombia tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyeccion demanda energia electrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

Se observa el comportamiento de las reservas los últimos años y una proyección a lo largo de los años, sin considerar nuevos descubrimientos. La estimación fue realizada a partir de las curvas de producción esperadas, donde la curva de producción va en ascenso (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021).



**Figura 12.**

*Balance del gas desde el 2006 al 2025- relación exportación y producción y consumo.*



**Nota :** balances de exportación e importaciones dentro y fuera del país, tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) *Proyeccion demanda energia electrica y gas natural 2021 - 2035.* Colombia [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

## 5.2. Petróleo como combustible

El petróleo es el combustible más usado el cual se origina de compuestos orgánicos diferentes que se transforman en productos en un proceso de refinamiento. El petróleo no puede encontrarse de manera constante en cualquier parte de la tierra y consecuentemente es un recurso limitado a ciertas áreas geográficas provocando guerras entre los suministradores de petróleo.

Sin duda, el petróleo es uno de los recursos naturales más importantes en la economía de cualquier país; es decir, el bien básico que más se corrompe en el mundo (López et al., 2012). A esta característica se suma el hecho de ser un bien superior, condición que proviene no solamente de los aspectos no competitivos de dicho mercado, sino también del hecho de ser un recurso natural no renovable.

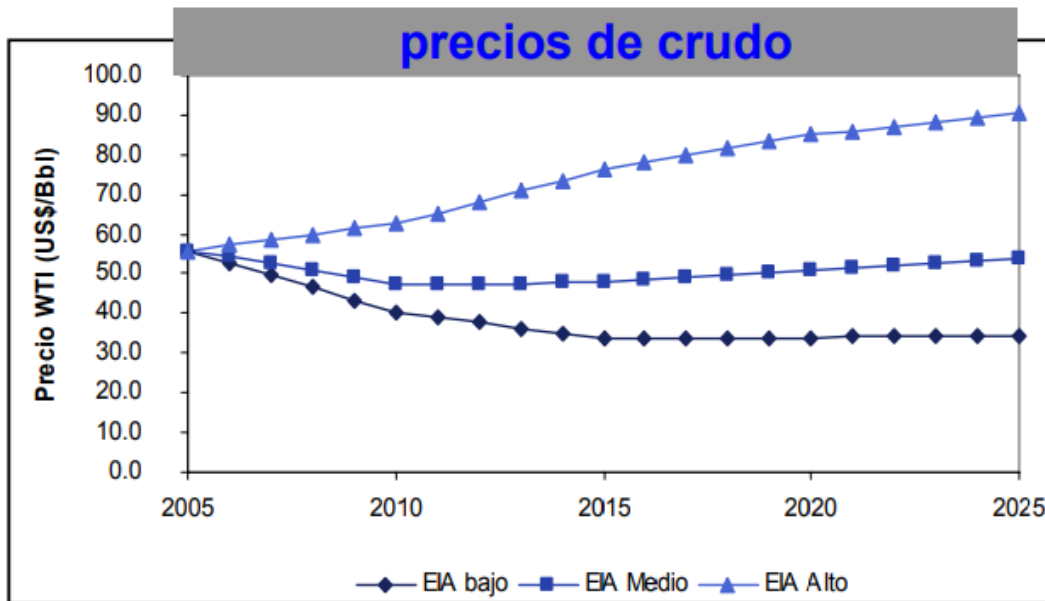
Al igual que en el caso del carbón, la formación geológica del petróleo también puede crear grandes depósitos de metano que se liberan durante la perforación y la extracción permitiendo contaminaciones y afectaciones en el medio. La producción, el refinamiento,

el transporte y el almacenamiento de petróleo también son fuentes de emisiones de metano, así como la combustión incompleta de combustibles fósiles. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.) Ningún proceso de combustión es perfectamente eficiente, de modo que cuando se usan combustibles fósiles para generar electricidad, calor o alimentar vehículos, todos contribuyen como fuentes de emisiones de metano.

El gobierno colombiano se ha visto interesado en impulsar el sector petrolero a través de la búsqueda de maneras para aumentar la producción, por lo que ha emprendido estrategias para la atracción de inversiones importantes provenientes del resto del mundo, convirtiéndose el sector en uno de los más importantes de Latinoamérica, según el Ministerio de Relaciones Exteriores (2011). Y se elabora una línea de precios del petróleo en el tiempo el cual se encuentra ligeramente en ascenso proyectándose así para el 2025.

**Figura 13.**

*Precios del petróleo en el país.*

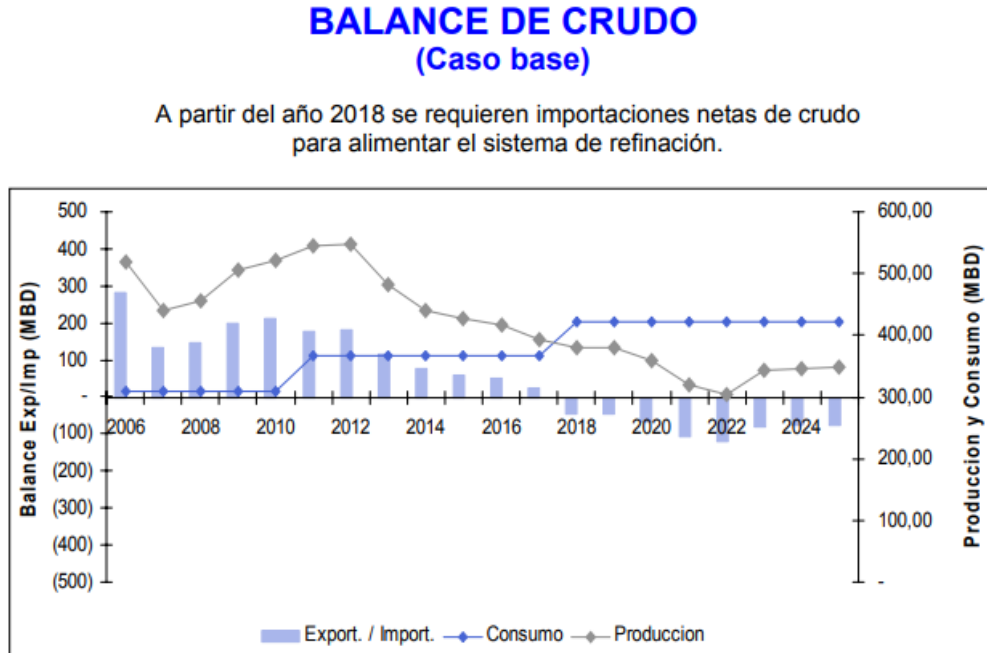


**Nota.** Proyección de crudo según su demanda tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

En la Figura 14 se observa el comportamiento y proyección de las reservas los últimos años, sin considerar nuevos descubrimientos. La estimación fue realizada a partir de las curvas de producción esperadas, (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) donde la curva de producción tuvo un ligero descenso en el año 2022 debido principalmente a los conflictos con la obtención del crudo y con esto, la necesidad de implementar nuevas estrategias limpias de energía el país, la cual e la curva se muestra actualmente en ascenso, por otro lado, la línea de consumo permanece constante desde el año 2018.

**Figura 14.**

*Balance del petróleo desde el 2006 al 2025- relación exportación y producción y consumo.*



**Nota.** Proyección de crudo según su demanda tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

### 5.3 Carbón como combustible

Carbón es un combustible fósil que se ha formado durante millones de años por el depósito y caída a la tierra de material vegetal. Cuando estas capas se compactan y se calientan con el tiempo, los depósitos se transforman en carbón, es muy abundante en comparación con otros combustibles fósiles. Sus propiedades termodinámicas permiten obtener una gran cantidad de energía calorífica (Planas, 2022).

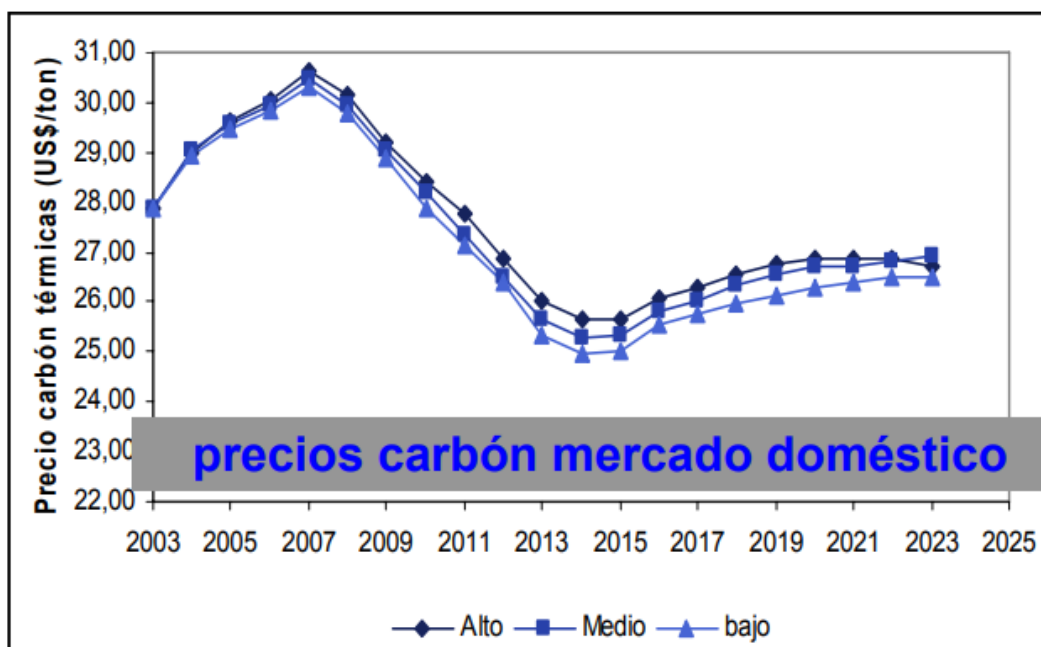
El 75% del carbón mundial se utiliza para producir electricidad en las centrales térmicas. La eficiencia energética global de las centrales de carbón no es muy elevada, alrededor de un 25%, 27%. Durante el proceso geológico de formación del carbón, quedan bolsas de metano atrapadas alrededor y en el interior de la roca. Las actividades relacionadas

con la minería del carbón (extracción, triturado, distribución, etc.) liberan parte del metano atrapado (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

El carbón es el combustible fósil que más contribuye al cambio climático a nivel mundial y las centrales térmicas de carbón son la mayor fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el ser humano. (Planas, 2022) Además, la contaminación atmosférica por gases tóxicos procedentes de la combustión del carbón está destruyendo los medios de vida. Pese al acuerdo de París, algunos gobiernos, en especial en países como China, India, EE. UU. y algunos países del este de Europa, están permitiendo que la industria gaste cientos de miles de millones de dólares para construir nuevas térmicas de carbón. Si los planes actuales siguen adelante, el carbón será responsable del 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2030 (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

**Figura 15.**

*Precios del carbón en el país.*



**Nota.** balance del consumo de carbón en el mercado doméstico tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyeccion demanda energia electrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

En la Figura 16 se observa el comportamiento de las reservas los últimos años y una proyección a lo largo de los años, sin considerar nuevos descubrimientos. La estimación

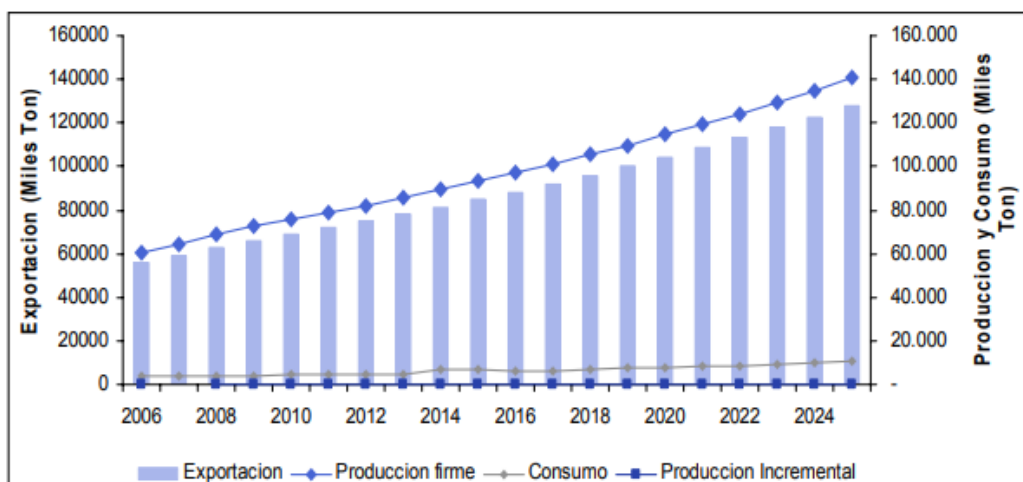
fue realizada a partir de las curvas de producción esperadas, (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) donde la curva de producción y exportación ha tenido importante ascenso en los últimos 16 años y se proyecta seguir al alza en los siguientes tres años alcanzando las 140.000 toneladas de carbón, si bien esta es una de las principales fuentes de energía, en la actualidad se busca la forma de sustituirlo ya que se ha comprobado tener efectos negativos para la salud.

**Figura 16.**

*Balance del carbón desde el 2006 al 2025 - relación exportación y producción y consumo.*

### BALANCE DE CARBÓN (Caso base)

Las exportaciones de carbón crecen aceleradamente, pero el consumo del mercado doméstico continúa siendo relativamente modesto.



**Nota.** Exportaciones y consumo del carbón mineral como combustible tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. Colombia, [Archivo en pdf] [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)

#### 5.4. Zonas de alto potencial para instalación de distritos térmicos en el país

Los estudios de las zonas de expansión urbana son fundamentales para la implementación de estos complejos energéticos, dado que usualmente se trata de proyectos de largo plazo que combinan usos mixtos del suelo y donde resultaría sencillo desarrollar un sistema durante su fase de planeación. Proyectos como la Ciudad CAN

(Bogotá) y Serena del Mar (Cartagena) son ejemplos de zonas demandantes de energía para acondicionamiento en el país. Al conocerse las características de las edificaciones que construirán en el futuro, sus ubicaciones y el cronograma bajo el cual se desarrollará el macroproyecto, incorporar un distrito térmico resultaría altamente costo-eficiente y se podría integrar como un sistema crítico para su construcción.

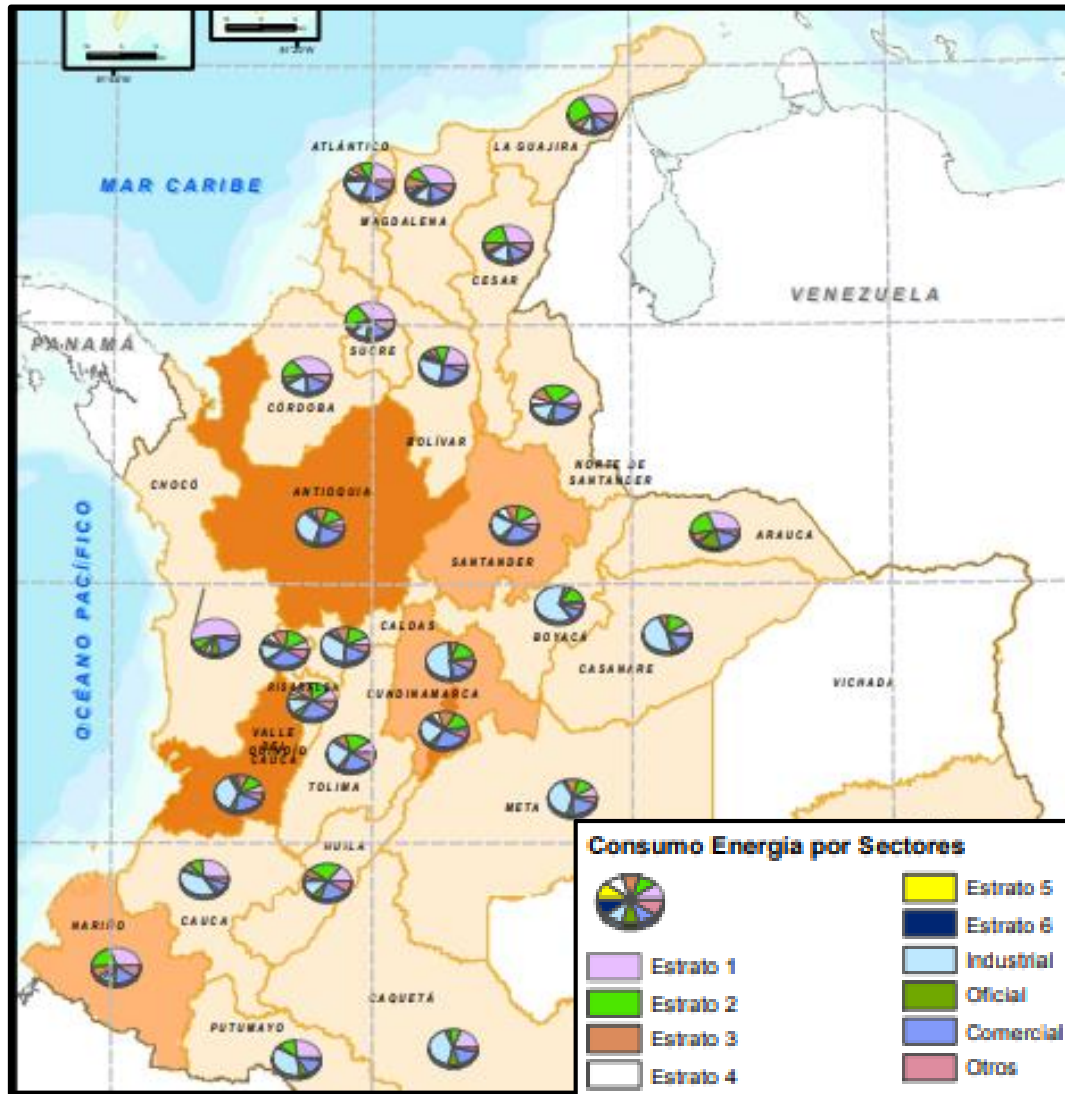
Existen una serie de características decisorias que debe reunir una localidad urbana para considerarse una zona de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano para asegurar la viabilidad con el tiempo como lo son:

- ✓ Edificaciones de alto consumo energético
- ✓ Alta densidad de construcción
- ✓ Baja presencia de obstáculos geográficos
- ✓ Conocimiento de redes preexistentes
- ✓ Edificaciones con sistemas que hayan superado al menos el 60% de su vida útil
- ✓ Consumo de energía térmica relativamente constante
- ✓ Diversidad de clientes potenciales
- ✓ Acceso a recursos energéticos de bajo costo

Existen herramientas novedosas que se han ido creando con la necesidad de la identificación de estos puntos críticos partiendo desde la planeación urbana del territorio comparando variables e indicadores que como resultado ofrecen la proyección de zonas donde la instalación de estos sistemas es beneficiosa clasificando por zonas de mayor demanda de energía para refrigeración. Una de las estrategias para este reconocimiento son los mapas energéticos en donde se identifican las ciudades potenciales para su identificación incluyendo variables simples como zonas industriales, zonas hoteleras, ciudades con mayores requerimientos de aire acondicionado entre otras variables.

Figura 17.

Ciudades potenciales para el desarrollo de un distrito térmico



**Nota :** Mapas estratificados de la demanda potencial y uso de energías convencionales en el país tomado de: (Unidad de Planeación Mineroenergética, 2021) Consumo final de energía - 2014 [Archivo en pdf] [http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/images/pdf/BOLETIN\\_2015/UPME\\_EN\\_Consumo\\_Sus\\_crioptores%20EE\\_2014.pdf](http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/images/pdf/BOLETIN_2015/UPME_EN_Consumo_Sus_crioptores%20EE_2014.pdf)

#### 5.4.1. Caracterización por sector

En esta oportunidad, se hace referencia al sector terciario. Se trata de un sector importante para que la economía fluya. Así, resulta imprescindible su correcto funcionamiento para que los sectores económicos de Colombia resulten más



productivos. La refrigeración o calefacción es uno de estos factores, y hacer que sea más eficiente también generará múltiples beneficios, haciéndolo más asequible, más seguro y sostenible, y ahorrando hasta 2.9 billones de dólares en inversión, combustible y costos de operación según la agencia internacional de energía (2018). A partir de esta división se realizó una nueva segregación en tres sectores potenciales que requieren gran demanda de energía para suplir consumo de aire acondicionado como lo son las oficinas, centros comerciales o centros de entretenimiento y los hospitales o centros de servicio médico.

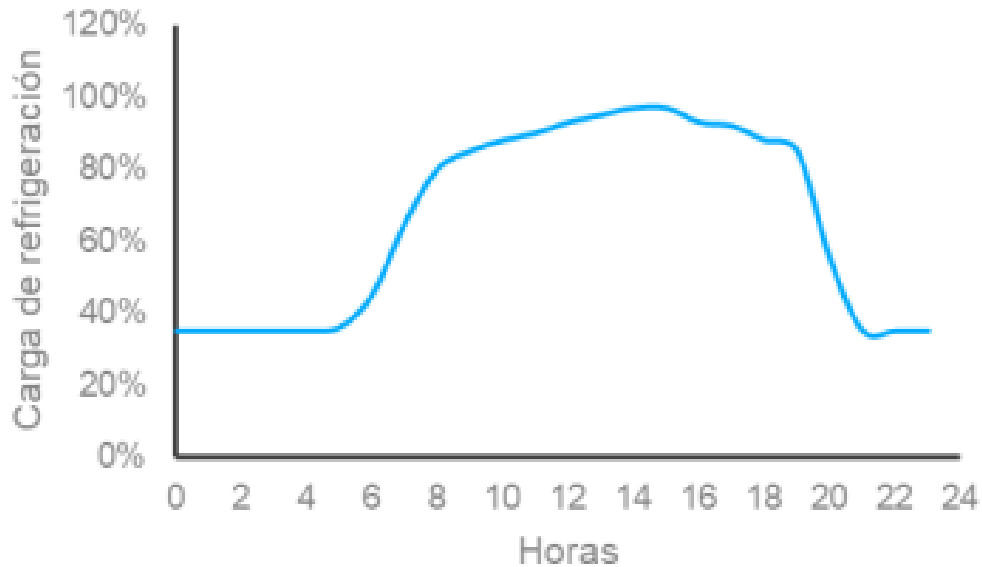
Las figuras presentadas a continuación, son resultado de una encuesta realizada por la empresa TRACTEBEL para una zona del país de clima cálido con una temperatura media anual de 24°C en diferentes sectores potenciales con respecto al uso de aire acondicionado.

De las encuestas realizadas a oficinas, se graficó la siguiente figura indicando que las horas de mayor ocupación son de 8:00 a 20:00 horas y operan en su mayoría los 5 días de la semana.

✓ **Oficinas**

**Figura 18.**

*Perfil de carga de una oficina*



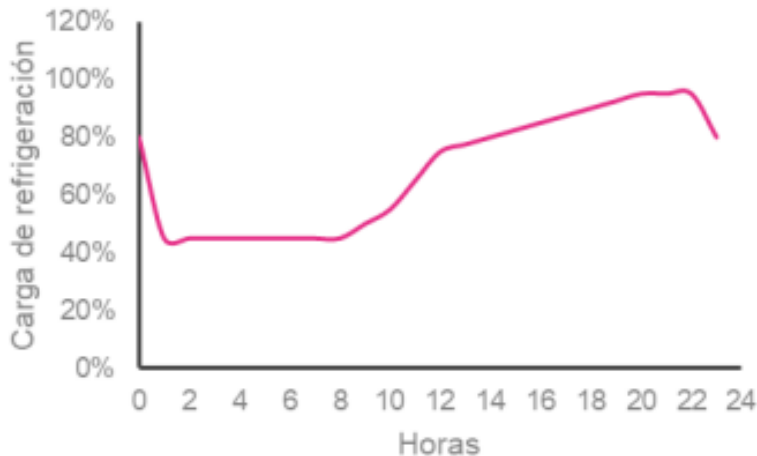
**Nota.** Carga en la refrigeración en sector de oficina, tomado de: (TRACTEBEL, 2018) Estudio de viabilidad técnica comercial y financiera para un distrito termico en Cali, [Archivo en pdf] obtenido de [https://www.districtoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009\\_P2\\_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf](https://www.districtoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009_P2_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf)

✓ **Centros comerciales**

De las encuestas realizadas a centros comerciales, se indicó en la siguiente figura que las horas de mayor ocupación son de 12:00 a 18:00 horas con una carga de refrigeración del 80% al 100% operando los 7 días de la semana el cual tiene un aumento sostenido desde las 12:00 hasta las 22:00 horas de mayor ocupación según la figura presentada a continuación.

**Figura 19.**

*Perfil de carga de un Centro Comercial*



**Nota.** Carga en la refrigeración en centros de alto tráfico, tomado de: (TRACTEBEL, 2018) Estudio de viabilidad técnica comercial y financiera para un distrito termico en Cali, [Archivo en pdf] obtenido de [https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009\\_P2\\_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf](https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009_P2_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf)

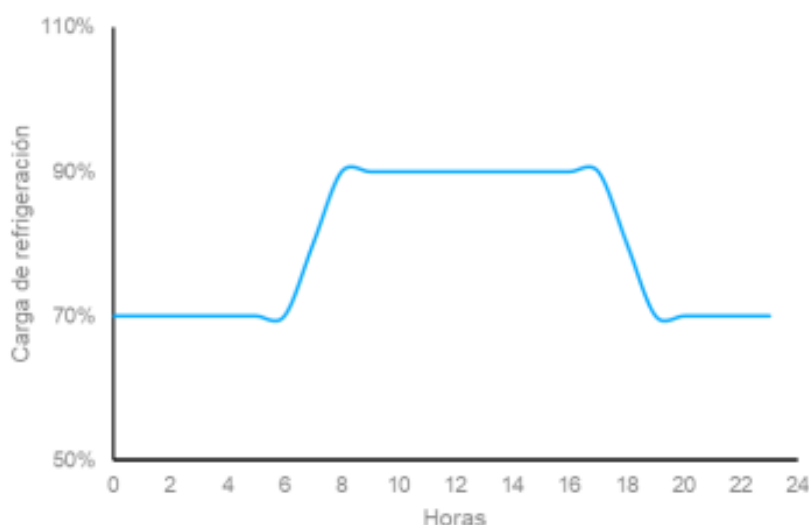
### ✓ **Hospitales**

Los sistemas de aire acondicionado en Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud son la primera barrera de defensa contra la propagación de enfermedades de transmisión aérea, pues minimizan la contaminación cruzada entre las áreas y entre los mismos ocupantes del edificio por esta razón es importante el aseguramiento de la calidad de este servicio en el país.

El perfil de carga del hospital se construyó en base a las horas indicadas de mayor ocupación y se asumió una carga de refrigeración base durante las horas de menor ocupación las cuales se estima de un 70%. Se identificó con la figura a continuación que en el centro hospitalario las horas de mayor carga del sistema de climatización son entre 8:00 y las 18:00 horas.

**Figura 20.**

*Perfil de carga de un Hospital.*



**Nota.** Carga en la refrigeración en sector hospitalario, tomado de: (TRACTEBEL, 2018) Estudio de viabilidad técnica comercial y financiera para un distrito termico en Cali, [Archivo en pdf] obtenido de [https://www.districtoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009\\_P2\\_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf](https://www.districtoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009_P2_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf)

## **5.6. Comparación entre alternativas para los combustibles de origen fósil**

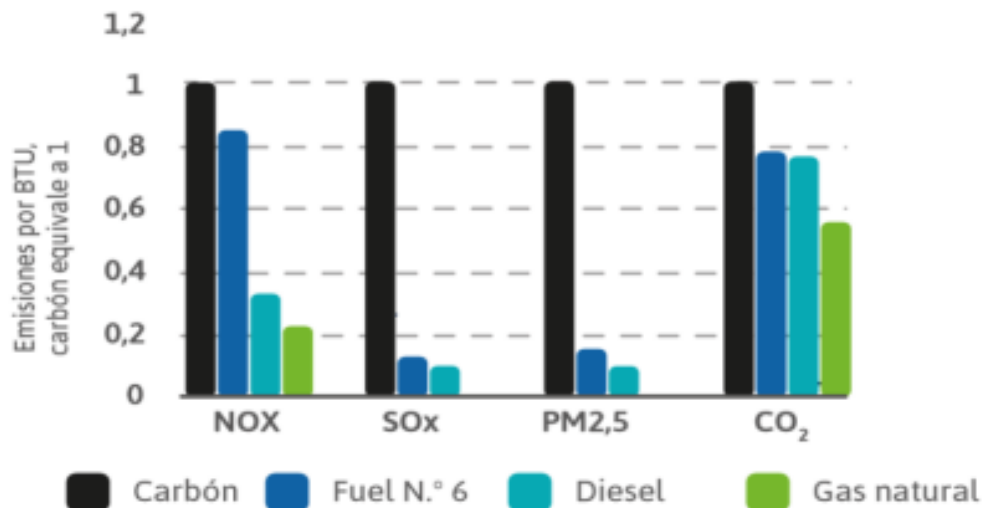
La creación de un sistema de energía sostenible para el futuro implicará una transición sustancial respecto a lo que tenemos en la actualidad. La mejora de la eficiencia no solo se relaciona con cuestiones energéticas a nivel de consumidor (tales como hogares, vehículos y electrodomésticos de alto rendimiento energético), sino también con la eficiencia energética en fases anteriores de la producción/generación, la transmisión y la distribución. Es una oportunidad para acelerar el cambio desde un modelo tradicional de venta de productos energéticos a uno que proporcione servicios energéticos basados en la innovación. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.)

El desarrollo de redes de energía que tengan reglas de funcionamiento comunes proporciona la oportunidad esencial de fomentar la colaboración entre las tecnologías, con lo que se mejoraría la penetración eficaz en función de los costos del rango más amplio de tecnologías con bajas emisiones de carbono y la resiliencia del sistema energético. Los combustibles fósiles serán parte del sistema energético mundial durante

las próximas décadas por lo que debemos encontrar la cooperación más simple y limpia entre fuentes de energía. Desde esa perspectiva, es esencial mantener un debate abierto y transparente sobre el papel de los combustibles fósiles en los sistemas energéticos sostenibles en todo el mundo para la creación de estrategias prácticas relativas al clima y cogeneraciones entre energías para alternar así también nuestras diferentes fuentes de energía. Realizando una comparación entre las emisiones provenientes de los combustibles fósiles que son más utilizados en la operación de plantas de distritos térmicos como el carbón, Diesel, gasolina y gas natural se evidencia claramente en la figura 17 que el carbón es el combustible que más genera emisiones por BTU de NOx, SOx, PM<sub>2,5</sub> y CO<sub>2</sub> seguido por la gasolina en mayor medida por la emisión de contaminantes de NOx y CO<sub>2</sub> dejando clara la elección a que energía fósil debemos apuntar para la cogeneración en los distritos térmicos.

**Figura 21.**

*Comparación de Emisiones provenientes de los combustibles fósiles.*






**Nota.** Combustibles de alta demanda en el país y sus emisiones contaminantes a la atmosfera, Tomado de: Rosario Gonzalez Celis, 2019, *Uso del gas natural en la transición energética colombiana* [Revista Universidad Jorge Tadeo Lozano] <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/15653?show=full>

Se presenta a continuación, una recopilación de la información anteriormente relacionada para dar una vista más amplia de los impactos a corto y largo plazo de la utilización de las fuentes de energía convencionales en unidades de calefacción o refrigeración urbana en el país.

**Figura 22.**

*Factores diferenciadores entre fuentes de energía convencionales*

	GAS NATURAL 	PETRÓLEO 	CARBÓN 
* Bajas emisiones contaminantes	✓	✗	✗
Fuente de energía económica	✓	✗	✓
Disponibilidad del recurso	✓	✓	✓
Mayor agotamiento del recurso	✗	✗	✗
Baja contaminación intramural	✓	✗	✗
Conexión ininterrumpida	✓	✓	✓
Bajas Emisión de metano por fugas durante producción, procesamiento, almacenamiento y transporte	✗	✗	✗
consumidores	✓	✗	✗
Recurso ilimitado	✗	✗	✗
Eficiencia en proceso	✓	✗	✗

**Nota.** Representación diferencial en fuente de energías convencionales

Como resultado de la evaluación cualitativa de los factores entre las fuentes de energía convencionales, se presenta el gas natural como la opción más acorde para resolver la problemática de contaminación y emisiones para contribuir con la necesidad de calefacción o refrigeración supliendo el funcionamiento de carbón y petróleo con gas natural reduciendo así mismo, los daños ecológicos, derrames de crudo, contaminación del aire y del suelo.

### 5.7. Indicadores

Los distritos térmicos permiten centralizar la producción de enfriamiento haciendo posible el uso de tecnologías con refrigerantes naturales ejemplo: Amoniaco, CO<sub>2</sub> e Hidrocarburos con menores impactos sobre el medio ambiente, tienen buenas propiedades termodinámicas pudiendo así contribuir con el desarrollo de sistemas eficientes y optimizando el uso de la energía en relación con la demanda de frío en las edificaciones.

A partir de los datos suministrados por el distrito térmico de la Alpujarra en Medellín, se elabora una serie de indicadores que demuestran la efectividad en reducciones de SAO (sustancias agotadoras de ozono), PAO (potencial de agotamiento de ozono) y PCG (potencial de agotamiento global) en estos sistemas de enfriamiento centralizado. Las

SAO son sustancias químicas que tienen el potencial de reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera, extendiéndose a lo largo de aproximadamente medio siglo, afectando así cientos de moléculas de ozono, por esta razón la importancia de su eliminación en un 100%.

El potencial de agotamiento de ozono se refiere a la habilidad que tienen las sustancias para disminuir la capa de ozono. Para la formulación de los indicadores de potenciales de agotamiento de la capa de ozono y reducción en usos de refrigerantes, se tomó como base el potencial asignado a cada sustancia o elemento dando un ejemplo a continuación de algunas de ellas que se usan comúnmente para la refrigeración industrial.

**Tabla 4.***Refrigerantes naturales*

REFRIGERANTE	PAO*	PCA 100**	TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	TEMPERATURA MÍNIMA
R-718 (Agua)	0	0	100	373,9
R-729 (Aire)	0	0	-194,5	---
R-717 (Amoníaco)	0	0	-33	132,4
R-744 (Dióxido de carbono)	0	1	-78	31
R-170 (Etano)	0	6	-89	32
R-600 <sup>a</sup> (Isobutano)	0	3	-12	134,7
R-290 (Propano)	0	3	-42	96,7
R-1270 (propileno)	0	2	-48	91

\*: (PAO) Potencial de agotamiento del ozono.

\*\*:(PCA100) Potencial de calentamiento atmosférico.

**Nota.** Refrigerantes potenciales para la sustitución de refrigerantes ultra contaminantes



**Tabla 5:***Características técnicas del DT de la Alpujarra en Medellín.*

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESCENARIO ACTUAL	REEMPLAZO CONVENCIONAL CON HFC	DISTRITO TÉRMICO
PAO * INSTALADAS (TON)	1,16	0	0
PCG** REFRIGERANTE INSTALADO (TON)	6800	7037,69	6,9
CONSUMO ENERGÍA (MWh)	9711,5	10297,01	7104,01
EMISIONES DE TON DE CO <sub>2</sub> DIRECTOS E INDIRECTOS AL AÑO (TEWI***)	2253,36	1800,36	1047,08

\*: PAO (potencial de agotamiento de ozono)

\*\*: PCG (potencial de agotamiento global)

\*\*\*: TEWI (medida del impacto del calentamiento global, contribución directa de las emisiones de refrigerante a la atmósfera y la indirecta debida a las emisiones de CO<sub>2</sub>)**Nota.** Indicadores energéticos para la implementación de distritos térmicos.**INDICADOR 1**

$$\begin{aligned}
 \text{AHORRO DE TON DE PCG POR REFRIGERANTE INSTALADO} &= \frac{(6,9 \text{ (Ton)}) * 100}{7037,69 \text{ (Ton)}} \\
 &= 99,9\%
 \end{aligned}$$

**INDICADOR 2**

$$\begin{aligned}
 \text{AHORRO EN MWh INSTALADOS} &= \frac{7104,01 \text{ (MWh)} * 100}{10297,01 \text{ (MWh)}} \\
 &= 31,01\%
 \end{aligned}$$

**INDICADOR 3**

$$\begin{aligned}
 \text{AHORRO EN EMISIONES KWh ANUALES} &= \frac{1047,08 \text{ (TEWI)} * 100}{1800,36 \text{ (TEWI)}} \\
 &= 41,84 \% \text{ (TEWI)}
 \end{aligned}$$

**Tabla 6:**

*Beneficios ambientales comparativos entre la sustitución convencional y el DT*

<b>BENEFICIOS AMBIENTALES COMPARATIVOS ENTRE LA SUSTITUCION CONVENCIONAL Y EL DT</b>	
SE ELIMINA EL 100% DE LAS SAO*	
99,90 %	AHORRO DE TON DE PCG*** POR REFRIGERANTE INSTALADO
31,01 %	AHORRO EN MWh INSTALADOS
41,84 %	AHORRO EN EMISIONES KWh ANUALES

*Nota.* Representación de beneficios comparativos por sustituciones convencionales

Como resultado y análisis de los indicadores señalados anteriormente, los ahorros en cuanto a PCG, SAO, PAO y ahorro de electricidad implementando los distritos térmicos son beneficiosos en diferentes sentidos, complementando también con el alto rendimiento de estos refrigerantes naturales, su confiabilidad y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas debido al consumo energético y reducciones en un 100% las sustancias agotadoras del ozono (SAO) sustituyendo el uso de los hidrofluorocarbonos. Se presentan desafíos importantes ya que en la actualidad se muestra un gran crecimiento en el consumo de equipos de refrigeración doméstica y aire acondicionado fijo, no obstante, este ejercicio servirá para plantear estrategias para sustituir el uso de las SAO por otras sustancias que no tengan potencial de agotamiento del ozono (PAO) y que tengan bajo potencial de calentamiento global (PCG), y se plantearan planes programas sectoriales específicos que promuevan cambios hacia un consumo más eficiente y responsable con el medio ambiente.

Para el siguiente indicador se relacionaron datos de las proyecciones para el año 2050 la capacidad instalada de energía para refrigeración en el país, incluyendo datos de la UPME con relación a las matrices energéticas más empleadas en Colombia (Hidráulico y Gas).

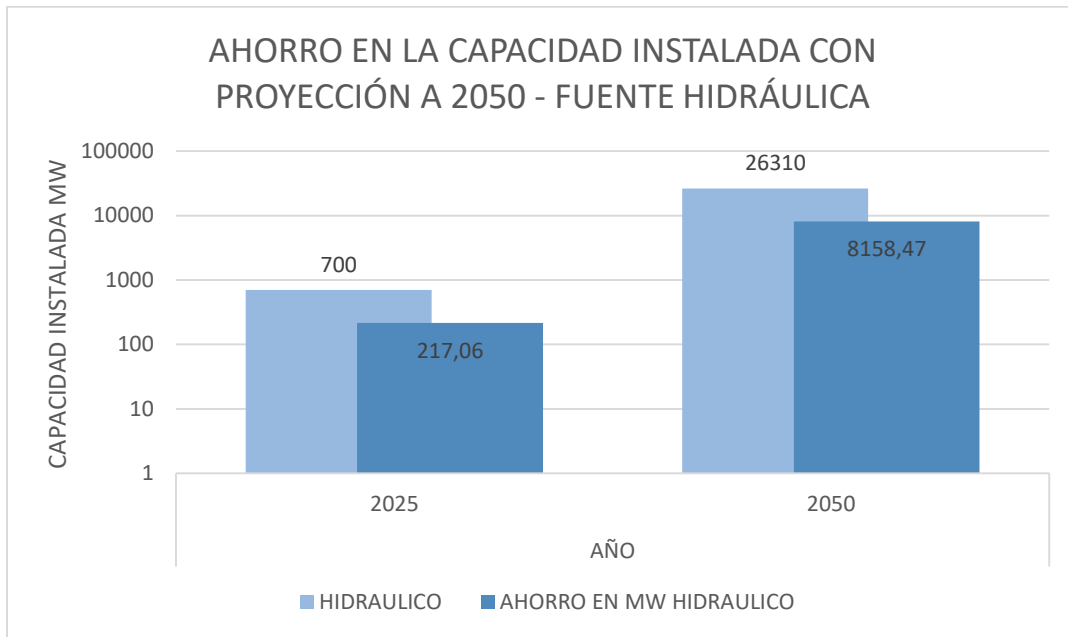
#### **INDICADOR 4**

$$\begin{aligned} & \text{AHORRO EN MW DE CAPACIDAD INSTALADA ENERGIA HIDRÁULICA} \\ & = \frac{(31,01\% \text{ ahorro MW} * 700 \text{ MW (2025)})}{100} = 217,06 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{AHORRO EN MW DE CAPACIDAD INSTALADA ENERGIA HIDRÁULICA} \\ & = \frac{(31,01\% \text{ ahorro MW} * 26310 \text{ MW (2050)})}{100} = 8158,47 \text{ MW} \end{aligned}$$

**Figura 23.**

*Proyecciones 2025-2050 capacidad instalada – fuente hidráulica.*



**Nota.** Estimaciones en ahorro en uso de energías convencionales

Apropiando como base el ahorro en MW del indicador anterior, se realizó con datos de la proyección de la UPME en los años 2025 – 2050 del ahorro en la capacidad instalada para las diferentes matrices energéticas más empleadas en el territorio por su fácil acceso, en un tiempo estimado de 25 años estimando el crecimiento de la capacidad instalada destinada para suplir servicios básicos de refrigeración arrojando como resultado para el año 2050 un ahorro de aproximadamente 8158,47 MW de energía hidráulica que bien pudiese ser destinada con otros fines reduciendo las cargas energéticas.

## INDICADOR 5

*AHORRO EN MW DE CAPACIDAD INSTALADA GAS*

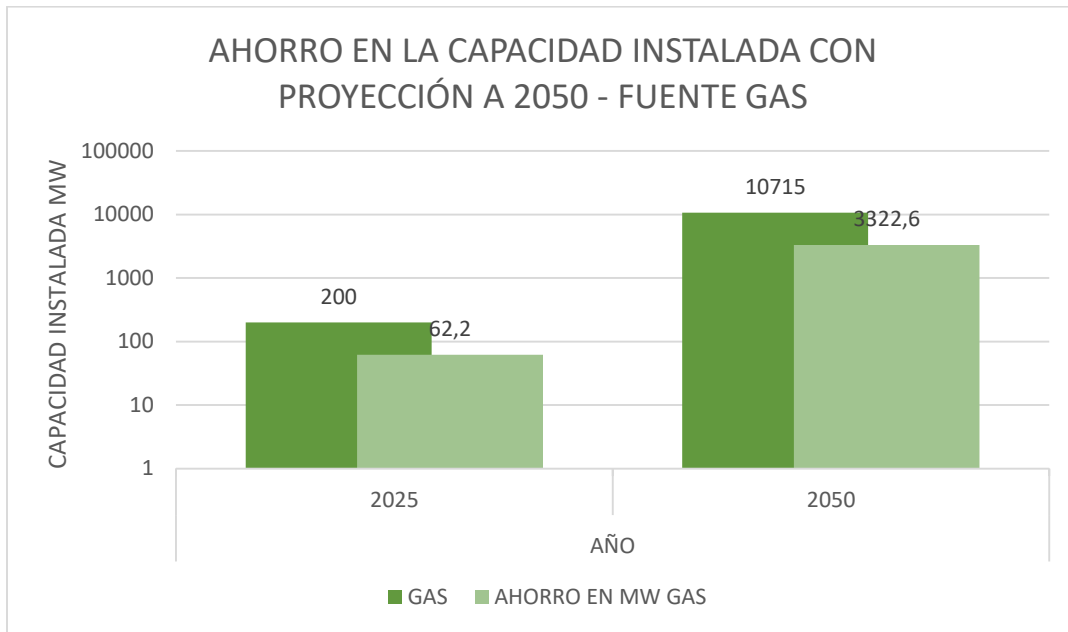
$$= \frac{(31,01\% \text{ ahorro MW} * 200 \text{ MW (2025)})}{100} = 62,2 \text{ MW}$$

*AHORRO EN MW DE CAPACIDAD INSTALADA GAS*

$$= \frac{(31,01\% \text{ ahorro MW} * 10715 \text{ MW (2050)})}{100} = 3322,6 \text{ MW}$$

**Figura 24.**

*Proyecciones 2025-2050 capacidad instalada – fuente gas.*



**Nota.** *Estimaciones en ahorro en uso de energías convencionales*

Por otro lado, definiendo en este mismo sentido la proyección para la matriz energética del gas, el ahorro para el año 2050 en la capacidad instalada asciende a 3322,6 MW teniendo crecimiento importante en la franja de proyección evidenciando el potencial para abastecer a cada vez mas personas del servicio de refrigeración pudiendo así colaborar en cogeneración para el funcionamiento de los distritos térmicos.

**5.8. Marco legal**

Dentro del amplio marco legal que sustenta la promoción de los distritos térmicos en Colombia, se destacan una serie de importantes beneficios económicos para los posibles inversionistas que opten por apoyar el desarrollo de un sistema de refrigeración. Los distritos térmicos en Colombia nacen de la necesidad de dar solución a la afectación por uso de refrigerantes como una de las acciones concretas, estratégicas y sectoriales para

alcanzar las metas del Gobierno nacional en materia de eficiencia energética, y también, para cumplir los compromisos adquiridos a nivel internacional en temas ambientales específicamente relacionados con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Un reflejo de esta visión estratégica que respalda los distritos térmicos son los incentivos tributarios y ventajas establecidas para impulsar su implementación. (Ministerio de ambiente, 2019)

De acuerdo con la Ley 1715 de 2015, reglamentada por el Decreto 2143 de 2015, los inversionistas públicos, privados o mixtos que estén dispuestos a desarrollar un distrito térmico como alternativa de eficiencia energética, puede contar con los siguientes beneficios:

- ✓ En renta, deducción hasta del 50% del valor de las inversiones, sin que el valor anual a deducir sea superior al 50% de la renta líquida.
- ✓ Exclusión del IVA por la compra de bienes, servicios y equipos nacionales e importados.

Sin embargo, en Colombia los distritos térmicos no están reglamentados como ocurre en otros países en los que llevan amplio recorrido. Si bien están cobijados por importantes beneficios, la prestación del servicio de energía térmica en sí no se considera un servicio público domiciliario, de los que trata la Ley 142 de 1994. Un reto pendiente para el país es analizar la contribución de la regulación para incentivar una adecuada estructura de mercado que impulse la mayor eficiencia y universalidad del servicio. (Ministerio de ambiente, 2019)

En Colombia, se debe cumplir con el gran reto de responder a los compromisos adquiridos por el protocolo de Montreal con el fin de eliminar las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), por otro lado, los distritos térmicos están considerados en las políticas públicas de eficiencia energética y desarrollo sostenible a través de la Resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016, sobre la adopción del Plan de acción indicativo (PAI) 2017-2022, que los incluye como línea de acción en los sectores industrial y terciario. Así mismo, en las estrategias del plan de acción sectorial (PAS) de energía y en las medidas priorizadas para la contribución nacional del país en la mitigación de gases efecto invernadero (GEI), que buscan “promover la implementación de distritos térmicos en Colombia para mejorar la eficiencia energética de los edificios y

sustituir los enfriadores que funcionan con sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y sustancias de alto impacto ambiental”. (Ministerio de ambiente, 2019)

Por otro lado, Se declara el uso racional y eficiente de la energía (URE) en la ley 697 de 2001 como un asunto de interés social, publico y de conveniencia nacional, fundamentalmente para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales (Orozco, 2019).

## **6.CONCLUSIONES**

Con estos distritos térmicos se logra la reducción de la contaminación urbana, ya que las centrales incorporan medidas de control de emisiones de alta tecnología que sería imposible instalar de manera individual como por ejemplo el caso de la Alpujarra.

Debido a la operación con equipos de alta eficiencia el Distrito Térmico tiene menor consumo eléctrico (kWh) que un sistema convencional dedicado para un cliente en particular, lo que impacta no solamente en un menor costo de operación, además, alivia la demanda eléctrica en la barra de conexión a la red, permitiendo bajar consumo en las horas de mayor uso de climatización que en general coinciden con las horas de demanda pico pudiendo establecer un sistema de cogeneración eléctrico-gas para suplir los requerimientos en general del distrito térmico.

Los beneficios ambientales entre las comparaciones para sustituir viejos sistemas de refrigeración servirán para plantear estrategias para sustituir el uso de las SAO por otras sustancias que no tengan potencial de agotamiento del ozono (PAO) y que tengan bajo potencial de calentamiento global (PCG), así, se podrán definir programas sectoriales específicos que generen cambios hacia un consumo más eficiente y responsable con el medio ambiente.

La cogeneración entre electricidad y gas natural se presentan como una opción viable siguiendo los lineamientos de sostenibilidad resolviendo la problemática de contaminación contribuyendo con la necesidad de refrigeración en comparación con otras fuentes de energía convencionales, reduciendo así mismo, los daños ecológicos contribuyendo así mismo con la sustitución de refrigerantes nocivos para el ambiente y reduciendo los costos de operación en cuanto a la fuente de energía.

Con la implementación de distritos térmicos, mejora la eficiencia energética y contribuye a la concienciación ambiental ciudadana y al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de sostenibilidad

## BIBLIOGRAFÍA

- Amy Allen, Gregor Henze, Kyri Baker, Gregory Pavlak, Michael Murphy, (2022) *An optimization framework for the network design of advanced district thermal energy systems*, *Energy Conversion and Management*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422006355>
- Agencia internacional de energía (2018) *Demanda mundial de energía de aire acondicionado se triplicaría para 2050*  
<https://www.acrlatinoamerica.com/201806058082/noticias/empresas/demanda-mundial-de-energia-de-aire-acondicionado-se-triplicaria-para-2050.html>
- Balaras, C., Grossmann, G., Henning, H.M., Infante Ferreira, C., Podesser, E., Wang, L., Wiemken, E. (2007). *Solar Air Conditioning in Europe – an overview*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 299-314,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032105000456>
- Campos, M. I. (2020). *Redes Urbanas de Calor con Biomasa*. Madrid, Soria.  
<https://oa.upm.es/57998/>
- Celis, Rosario Gonzalez (2019). *Uso del gas natural en la transición energética colombiana*. revista de investigación: universidad jorge tadeo lozano  
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/15653?show=full>
- Cubero, I. O. (2017). *UPONOR. Sistemas de distribución para redes de calor y frío*:  
<https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/10/2017-03-07-Sistemas-de-distribucion-para-redes-de-calor-y-frio-UPONOR-fenercom.pdf>
- Directiva de parlamento Europeo y el Consejo. (2018). *relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*. [Archivo en pdf].  
<https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>
- Day, R., Walker, G., & Simcock, N. (2016). *Conceptualising energy use and energy poverty using a capabilities framework*. *Energy Policy*, 93, 255-264.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516301227>
- Efraín Javier de la Hoz Granadillo, Tomás José Fontalvo Herrera, José Morelos Gómez, (2014) *Evaluación del comportamiento de los indicadores de productividad y rentabilidad financiera del sector petróleo y gas en Colombia*



- mediante el análisis discriminante, *Contaduría y Administración*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104214701597>
- Fulong Yao, Wenju Zhou, Mostafa Al Ghamdi, Yang Song, Wanqing Zhao, (November 2022) *An integrated D-CNN-LSTM approach for short-term heat demand prediction in district heating systems*, *Energy Reports*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722015311>
- F Gherardi, C Panichi, S Caliro, G Magro, M Pennisi,(2000) *Water and gas geochemistry of the Euganean and Berician thermal district (Italy)*, *Applied Geochemistry*  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292799000566>
- Hanna Breunig, Sarah Smith, Laxmi Rao, Alastair Robinson, Jacky Kinson, Robert Thornton, Corinne D. Scown, Vi Rapp,(2022) *Economic and greenhouse gas analysis of regional bioenergy-powered district energy systems in California*,*Resources, Conservation and Recycling*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922000350>
- Horta Nogueira, L. (2005). *Perspectivas de sostenibilidad energética en los países de la Comunidad Andina*. <https://digitallibrary.un.org/record/547252?ln=es>
- INTARCON. (2022) *Refrigerantes sustitutivos naturales [Archivo en PDF]*.  
<https://www.intarcon.com/refrigerantes-sustitutivos-naturales/>
- J.P. Ríos-Ocampo, Y. Olaya, A. Osorio, D. Henao, R. Smith, S. Arango-Aramburo, (2022) *Thermal districts in Colombia: Developing a methodology to estimate the cooling potential demand*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212200507X>
- Juan Yu, Lin Guo, Mengnan Ma, Salah Kamel, Wenyuan Li, Ximing Song,(2018) *Risk assessment of integrated electrical, natural gas and district heating systems considering solar thermal CHP plants and electric boilers*, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061518300978>
- Katinka Johansen, Hicham Johra, (2022) *A niche technique overlooked in the Danish district heating sector? Exploring socio-technical perspectives of short-term thermal energy storage for building energy flexibility*, *Energy*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222009781>

- M. Lelli, L. Agostini, G. Monegato, G. Cavazzini, A. Fasson, A. Giaretta, A. Galgaro, M. Doveri, (2022) *Fluid geochemistry of Lessini Mountain's thermal area: New data from Caldiero, S. Ambrogio-Colà di Lazise and Sirmione hydrothermal districts (Verona-Brescia Provinces, Italy), Geothermics, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037565052200030X>*
- Marco Wirtz, (2022) *nPro: A web-based planning tool for designing district energy systems and thermal networks, Energy, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544222034624>*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019). *Los distritos termicos, una apuesta a la sostenibilidad urbana. Colombia. <https://distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2019/09/Revista-Los-distritos-t%C3%A9rmicos-una-apuesta-de-sostenibilidad-urbana-1.pdf>*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). *Distritos térmicos guía metodológica. Colombia. [https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/11/Gui%C3%ACa-metodolo%C3%ACgica-VF\\_2020.pdf](https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/11/Gui%C3%ACa-metodolo%C3%ACgica-VF_2020.pdf)*
- Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética. - Republica de Colombia (2016). *Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. Bogotá. [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf)*
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2017). *Guía para el calculo de la huella de carbono y para la elaboracion de un plan de mejora de una organiz acion. España: Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Distrito Térmico La Alpujarra de Medellín, único en Latinoamérica, sirve de referente para empresas de servicios públicos en el país. <https://www.distritoenergetico.com/distrito-termico-la-alpujarra-pionero-en-america-latina/>*
- Ministerio del Medio Ambiente - Chile. (2015). *Guía de calefacción sustentable [https://calefaccionsustentable.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/08/GuiaCalefaccionSustentable\\_RM.pdf](https://calefaccionsustentable.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/08/GuiaCalefaccionSustentable_RM.pdf)*

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *III Congreso de Distritos Térmicos*  
[https://www.distritoenergetico.com/pdf/MEMORIAS%20CONGRESO%20DISTRI TOS%20TERMICOS%20\(ajuste\).pdf](https://www.distritoenergetico.com/pdf/MEMORIAS%20CONGRESO%20DISTRI TOS%20TERMICOS%20(ajuste).pdf)
- Ministerio de Relaciones Exteriores (2011). *Colombia, un país en diversidad energética. República de Colombia.*  
<http://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/DocEstrategicos/EnergiaWeb.pdf>
- M. Aien, M. Fotuhi-Firuzabad and M. Rashidinejad, "Probabilistic Optimal Power Flow in Correlated Hybrid Wind–Photovoltaic Power Systems," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 1, pp. 130-138, Jan. 2014,  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6693777>
- Nikolaos P. Sakkas, Roger Abang, (2022) *Thermal load prediction of communal district heating systems by applying data-driven machine learning methods*, *Energy Reports* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721015213>
- Liang Chen, Jun Cai, Songlin Gu, (May 2022) *Trajectory tracking method of natural gas, district heating and power systems*, *Energy Conversion and Management*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422002436>
- Nianci Lu, Lei Pan, Ahmad Arabkoohsar, Zhenxiang Liu, Jiaying Wang, Simon Pedersen, (2022) *Power-heat conversion coordinated control of combined-cycle gas turbine with thermal energy storage in district heating network*, *Applied Thermal Engineering*,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431122015940>
- E. López, et al. (2012) *La economía petrolera en Colombia: marco legal-contractual y sus principales efectos sobre la actividad económica del país (parte I)* Banco de la República. Bogotá, Colombia, 12 (692) (2012), pp. 25-46
- ONU (Organización de las naciones unidas). (2016). *Objetivos de desarrollo Sostenible*.  
[https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016\\_spanish.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf)
- Portillo, German. (2018). *Renovables verdes. Combustibles fosiles:*  
<https://www.renovablesverdes.com/combustibles-fosiles/>

- Olayinka Oyedepo, S. (2012). *Energy and sustainable development in Nigeria: the way forward. Energy, Sustainability And Society*
- Rudy Carrasco Vidal, Jorge Jiménez del Río, Cristian Mardones Poblete. (2016). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Análisis costo-beneficio de la calefacción distrital en la zona central de Chile.* , vol(32),, 35-45. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/issue/archive>.
- Saul, I. A. (2021). *CIC Construcción. Redes urbanas de climatización eficiente: un mercado emergente, pero en ascenso.* <https://www.cicconstruccion.com/texto-diario/mostrar/2824720/redes-urbanas-climatizacion-eficiente-mercado-emergente-pero-ascenso> España.
- Salomone González, D. (2020). *Redes de distribución de calor y frío a partir de biomasa para pequeñas comunidades en Uruguay. Memoria Investigaciones En Ingeniería, 18, 2–10.* <https://doi.org/10.36561/ING.18.2>
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2003). *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión.* [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_DE\\_ESPECIFICACIONES\\_DE\\_SISTEMAS\\_PARA\\_LA\\_E.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_DE_ESPECIFICACIONES_DE_SISTEMAS_PARA_LA_E.pdf) UPME. (2010). *Atlas de biomasa en Colombia.* [En Línea] [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/fulles/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia\\_\\_.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/fulles/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf)
- UPME (Unidad de planeación mineroenergetica). (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.* [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf)
- PME (Unidad de planeación mineroenergetica). (2021). *Proyeccion demanda energia electrica y gas natural 2021 - 2035.* [En Línea] Colombia [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Junio\\_2021.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf)
- TRACTEBEL. (2018). *Estudio de viabilidad tecnica comercial y financiera para un distrito termico en Cali. Chile.* <https://www.distritoenergetico.com/wp->

content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009\_P2\_Estudio-T%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf

- WEF 2019. *Fostering Effective Energy Transition 2019 edition*, World Economic Forum (WEF), [En línea] available from [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Fostering\\_Effective\\_Energy\\_Transition\\_2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2019.pdf) [Último acceso: 18 Noviembre 2022]
- Varnero, M. (Ed.). (2011). *Manual del biogás*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, FAO y Global Environment Facility. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/342734/>
- Vence Pareja, J., & Kammerer Kammerer, . (2016). *CRISIS EN LA COSTA CARIBE DEL SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA PRESTANDO POR LA EMPRESA ELECTRICARIBE (Posgrado)*. Universidad Santo Tomás, Valledupar.
- Zavala, César H., Pretell, Victor, Verastegui, Javier, & Ramirez, Angel. (2021). *Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera*. *Información tecnológica*, 32(2), 143-150. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200143>