

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

1

**EL IMPACTO DE LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN LA REDUCCIÓN
DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA MEJORA DEL CONFORT
DE EDIFICACIONES EN LAS CIUDADES INTELIGENTES.**



MARÍA ALEJANDRA ROCHA FIGUEROA

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
ÉNFASIS EN CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ D.C.**

2023

1

**EL IMPACTO DE LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN LA REDUCCIÓN
DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA MEJORA DEL CONFORT
DE EDIFICACIONES EN LAS CIUDADES INTELIGENTES.**



**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERIA
CIVIL, CON ÉNFASIS EN CONSTRUCCIÓN**

MARÍA ALEJANDRA ROCHA FIGUEROA

**NANCY TORRES CASTELLANOS, Ph. D.
DIRECTORA DE TESIS**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
BOGOTÁ D.C.
2023**

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

3

El proyecto de grado de maestría titulado “El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.”, presentada por María Alejandra Rocha Figueroa, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Construcción.



Nancy Torres Castellanos, Ph. D.

Directora del trabajo de grado



Firmado digitalmente 01/02/2024

Ing. Luis Alberto López González.

Jurado



Ing. Miguel Ángel Orejuela Duarte.

Jurado

3

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo de grado.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme las fuerzas para no rendirme durante este desafío.

A mi familia por su inquebrantable apoyo en los días difíciles.

A mi directora, la ingeniera Nancy Torres Castellanos por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y valiosas sugerencias fueron fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por la contribución significativa a mi formación profesional.

A mis amigas, Camila Loaiza y Luisa Rocha, por siempre estar cuando más las necesitaba.

Gracias a todos los que contribuyeron de alguna manera a este logro. Este trabajo no solo representa mi esfuerzo, sino también el resultado del apoyo.

RESUMEN

En los últimos años, la creciente demanda energética y la preocupación por el cambio climático ha llevado a Colombia a buscar alternativas energéticas más limpias y eficientes. Una de estas alternativas es el desarrollo de distritos térmicos, que se define como un sistema de redes integrado a edificaciones de áreas urbanas en las que se integran diferentes sistemas de generación, distribución y consumo de energía térmica para optimizar su eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El desarrollo de estos distritos térmicos debe ser regulado y supervisado por las Entidades gubernamentales encargadas de la regulación energética en el país. En este sentido, esta investigación analizó el impacto que tiene la implementación, operación y mantenimiento de los distritos para lograr la transición energética que requiere el país.

Para lograr este objetivo, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la regulación energética en Colombia, así como un análisis de las políticas públicas y programas gubernamentales relacionados con el desarrollo de distritos térmicos. Además, se analizaron datos de consumo eléctrico según el térmico, demostrando la reducción energética, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Los resultados de esta investigación permitieron reconocer el estado actual de la regulación energética en Colombia y su impacto en el desarrollo de los distritos térmicos en el país. Asimismo, se identificaron las barreras y oportunidades para el desarrollo de estos distritos, lo que permite proponer recomendaciones y estrategias para promover su implementación en el país. En conclusión, esta investigación contribuye a la consolidación de políticas y programas gubernamentales que promueven el desarrollo sostenible de la energía térmica en Colombia.

Palabras clave: Demanda de energía térmica; almacenamiento de energía térmica; calefacción y refrigeración urbanas; energías renovables

ABSTRACT

In recent years, growing energy demand and concerns about climate change have led Colombia to seek cleaner and more efficient energy alternatives. One of these alternatives is the development of thermal districts, which is defined as a system of networks integrated to buildings in urban areas in which different systems of generation, distribution and consumption of thermal energy are integrated to optimize their energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions.

However, the development of these thermal districts must be regulated and supervised by the governmental entities in charge of energy regulations in the country. In this sense, this research analyzed the impact of the implementation, operation and maintenance of the districts to achieve the energy transition required by the country.

To achieve this objective, an exhaustive bibliographic review of energy regulations in Colombia was carried out, as well as an analysis of public policies and government programs related to the development of thermal districts. In addition, electricity consumption data was analyzed according to the commercial, public and residential use of the conventional system vs. the consumption of a thermal district, demonstrating the energy reduction, as well as the greenhouse gas emissions, contributing to the mitigation of climate change.

The results of this research allowed recognizing the current state of energy regulations in Colombia and their impact on the development of thermal districts in the country. Likewise, the barriers and opportunities for the development of these districts were identified, which allows proposing recommendations and strategies to promote their implementation in the country. In conclusion, this research contributes to the consolidation of government policies and programs that promote the sustainable development of thermal energy in Colombia.

Keywords: Thermal energy demand; thermal energy storage; district heating and cooling; renewable energies

CONTENIDO

RESUMEN	5
CONTENIDO	7
LISTADO DE ILUSTRACIONES	12
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. Problemática de confort	14
1.2. Impacto Ambiental	15
1.3. Construcción sostenible el camino a los edificios inteligentes	18
1.4. Acuerdo de París	20
1.5. Cumbre del clima de Dubái (COP28).	23
1.6. Objetivos de desarrollo sostenible y acuerdo de París	23
1.6.1. Energía asequible y no contaminante (ODS No. 7):.....	23
1.6.2. Industria, innovación e infraestructura (ODS No. 9):.....	24
1.6.3. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 11):	24
1.6.4. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 12):	24
1.6.5. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 13):	24
1.6.6. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 17):	25
1.7. Beneficios y desventajas sobre el uso de distritos térmicos:.....	26
1.7.1. Beneficios:	26
1.7.2. Desventajas	27
2. CIUDADES PIONERAS A NIVEL INTERNACIONAL, QUE UTILIZAN SISTEMAS DE	

PLANIFICACIÓN URBANA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA	28
2.1. París, Francia:	28
2.2. Gotemburgo, Suecia:	29
2.6. Aberdeen, Reino Unido:.....	29
2.7. Vancouver, Canadá:	29
3. PROYECTOS PIONEROS QUE UTILIZAN DISTITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA.....	31
3.1. Distrito Térmico De Alpujarra, Medellin	32
3.2. Distrito Térmico Serena Del Mar, Cartagena	38
3.6. Distrito Térmico Centro Comercial Nuestro Montería, Montería.....	42
3.7. Distrito Térmico Air Liquide Tocancipá.....	42
4. FUNCIONAMIENTO DE UN DISTRITO TÉRMICO.....	44
4.1. Subsistemas	44
4.1.1. Central de producción térmica (planta de chillers)	46
4.1.2. Red de distribución de agua (red de tuberías - sistema de bombeo secundario)	50
4.1.3. Las estaciones de transferencia (interfaces con usuarios)	52
4.1.4. Fuentes de energía de un DT	53
4.1.5. Distrito Térmico Intramural	57
4.1.6. Distrito Térmico Extramural:.....	58
5. OBJETIVOS.....	62
5.1. Objetivo general:	62
5.2. Objetivos específicos:.....	62
6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	63
7. BASES TEÓRICAS Y REVISIÓN BIBIOGRÁFICA	65

8.	PANORAMA NACIONAL Y LA INFLUENCIA DE LOS DT LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.	66
9.	REGULACIÓN ENERGÉTICA Y DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA.	67
	9.1. Obligación de registro:	67
	9.2. Requisitos técnicos:.....	67
	9.3. Obligaciones financieras:	67
10.	REGULACIÓN DE CONTRATO DE SUMINISTRO DEL SERVICIO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LOS MODELOS PÚBLICOS DE LA ESP EN COLOMBIA.	76
11.	ENERGÍA TR ADICIONAL DE REFRIGERACIÓN Y ENERGÍA EFICIENTE EN COLOMBIA.	79
	11.1. Tarifas de consumo energía tradicional	80
	11.2. Costos De Inversión:.....	81
	11.2.1. Costo de desarrollo:	82
	11.2.2. Costos directos.....	82
	11.2.3. Costos indirectos.....	83
	11.3. Costos de Operación y Mantenimiento.....	83
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEMANDA.....	87
	12.1. Datos de consumo distrito térmico VS sistema convencional	87
	12.2. Uso comercial y público	88
	12.2.1. Consumos energía eléctrica según su uso (Comercial y público).....	88
	12.2.2. Consumos de energía eléctrica en sistemas de refrigeración y aire acondicionado (Comercial y público)	90
	11.2.3. Consumos de energía distrito térmico (Comercial y público)	93
	12.3. Uso residencial.....	97
	12.3.1. Consumos energía eléctrica (Residencial).....	97

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

10

12.3.2. Consumos de energía distrito térmico (Residencial)	97
12.4. Emisiones de CO ₂	100
12.4.1. Emisiones de dióxido de carbono uso comercial y público	101
12.4.2. Emisiones de dióxido de carbono uso residencial	102
12.5. Tarifas de Consumo energía de acuerdo con la fuente de energía.....	103
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
13.1. Conclusiones.....	108
13.2. Recomendaciones	111
REFERENCIAS.....	112

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Fichas técnicas aplicables a cuatro ejes temáticos: agua, suelo, energía y materiales.	43
Tabla 2 Equipos que hacen parte de la central de producción térmica.....	48
Tabla 3 Cronología – Decretos, leyes, resoluciones - Eficiencia Energética y Distritos Térmicos En Colombia	75
Tabla 4 Costo de inversión estimado en diseño de supuestos distritos de enfriamiento urbano en Colombia	83
Tabla 5 Costos de operación y mantenimiento de un Sistema convencional en Medellín	84
Tabla 6 Proyección del costo total a 30 años [USD/TR] del distrito térmico en Medellín – Sin IVA en el costo de la electricidad	85
Tabla 7 Costo total a 30 años [USD/TR] en Medellín capacidad de 20,3 MWt y tubería principal instalada de 1100m.....	86
Tabla 8 Costos de operación y mantenimiento de un distrito térmico	86
Tabla 9 Proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso comercial desde el 2023 al 2030	89
Tabla 10 proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso público desde el 2019 al 2030 .	89
Tabla 11 Consumo eléctrico total para uso comercial y público de 2019	90
Tabla 12 Porcentaje de consumo energía eléctrica por refrigeración.....	90
Tabla 13 Eficiencia energética y refrigerante en GWP	90
Tabla 14 Modelado LEAP datos de consumo uso comercial y público en kWh para consumo de neveras, aires acondicionados, refrigeración y sistemas centralizados	92
Tabla 15 Eficiencia mejorada y base del DT La Alpujarra	93
Tabla 16 Datos supuestos del DT de la Alpujarra – TR y tiempo de operación	93
Tabla 17 Datos de entrada del distrito térmico.....	95
Tabla 18 Modelado LEAP datos de consumo uso comercial y público en kWh para consumo aires acondicionados vs el distrito térmico	96
Tabla 19 Eficiencia mejorada y base del DT residencial	97
Tabla 20 Datos supuestos del DT de uso residencial - TR y tiempo de operación	97
Tabla 21 Consumo para uso residencial.....	98
Tabla 22 Modelado LEAP datos de consumo uso residencial en kWh para consumo aires acondicionados vs el distrito térmico	99
Tabla 23 Comparación de emisiones de CO ₂ en AA vs DT para uso comercial y público del 2024 .	101
Tabla 24 Tabla 23 Comparación de emisiones de CO ₂ en AA vs DT para uso residencial del 2024.	102
Tabla 25 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Bogotá - Operador ENEL.....	104
Tabla 26 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Medellín- Operador EPM.....	104
Tabla 27 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en Boyaca - Operador EBSA	105
Tabla 28 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en el Caribe - Operador Air-e.....	105
Tabla 29 Rangos de consumo, los cargos de distribución, las tarifas a usuario final Gas 2024 - Operador Vanti	106
Tabla 30 Rangos de consumo y tarifas Gas Natural 2024- Operador EPM.....	107
Tabla 31 Tarifas aplicables 2024 Barranquilla Gas Natural 2024 - Operador Gases de Caribe	107

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sectores o fuentes en el mundo que producen emisiones de dióxido de carbono	17
Ilustración 2 Fichas técnicas aplicables a cuatro ejes temáticos: agua, suelo, energía y materiales.	19
Ilustración 3 Distritos térmicos en Colombia	32
Ilustración 4 Distrito térmico en La Alpujarra en Medellín	33
Ilustración 5 Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia	35
Ilustración 6 Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia	35
Ilustración 7 Sistema y redes del Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia	36
Ilustración 8 Torres de enfriamiento - Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia	36
Ilustración 9 Planta de enfriamiento Distrito Térmico de Alpujarra, Medellín-Colombia.....	37
Ilustración 10 Planta de enfriamiento Distrito Térmico de Alpujarra, Medellín-Colombia.....	37
Ilustración 11 Microturbinas, Cartagena-Colombia	39
Ilustración 12 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia.....	39
Ilustración 13 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia.....	40
Ilustración 14 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia.....	40
Ilustración 15 Cuarto de bombas, Cartagena-Colombia.....	41
Ilustración 16 Cuarto de control, Cartagena-Colombia.....	41
Ilustración 17 Sistema General de Distrito Térmico	44
Ilustración 18 Subsistemas de distribución de energía de los distritos térmicos	45
Ilustración 19 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor	49
Ilustración 20 Puente de suministro - Distrito Termico Air Liquide- Tocancipá, Colombia	50
Ilustración 21 Sistema de Bombeo - Distrito Térmico de Serena De Mar, Cartagena-Colombia.	51
Ilustración 22 Matriz de generación de energía.....	57
Ilustración 23 Esquema distrito térmico intramural	58
Ilustración 24 Esquema distrito térmico extramural.....	59
Ilustración 25 Cuadro de Metodología de Investigación Mixta	63
Ilustración 26 Variación anual de IPC de electricidad según domino geográfico diciembre 2022.....	80
Ilustración 27 Variación mensual del Índice de Precios al Consumidor (IPC) a noviembre de 2023...	81
Ilustración 28 Procedimiento análisis de resultados de demanda.....	87

INTRODUCCIÓN

La energía térmica es un componente clave en el desarrollo sostenible de los países. En Colombia, los distritos térmicos se presentan como una alternativa para la generación y distribución eficiente de energía térmica en diferentes sectores, incluyendo la industria, la agricultura y el transporte. Sin embargo, el desarrollo de estos distritos requiere un marco normativo claro y coherente que permita su implementación y operación de manera sostenible.

En este sentido, la regulación energética se presenta como un aspecto fundamental en el desarrollo de los distritos térmicos en Colombia. La regulación debe contemplar aspectos como la promoción de fuentes de energía renovable, la eficiencia energética y la protección del medio ambiente. Además, es necesario un marco normativo que permita la participación de diferentes actores, incluido el sector público, privado y la comunidad, para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos que consideran los distritos térmicos. De igual forma, los avances tecnológicos no van a la misma velocidad de la reglamentación, pues el marco normativo tiene como objetivo la estandarización del mismo, sin embargo, se espera que las políticas que generan regulación permitan definir las reglas de operación y uso de distritos térmicos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de grado consistió en analizar la regulación energética vigente en Colombia y su relación con el desarrollo de los distritos térmicos. Para ello, se realizó un análisis de la regulación energética nacional, se identificaron las principales variables que influyen en el desarrollo de los distritos térmicos en Colombia y se proponen recomendaciones para mejorar el marco normativo y fomentar el desarrollo sostenible de los distritos térmicos en el país.

En conclusión, esta investigación contribuye al debate sobre la importancia de la regulación energética en el desarrollo de los distritos térmicos en Colombia y propone recomendaciones para mejorar el marco normativo existente. Se espera que los resultados de este trabajo de grado sean de utilidad para los diferentes actores involucrados en el desarrollo de los distritos térmicos en Colombia

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Problemática de confort

El creciente uso de aires acondicionados y equipos de calefacción en hogares y oficinas en todo el mundo será uno de los principales impulsores del crecimiento de la demanda mundial de electricidad en las próximas tres décadas, tal como lo expresó el análisis de la Agencia Internacional de Energía, (por sus siglas IEA), que enfatiza la necesidad urgente de medidas políticas para mejorar el confort ambiental de las edificaciones. (Ojea, L, 2018, p. 1). De igual forma, *“En las ciudades se están realizando importantes inversiones para construir y revitalizar vecindarios, distritos comerciales, zonas industriales abandonadas, así como sistemas críticos de infraestructura de agua, energía y transporte.”* (EcoDistricts), lo que traduce a una transformación urbana que requiere de innovación, tecnología e inversión.

Lo anterior indica que, con el paso de los años, la mayor demanda de electricidad será inminente, y será necesario suplir esta demanda mediante alternativas energéticas que garanticen el confort y el normal desarrollo de las actividades llevadas a cabo por la población. “El confort térmico tiene un impacto significativo en la satisfacción que produce el lugar de trabajo, además, los estudios demuestran sistemáticamente que incluso niveles modestos de control personal sobre el confort térmico pueden representar mejoras de un dígito en productividad” (Salud, bienestar y productividad en oficinas, World Green Building Council).

De acuerdo con un estudio realizado por la firma internacional Marsh, “es necesario discutir y analizar en las empresas el clima laboral al interior, pues sus empleados consideran que, si les brindan apoyo y bienestar, su productividad se mejoraría de forma evidente, no solo para reducir el estrés en la oficina sino para optimizar las relaciones en diferentes niveles, desde lo social, personal y familiar.” (Delima Marsh, 2022). Es decir, que la salud y productividad de las personas que laboran en diferentes espacios, dependerá del ambiente óptimo y confortable que allí se ofrezca.

1.2. Impacto Ambiental

El equipamiento de los edificios en búsqueda de garantizar el confort ambiental de los usuarios contribuye con alrededor del 40% de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero y con más de un tercio del consumo de energía a nivel mundial. (Arias, J y otros, 2021). El aire acondicionado aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero cuando se producen fugas de gas refrigerante y la calefacción emite dióxido de carbono. Por lo cual, ambos equipos se han convertido en productos extremadamente poderosos que inciden negativamente en el cambio climático, desencadenando múltiples efectos negativos en el planeta. Dichas emisiones, dependen principalmente de la mezcla de combustible en la generación de energía.

Por otro lado, se resalta que las energías renovables satisfacen el 80 % del crecimiento de la demanda mundial de energía de aquí al 2030; Además la energía hidroeléctrica sigue siendo la mayor fuente renovable de electricidad en Colombia, pero la energía solar es el principal impulsor del crecimiento, ya que establece récords de implementación cada año después de 2022, seguida de la energía terrestre y finalmente la eólica marina. Como resultado de consumo, las cifras indican que el 70% de la energía generada en el mundo es consumida en las ciudades y de ella el 50% del consumo energético es para calefacción, enfriamiento o agua caliente. **(Distrito Térmico en ciudades - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.)**. A diciembre de 2022, la capacidad instalada de generación en el Sistema Interconectado Nacional fue de 17.312 Mega-watts (MW), de esta capacidad instalada, el 68,4% correspondió a generación hidráulica, casi el 30% a generación térmica (13,3% con Gas Natural, 7,8% con combustibles líquidos y 9,5% con carbón) y aproximadamente el 1% con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) (eólica, solar, y biomasa). **(La matriz energética de Colombia se renueva, Banco Iberoamericano de Desarrollo, 2023).**

Seguidamente, Bloomberg New Energy Finance afirma que: se prevé que la demanda a nivel mundial de electricidad procedente del aire acondicionado residencial y comercial, aumente

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

16

en más de un 140% de aquí a 2050, un incremento comparable a la suma de todo el consumo eléctrico de la Unión Europea.

De igual forma y de acuerdo con lo afirmado por el director ejecutivo de La IEA el doctor Fatih Birol: *“La creciente demanda de electricidad para el funcionamiento del aire acondicionado es uno de los puntos ciegos más críticos en el debate energético actual”*, además, *“con el aumento de los ingresos, la propiedad del aire acondicionado se disparará, especialmente en el mundo emergente. Si bien esto brindará mayor comodidad y mejorará la vida cotidiana, es esencial que se priorice el rendimiento de la eficiencia para los aires acondicionados”*, Además, según la Agencia Internacional de Energía, el número de aires acondicionados en el mundo pasará de 1.6 billones (2018) a 5.6 billones (2050), principalmente instalados en países con climas cálidos/templados cuya población tendrá un crecimiento económico sustancial (India, China, Bangladesh, América Latina). De modo que, se estima una creciente demanda de aires acondicionados tradicionales en dichas regiones.

Las ciudades y barrios modernos han aumentado la isla de calor urbana (UHI), que es el aumento de la temperatura en los entornos urbanos. Este efecto es causado por una serie de razones, incluida la composición de la población y la actividad de las regiones urbanas, además de la distribución y los diseños de los barrios en las áreas modernas (**M. Detommaso, Estrategias sostenibles de enverdecimiento urbano y refrigeración para el confort térmico a nivel de peatones**).

De acuerdo con la U.S. Environmental Protection Agency, la formación de islas de calor¹, es una de las consecuencias de emplear sistemas de refrigeración y calefacción tradicionales individuales, lo cual genera mayor consumo de energía, emisiones elevadas de contaminantes

¹ Efecto de la isla urbana de calor: “Se produce cuando en un centro urbano hay una temperatura mayor que en los alrededores”, explicó a BBC Mundo Francesco Pomponi, jefe del Laboratorio de Recursos y Construcciones Eficientes, Universidad Napier en Edimburgo, Escocia

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

atmosféricos, gases de efecto invernadero (GEI), deterioro de la calidad del agua, lo anterior indica que *“las temperaturas elevadas de las islas de calor pueden afectar el medio ambiente y la calidad de vida de una comunidad de múltiples maneras.”*

A continuación, en la ilustración 1 se presentan los sectores responsables de generar emisiones de dióxido de carbono, lo que indica que la energía consumida por la industria representa el 24,2%, los sistemas de transporte el 16,2%, la energía para uso de edificaciones el 17,5%, las emisiones fugitivas representan² el 5,8%, la combustión 7,8% y la agricultura y la pesca el 1,7%. De los porcentajes de incidencia de los sectores que generan emisiones de dióxido de carbonos mencionados, las edificaciones de uso residencial y comercial representan un porcentaje de emisiones de 10,9% y 6,6% respectivamente.

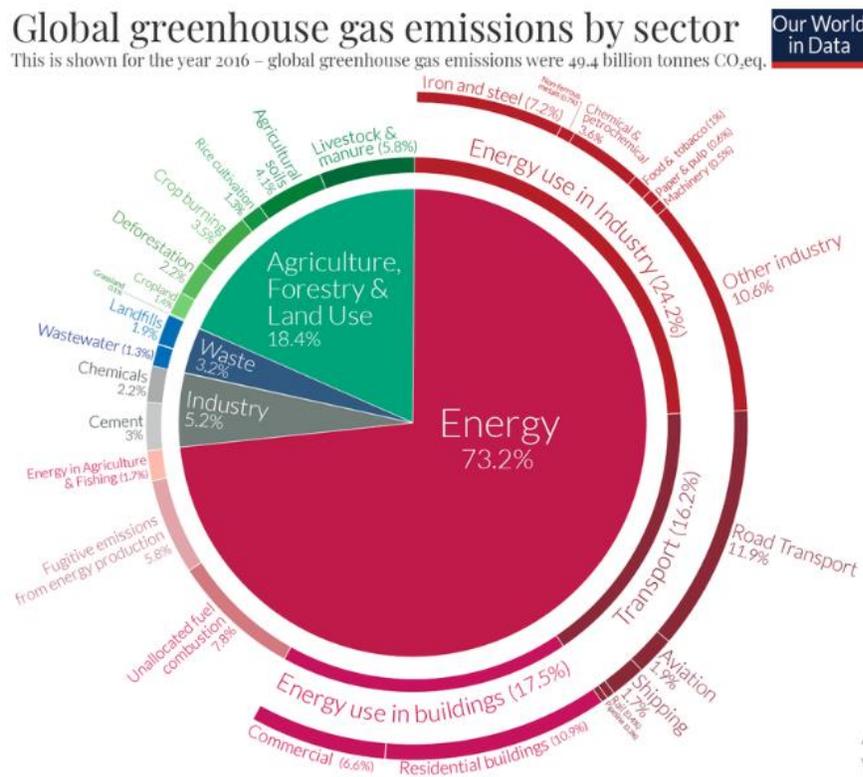


Ilustración 1 Sectores o fuentes en el mundo que producen emisiones de dióxido de carbono
Fuente: Our World in Data, 2020

² Emisiones fugitivas: Corresponden a las fugas de las instalaciones de petróleo y gas que son las provenientes de los equipos, venteo y quema en antorcha durante los procesos.

Dados los antecedentes anteriormente relacionados, es evidente que existe una problemática ambiental continua, además de un consumo frecuente de energía eléctrica en la generación de calefacción o ventilación. Bajo este panorama, en Colombia ha surgido la necesidad de aplicar e implementar la eficiencia energética para garantizar construcciones sostenibles. Como muestra de ello, se resalta que el desarrollo urbano en el mundo está ligado a los estándares de construcción, medios de transporte y planeación de los servicios públicos domiciliarios, los cuales se reflejan en la producción de emisiones de una ciudad, así como la afectación climática. Además, se resalta el impacto de la arquitectura bioclimática en la eficiencia energética de las instalaciones. Teniendo en cuenta lo anterior, y de acuerdo con la Política Nacional de Cambio Climático en el país, una línea de acción para contribuir al desarrollo urbano bajo en carbono y resiliente al clima, es incentivar la eficiencia energética residencial y no residencial; y la construcción sostenible, baja en carbono y resiliente al clima.

1.3. Construcción sostenible el camino a los edificios inteligentes

La industria de la construcción genera grandes impactos ambientales, por lo que es necesaria una reestructuración y modernización en el desarrollo de viviendas y edificios, con el fin de trabajar hacia la creación de ciudades y comunidades sostenibles. Para esto, alrededor del mundo ya se aplican distintas tecnologías y materiales inteligentes en la infraestructura y la construcción de bienes inmuebles. En este orden de ideas, es importante explorar las diferentes alternativas existentes para el desarrollo sostenible, como el uso de materiales de construcción biodegradables y reciclados, la incorporación de azoteas verdes, la auto eficiencia energética, la arquitectura de bajo consumo energético y el uso de ventanas inteligentes, denominada arquitectura bioclimática.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia define las edificaciones sostenibles como construcciones civiles diseñadas y construidas de manera segura, que incorporan componentes y materiales con bajos niveles de energía, materiales reciclables y renovables, hacen uso eficiente de la energía y el recurso hídrico, utilizan

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

19

diseños de bioarquitectura y técnicas de construcción más eficientes, son flexibles y fácilmente adaptables ante los efectos del cambio climático, tienen una vida útil mayor a la del promedio de edificaciones, se adaptan fácilmente a un rango amplio de necesidades sociales presentes y futuras, y promueven hábitos sostenibles entre sus usuarios.

El Ministerio de Ambiente, publicó el documento “*Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*”, cuyo enfoque consiste en el uso de recursos renovables en la construcción de vivienda. Los criterios allí propuestos se enfocan en tres objetivos básicos de sostenibilidad:

- a. Racionalizar el uso los recursos naturales renovables.
- b. Sustituir con sistemas o recursos alternativos.
- c. Manejar el impacto ambiental producido.

Transversal a esos objetivos, el Min Ambiente trabaja en el desarrollo de fichas técnicas aplicables a cuatro ejes temáticos: agua, suelo, energía y materiales, tal y como se observa en la ilustración No. 2, así:

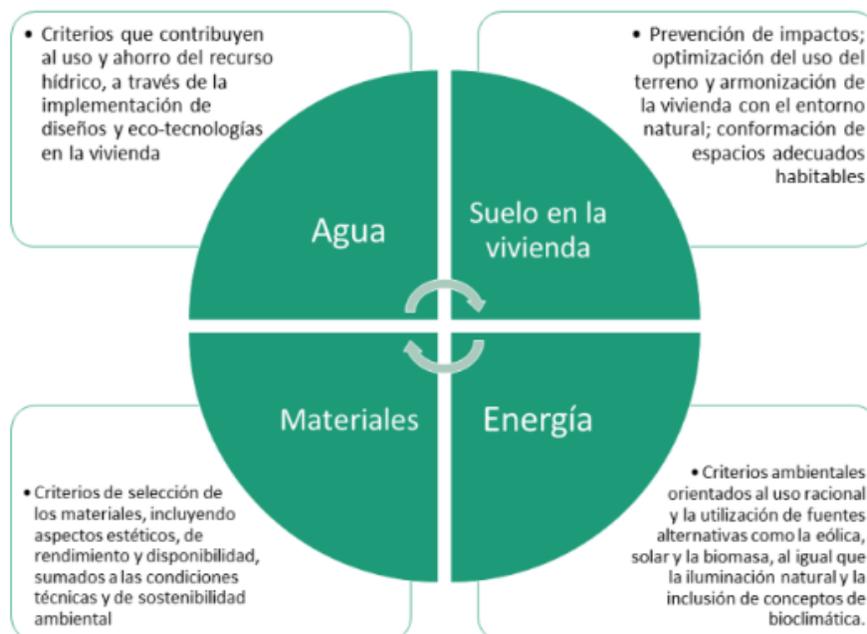


Ilustración 2 Fichas técnicas aplicables a cuatro ejes temáticos: agua, suelo, energía y materiales.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia

De los anteriores objetivos, la relación entre materiales y energía en los distritos térmicos se centra en la eficiencia de la infraestructura, la generación de energía, la distribución y la gestión del sistema, con el objetivo de proporcionar al usuario de calefacción y refrigeración de manera sostenible y eficiente.

En un mundo cada vez más consciente de la importancia de la sostenibilidad y la eficiencia energética, los distritos térmicos emergen como una solución innovadora para abordar los desafíos relacionados con la calefacción, refrigeración y suministro de energía a nivel urbano. Estos sistemas integrados representan un paso significativo hacia la construcción de ciudades más inteligentes y respetuosas con el medio ambiente. A medida que la demanda de energía sigue en aumento, la implementación de distritos térmicos a nivel internacional se presenta como una estrategia clave para optimizar el consumo de recursos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.4. Acuerdo de París

El 12 de diciembre de 2015 durante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se llevó a cabo la adopción del Acuerdo de París como un tratado internacional que fue adoptado con el objetivo a largo plazo de mitigar y adaptarse al cambio climático, manteniendo el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C y logrando bajas emisiones de carbono. (Naciones Unidas, 2015).

Como seguimiento al estado de avance y cumplimiento en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países involucrados en el acuerdo de París, se crean la Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND), que son indicadores que cuantifican la reducción de emisiones y objetivo de reducción.

Para lograr que el país se adapte al cambio, y según el panel realizado en el marco del Congreso 2022 de Naturgas y denominado 'Cómo articular la política energética de cara al carbono neutralidad', se logró inferir que “Colombia debe invertir 1 punto del PIB para

adaptarse al cambio climático, si Colombia desea enfrentar el cambio climático y adaptarse a sus efectos tendrá que realizar inversiones que equivalen a un punto de su Producto Interno Bruto (PIB).” (Revista El heraldo – octubre 2022). Es decir, que el país deberá inyectar recursos para lograr los cambios energéticos esperados.

De modo que, el país ha avanzado en la formulación de lineamientos de sostenibilidad para edificaciones a nivel normativo (CONPES 3919 del 2018 y CONPES 3918 2018.), promoviendo en la reglamentación el uso racional de energía, y propiciando un desarrollo sostenible que impulsa la creación de ciudades inteligentes. Estas medidas permitirán mejorar la calidad de vida de sus habitantes y sin duda alguna se fomentará la protección del medio ambiente en los grandes núcleos urbanos; Posterior a la Ley 697 del 2001 surge el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (Por sus siglas PROURE), el cual es un lineamiento de política pública, que tiene como finalidad promover el uso de los recursos energéticos en los proyectos de construcción. El PROURE funciona mediante el Plan de Acción Indicativo (PAI), plan que define los lineamientos de redistribución de las tareas de las empresas públicas, para lograr el desarrollo de proyectos eficientes y obtener fuentes de financiamiento. Por otro lado, de acuerdo con Brijaldo. (2021, p. 15) actualmente Bogotá cuenta con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT Bogotá reverdece) proyectado desde el 2022 al 2035, el cual espera fortalecer el déficit de hábitat sostenible ; Finalmente, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), presentó en el 2022 la actualización al Plan Energético Nacional 2020-2050, el cual tiene como objetivo promover la transformación energética impulsando el desarrollo sostenible en el país en un periodo de 30 años, y consiste en tres (3) retos de la transformación energética en la planeación del sector a 30 años: Descentralización del sistema³, descarbonización⁴ y digitalización⁵ . Indudablemente, Colombia ha ido trabajando en la adopción de diferentes alternativas para proporcionar

³ Descentralización: Conectar territorios, gobiernos y poblaciones.

⁴ Descarbonización: Acciones que permiten eliminar el consumo de combustibles fósiles que poseen carbono en su estructura molecular, y cuya combustión libera energía, contaminantes y que afectan la salud de las personas, ecosistemas–y gases de efecto invernadero.

⁵ Digitalización: Proceso de transformar procesos analógicos y objetos físicos en digitales.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

22

energías sostenibles, eficiencia y ahorros de consumo energético, ejemplo de ello son los distritos térmicos, los cuales permiten un mayor uso de fuentes de energía renovables y proporcionan una producción de energía más eficiente, reduciendo así las emisiones de carbono regionales (Paredes, B, 2021, pp. 1-3)

Por lo tanto, en pro de garantizar el confort y la calidad a los usuarios que frecuentan una edificación, la implementación de los distritos térmicos, que abarca la automatización del entorno, han tomado fuerza logrando ahorros económicos y energéticos en los edificios que usan la energía térmica. *“Se cree que las tecnologías digitales harán que todo el sistema energético sea más inteligente, eficiente y fiable y que impulsen la eficiencia y la integración de más energías renovables en el sistema.”* **(17º Simposio Internacional sobre Calefacción y Refrigeración de Distritos, 2021)**

Dadas las políticas que se están generando, respecto a la eficiencia energética de los distritos térmicos en distintos países que cuentan con ciudades inteligentes. Los estados miembros de la ONU aprobaron los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para el período 2016-2030, los cuales comprenden 17 objetivos y 169 metas. **(Cosme, J, 2018, pp. 3-4).**

A continuación, se destacan los principales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que apuntan a la eficiencia energética: Energía asequible y no contaminante (ODS No. 7), Industria, innovación e infraestructura (ODS No. 9), Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 11). Cabe resaltar que el presente trabajo está enmarcado en los objetivos de desarrollo sostenible, pues la industria de la construcción en edificaciones es demandante en el uso de recursos naturales, como materiales y energía. La extracción y procesamiento de estos recursos pueden tener impactos ambientales significativos, como la emisión de gases de efecto invernadero (11-15% de las emisiones globales de CO₂), operación de los edificios (28% de las emisiones), con la consecuente degradación del medio ambiente. A continuación, se presenta los puntos de enfoque de estos ODS.

1.5. Cumbre del clima de Dubái (COP28).

La Conferencia de las Partes (COP) es una serie de reuniones internacionales sobre cambio climático que se llevan a cabo bajo el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Estas conferencias reúnen a representantes de gobiernos, organizaciones no gubernamentales, científicos y otras partes interesadas para discutir y negociar acciones relacionadas con el cambio climático a nivel mundial. A fin de buscar un consenso, incentivaba a los estados a intensificar el desarrollo de tecnologías con bajas o nulas emisiones. Esto incluye, pero no se limita a, fuentes de energía renovable, energía nuclear, métodos de reducción y captura de emisiones, como la captura, uso y almacenamiento de carbono, y la producción de hidrógeno con mínimas emisiones de carbono. El objetivo es reemplazar de manera continua las tecnologías basadas en combustibles fósiles en los sistemas de energía. (Parra, 2023)

Finalmente, la COP28 finalizó el 13 de diciembre de 2023, luego de horas de debates, en donde quedó un acuerdo de abandonar progresivamente los combustibles fósiles por primera vez en la historia de las cumbres climáticas.

1.6. Objetivos de desarrollo sostenible y acuerdo de París

1.6.1. Energía asequible y no contaminante (ODS No. 7):

La eficiencia energética es un enfoque clave para la implementación de edificios más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Los investigadores han desarrollado tecnologías y estrategias de diseño que minimizan el consumo de energía, como la implementación de sistemas de calefacción, ventilación y aires acondicionados eficientes, iluminación LED y diseño pasivo.

Para garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, se espera por parte del gobierno inversión y fácil acceso a investigación y tecnología en Energía Limpia, con miras a lograr uno de los propósitos del objetivo de desarrollo que se enfoca en “, *aumentar la cooperación internacional de aquí a 2030 para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes*

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

24

renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes”⁶

1.6.2. Industria, innovación e infraestructura (ODS No. 9):

Tiene como finalidad construir infraestructura sostenible y fomentar la innovación, para ello será requerida la inversión en ciencia y tecnología. En Colombia se espera que el Gobierno duplique la inversión pública y privada en ciencia y tecnología en 1,5% del PIB a 2022.

1.6.3. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 11):

Lograr la transformación de ciudades seguras y sostenibles, en pro del objetivo, el Gobierno nacional adelantará acciones para reducir el número de hogares con déficit cuantitativo de vivienda de al 2,7 para el 2030.

1.6.4. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 12):

Aborda la importancia de lograr asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Además, la planificación urbana centrada en las comunidades y la importancia de las interacciones sociales en entornos urbanos. (Jacobs J). Es gracias al objetivo de desarrollo sostenible No. 12 que surgen distintas perspectivas sobre la planificación urbana y el diseño, que involucra la importante participación comunitaria y la sostenibilidad ambiental.

1.6.5. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 13):

El ODS No. 13 es de vital importancia debido a los crecientes desafíos relacionados con el cambio climático, proteger el medio ambiente, garantizar la sostenibilidad y promover un futuro más equitativo y seguro para las generaciones futuras. La relación entre el ODS No. 13 y la eficiencia energética es estrecha, ya que ambas áreas están interconectadas en la lucha contra el cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. De modo que, la eficiencia energética es una herramienta esencial para lograr los objetivos

⁶ DNP (Departamento Nacional de Planeación) – Metas del objetivo 7.A. 7.A - Invertir y Facilitar el Acceso a Investigación y Tecnología en Energía Limpia

del ODS 13 al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad en el uso de recursos energéticos. Ambas áreas se complementan en la búsqueda de un futuro más sostenible y resiliente frente al cambio climático.

1.6.6. Ciudades y comunidades sostenibles (ODS No. 17):

El ODS No. 17 destaca la necesidad de construir alianzas sólidas y colaborativas para abordar los desafíos globales. Estas alianzas son esenciales para maximizar el impacto de las acciones individuales, movilizar recursos y promover un desarrollo sostenible inclusivo y equitativo. La acción por el clima es un imperativo global que requiere la colaboración de gobiernos, empresas, comunidades y ciudadanos de todo el mundo, para ello, la mayoría de países del mundo en un compromiso conjunto para reducir las emisiones de dióxido de carbono y construir un futuro más sostenible por medio de revisiones periódicas que se hacen cada cinco (5) años, como compromiso del acuerdo de París, que es un tratado internacional adoptado en diciembre de 2015 durante la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. (López S, 2021). De igual forma, Más de 140 países se han adherido a la COP 28, aunque aún faltan algunos grandes emisores. Por otro lado, el ODS 17 proporciona el marco para fomentar alianzas y colaboraciones que pueden acelerar la transición hacia prácticas y tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético. Estas alianzas son esenciales para enfrentar los desafíos energéticos globales y trabajar hacia un futuro más sostenible y resiliente.

Por otro lado, con respecto a las políticas de regulación en Colombia, y de acuerdo con el Plan Energético Nacional, el cual presenta diferentes escenarios proyectados desde el año 2022 hasta el año 2050 para lograr el desarrollo sostenible del país a través de la transformación energética, se espera cumplir con desafíos como: Contar con la disponibilidad de recursos energéticos locales y lograr ofrecer un servicio de calidad; superar la brecha tecnológica y uso eficiente de los recursos energéticos disponibles; mitigar el cambio climático; definir cambios en el sector energético apoyados en la digitalización y la descentralización. Un cambio importante en el Gobierno Nacional, es el *'Pacto por la Justicia*

*Tarifaria'*⁷, en este programa existen compañías que se han unido al plan de reducción de tarifas como Gecelca, Urrá, Isagen y AES y recientemente Celsia, cuyo reto es continuar “*manteniendo la sostenibilidad del sector y sus agentes, que permite de esta manera una prestación eficiente, confiable y segura del servicio público, a partir de ubicar el usuario en el centro de la cadena de valor*”. Teniendo en cuenta lo anterior, y de acuerdo con las políticas públicas y las agendas internacionales, el Gobierno Nacional ha fomentado la implementación de iniciativas para lograr el cambio energético y ofrecer un servicio de calidad a los usuarios.

Dado este panorama, y en pro del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, el uso de distritos térmicos se presenta como una opción en búsqueda de ciudades inteligentes y su adopción, representa una gran serie de ventajas en el desarrollo de una urbanización y apunta a la solución parcial del déficit de energía en consonancia con los ODS. Además, en el contexto de ciudades inteligentes, la gestión de la energía es clave, y los sistemas de calefacción y refrigeración eficientes pueden contribuir a ello.

La conexión entre los ODS y el Acuerdo de París en relación con el consumo de energía térmica, radica en la búsqueda de un acceso sostenible a la energía y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para abordar el cambio climático. Por otro lado, en el siguiente numeral se mencionarán los beneficios y desventajas que conlleva la implementación de los distritos.

1.7. Beneficios y desventajas sobre el uso de distritos térmicos:

1.7.1. Beneficios:

Una visión general de las ventajas y desafíos de los distritos térmicos se presentan a continuación:

⁷ Pacto por la Justicia Tarifaria: Ajuste tarifario en el sector de servicios de energía, con el fin de apalancar el alza de precios que venían presentando en las facturas que mensualmente reciben los colombianos.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

27

- Permiten el uso de plantas de ciclo combinado, el manejo de calor residual y las fuentes de energías renovables no convencionales o fuentes naturales de calentamiento o enfriamiento.
- Son un modelo de negocio con importantes ahorros en los costos de inversión, operación y mantenimiento, con respecto a sistemas térmicos convencionales, y la reducción de gastos de compra de combustibles fósiles, entre otros.⁸
- Poca probabilidad de fuga.⁹
- Consumen menos energía por tonelada generada
- Pueden usar calor residual y Residuos sólidos Urbanos
- Disminuye los impactos ambientales, puesto que reduce la huella de carbono (emisiones de CO₂), por lo que es una inversión responsable.¹⁰

1.7.2. Desventajas

Algunas desventajas sobre el sistema se mencionan a continuación:

- Requieren contratos de servicios a largo plazo por parte del usuario.
- La viabilidad de la conexión se reduce en edificios sin sistemas centralizados.¹¹

Dado el avance que ha tenido la implementación de distritos térmicos, a continuación, se presentan algunos casos de éxito a nivel internacional y nacional, teniendo en cuenta los beneficios que estos han representado en el ahorro energético y control de emisiones.

⁸ [https://www.distritoenergetico.com/porque-son-importantes-los-distritos-termicos/#:~:text=La%20implementaci%C3%B3n%20de%20los%20distritos,de%20CO2%20\(beneficio%20indirecto\).](https://www.distritoenergetico.com/porque-son-importantes-los-distritos-termicos/#:~:text=La%20implementaci%C3%B3n%20de%20los%20distritos,de%20CO2%20(beneficio%20indirecto).)

⁹ <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/distritos-termicos-la-apuesta-de-10-ciudades-hacia-la-eficiencia-energetica/>

¹⁰ <https://blog.celsia.com/new/distrito-termico-solucion-de-eficiencia-energetica-para-tu-proyecto/>

¹¹ https://www.renac.de/fileadmin/renac/media/Projects/Low-emission_cooling/Webinar_2/2021-04-20_D_District_Cooling_-_CMOrozco_-_es.pdf

2. CIUDADES PIONERAS A NIVEL INTERNACIONAL, QUE UTILIZAN SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN URBANA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

Los distritos térmicos se caracterizan por la centralización de la producción y distribución de energía térmica, que además de promover la eficiencia energética, también fomenta la integración de tecnologías más limpias y sostenibles en el panorama urbano. En este contexto, se exploró el papel crucial que desempeñan los distritos térmicos a nivel internacional. Desde sus beneficios ambientales hasta las mejores prácticas, se examinó cómo estas redes térmicas están transformando la manera en que las ciudades planifican, consumen y gestionan su energía. Al profundizar en los ejemplos de implementación exitosa y las lecciones aprendidas, se evidencia el potencial de ciudades que han implementado sistemas de planificación urbana y distribución de la energía en el mundo para impulsar una transición hacia un futuro energético más sostenible y resiliente a nivel global, dichas ciudades se mencionan a continuación.

2.1. París, Francia:

Ciudad que tiene una de las redes de distritos térmicos más grande (longitud de red 70 km) y antigua de Europa (creada en 1991). El distrito térmico fue desarrollado a través de un modelo de alianza público-privada entre la ciudad de París y Climespace, parte del grupo Engie. De igual forma, planea reducir sus emisiones de CO₂ en un 75% para el 2050. Adicionalmente, hoy en día ha logrado abastecer de calefacción al 50% de las viviendas de interés social (más de 500 mil edificaciones). Esto demuestra que el impacto positivo que un distrito térmico puede tener sobre una sociedad no es solo en materia industrial, también puede dejar una verdadera huella en el desarrollo social de las ciudades.¹²

Según las cifras extraídas del documento sobre Distrito Térmico en ciudades, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, gracias a los distritos térmicos, en París se redujeron en un 90% las emisiones de refrigerantes, 65% el consumo de agua, y

¹² Distrito Térmico Colombia, EFICIENCIA. El impacto de los distritos térmicos en las grandes ciudades del mundo, Recuperado de: <https://www.distritoenergetico.com/el-impacto-de-los-distritos-termicos-en-las-grandes-ciudades-del-mundo/>

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

29

en un 50% las emisiones de CO₂. El distrito de París contribuye a la disminución de las emisiones de carbono, optimizando la eficiencia energética en un contexto urbano densamente poblado.

2.2. Gotemburgo, Suecia:

Cuenta con un distrito térmico de los más grandes de Suecia, construido a mediados del siglo XX, en la década de los años 70, debido a una transición uso de energía renovable. Esta transición se dio durante la coyuntura de la crisis del petróleo, donde se vio un desabastecimiento generalizado de combustible. A raíz de esta transición, el distrito térmico de Gotemburgo hoy en día es pionero en utilización de energía limpia y funciona con menos del 4% con combustibles fósiles.

2.6. Aberdeen, Reino Unido:

La implementación de redes de distrito térmico respondió a condiciones socio económico de la ciudad. Estudios desarrollados por el gobierno local mostraron una dificultad al acceso de la calefacción para los habitantes con el porcentaje de ingresos más bajo. La solución más eficiente que se encontró fue la implementación de un sistema de distritos térmicos, que redujera de manera significativa los costos de la energía, generando así, un sistema más eficiente.

2.7. Vancouver, Canadá:

Neighbourhood Energy Utility, es un distrito que inició su operación a lo largo de varias décadas y con expansiones recientes. Cubre áreas urbanas clave y se expande hacia nuevos desarrollos, cuyas fuentes de energía: incluye la energía hidroeléctrica y geotérmica, con un enfoque en la eficiencia y la sostenibilidad. La meta de Vancouver es ser una ciudad con emisiones de carbono cero para 2050, proporcionando calefacción y refrigeración de manera eficiente.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

30

Estos ejemplos de DT a nivel internacional destacan la diversidad de enfoques y tecnologías utilizados en los distritos térmicos internacionales, mostrando cómo estas soluciones contribuyen de manera significativa a la transición hacia sistemas urbanos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Además, los sistemas anteriormente mencionados han sido pioneros en la integración de diversas fuentes de energía, como la biomasa, la energía geotérmica y la captura de calor residual; esta diversidad reduce la dependencia de combustibles fósiles y aumenta la resiliencia energética, y de igual forma, al utilizar fuentes de energía más limpias y renovables, los distritos térmicos contribuyen significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que es esencial para abordar el cambio climático y cumplir con los compromisos internacionales de reducción de carbono,

3. PROYECTOS PIONEROS QUE UTILIZAN DISTITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA

En Colombia se ha generado un avance tecnológico e innovador en cuanto a proyectos amigables con el medio ambiente, siendo Colombia pionera en Latinoamérica en la promoción de los distritos térmicos, los cuales son una opción tecnológica para el desarrollo de entornos y servicios sostenibles para la climatización urbana. (**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019**). La estrategia de la implementación de Distritos Térmicos en el país inició en el año 2013 con la participación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Empresas Públicas de Medellín, Secretaría de Estado de asuntos económicos del gobierno de Suiza y la Agencia Presidencial de Cooperación. A continuación, se mencionan diferentes proyectos pioneros de distritos térmicos en funcionamiento en el país, y posteriormente se abordaran particularidades sobre cada distrito a detalle.

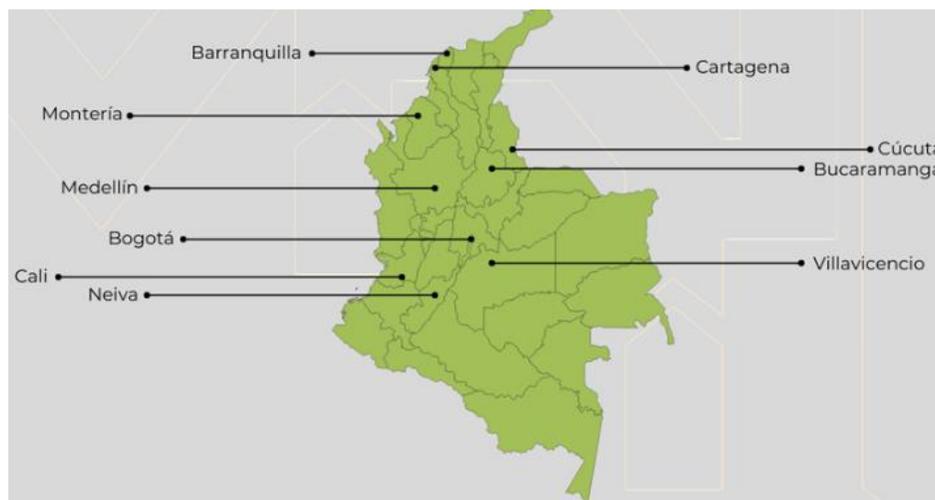
El primer distrito térmico en el país, inició su operación en diciembre del 2016 en la ciudad de Medellín, el cual se denominó *La Alpujarra*; a finales del 2017, en la ciudad de Montería entró en operación el distrito térmico del centro comercial *Nuestra Montería*, el cual permitió un ahorro del 80% el consumo de energía; luego, en abril del 2018, en el municipio de Tocancipá, se inauguró una planta de generación múltiple de Air Liquide encargada de llevar energía eléctrica, agua fría y vapor al *Parque Industrial Femsa*; finalmente, desde 2021 hasta el 2022 se inició la etapa de ejecución del proyecto urbanístico en la ciudad de Cartagena, denominado *Serena del Mar*, el cual constará de un distrito térmico, que iniciará la refrigeración de las edificaciones residenciales, además de las zonas comerciales e incluso hospitales.

En Colombia existen varios proyectos pioneros que utilizan energía térmica para mantener el confort térmico de las personas que habitan o que hacen presencia en la edificación, con el objeto de implementar estrategias de energía renovable y residual para reducir el 51% de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antes de 2030. Estos contribuyen a brindar una solución de eficiencia energética para un desarrollo urbano sostenible.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

32

(ESEficiencia.es, marzo 2022), algunos de ellos se localizan en las ciudades de la siguiente ilustración:



*Ilustración 3 Distritos térmicos en Colombia
Fuente: Revista ESEficiencia*

3.1. Distrito Térmico De Alpujarra, Medellín

En el 2004, Empresas Públicas de Medellín hizo un piloto extendiendo un tubo desde el edificio inteligente hacia unas instalaciones en Plaza Mayor, más no se definió como el primer distrito térmico, ya que era una fase de experimentación e identificación de aspectos técnicos de lo que sería una distribución de agua helada. El distrito térmico Alpujarra se consolidó en el 2016 como una central de producción de agua fría que suministra dicho líquido a los sistemas de aire acondicionado de la Gobernación de Antioquia, Asamblea Departamental, Consejo Municipal, Alcaldía de Medellín y la DIAN. Hoy en día ha conectado otras Entidades como la empresa de Desarrollo Urbano de Medellín, el Éxito de San Antonio, Plaza Mayor y el Edificio Inteligente. (**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Cristina Mariaca**). Este sistema del DT en Medellín reemplazaría el aire acondicionado tradicional con un método más eficiente para enfriar el agua a partir de gas natural que provee de energía a una bomba para suministrar el agua al sistema del aire acondicionado. Además, el sistema controla los niveles de dióxido de carbono y de monóxido de carbono que son perjudiciales para la salud, debido a que el distrito térmico permite la

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

33

renovación del aire al interior, inyectando aire fresco desde el exterior. (**Programa Internacional de cooperación Urbana**)-

En la siguiente ilustración se observan las distintas Entidades públicas y privadas beneficiadas con el funcionamiento de distrito térmico de La Alpujarra:

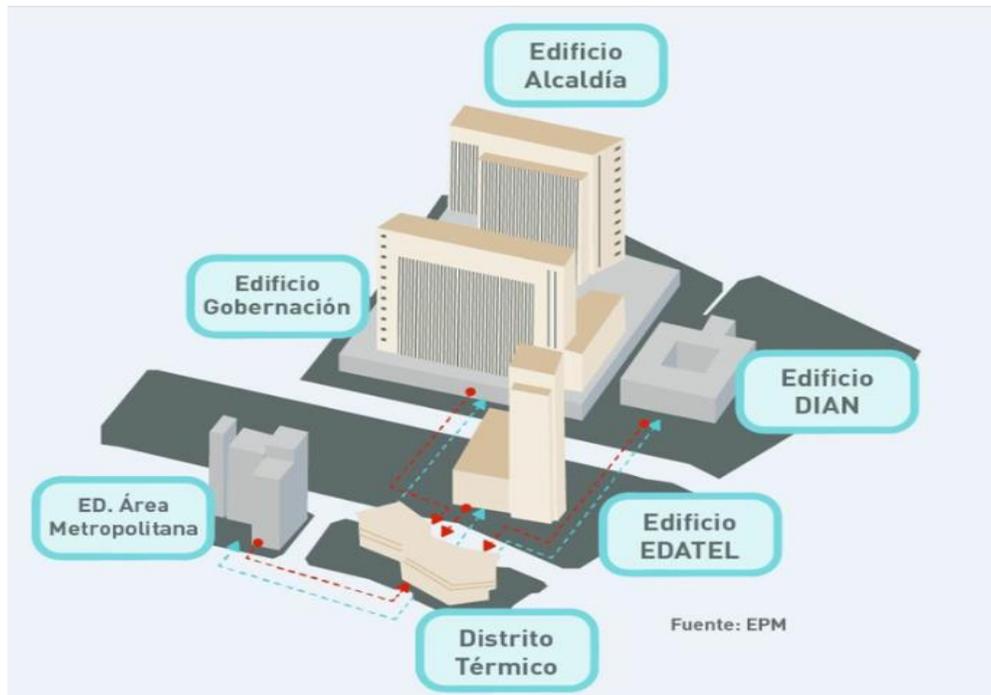


Ilustración 4 Distrito térmico en La Alpujarra en Medellín
Fuente: EPM

Una particularidad del distrito térmico de Alpujarra es el uso de amoníaco como refrigerante natural, destacado por su eficiencia y bajo costo de mantenimiento.

De acuerdo con el ingeniero Carlos Marulanda (Panelista del III Congreso Internacional de Distritos Térmicos: una alternativa ambiental y de desarrollo sostenible), afirmó que el amoníaco como refrigerante, haría parte de los sistemas mecánicos, siendo el amoníaco usado como medio principal en el sistema. Es un refrigerante natural, cuenta con un excelente coeficiente de rendimiento, es un refrigerante muy seguro y con buenas condiciones de diseño y operación. Además, cuenta con incentivos tributarios, al adquirir equipos que trabajan con refrigerante menor a 100GWP.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

34

El distrito de La Alpujarra, a junio del 2022, contaba con una demanda total reportada por estudios fuentes de 3.600 toneladas de refrigeración (TR), cubre el 30% de la demanda con energía eléctrica y el otro 70% gas natural, evitando la emisión de 1.200 toneladas de CO₂ anuales, que es el equivalente a 235 vehículos conducidos durante un (1) año, ha disminuido el uso de energía equivalente al consumo de 220 hogares durante un año y ha eliminado 100% de emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono. **(EPM, Crece el Distrito Térmico La Alpujarra, 2022)**. Además, se redujo 25% el uso de energía, se eliminaron sustancias agotadoras de ozono y se disminuyó en un 35% los gases efecto invernadero. **(Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia, 2022)**. Adicionalmente, gracias a la implementación del distrito de Alpujarra, se dejó de utilizar la energía equivalente al consumo de energía en 220 hogares durante un año. Proyectos como el de La Alpujarra han tenido un ahorro del 30% por cuenta de la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de las edificaciones que cubre. **(Revista ESEficiencia, marzo 2022)**

El Distrito de La Alpujarra tuvo una inversión estimada en USD 14 millones, de los cuales el Gobierno Suizo, a través de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO), aportó el equivalente a USD 2.129.000, y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con la Unidad Técnica de Ozono (UTO), el equivalente a USD 500.000. **(Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia, APC-Colombia, 2015)**.

A continuación, se presentan ilustraciones del distrito térmico de La Alpujarra localizado en la ciudad de Medellín y reconocido como el primer distrito térmico de Colombia,

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

35



Ilustración 5 Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia
Fuente: Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia



Ilustración 6 Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia
Fuente: Revista ESEficiencia, marzo 2022

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

36



Ilustración 7 Sistema y redes del Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia
Fuente: Noticias y novedades EPM

En la ilustración No. 8 se presenta la torre de enfriamiento del distrito de La Alpujarra de Medellín-Colombia



Ilustración 8 Torres de enfriamiento - Distrito térmico de alpujarra, Medellín-Colombia
Fuente: EPM y Distritos térmicos en las ciudades – Recorrido virtual

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

37

En las ilustraciones No. 9 y No. 10, las cuales se presentan a continuación, se observa la planta de enfriamiento del distrito térmico de alpujarra de Medellín-Colombia.



Ilustración 9 Planta de enfriamiento Distrito Térmico de Alpujarra, Medellín-Colombia

Fuente: EPM y Distritos térmicos en las ciudades – Recorrido virtual



Ilustración 10 Planta de enfriamiento Distrito Térmico de Alpujarra, Medellín-Colombia

Fuente: EPM y Distritos térmicos en las ciudades – Recorrido virtual

3.2. Distrito Térmico Serena Del Mar, Cartagena

Durante el desarrollo del primer Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos, llevado a cabo desde el 27 al 29 de septiembre de 2023 en la ciudad de Cartagena- Colombia, se realizó un recorrido de reconocimiento en compañía de la Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración -ACAIRE-, del Centro de Investigación y Desarrollo para el Acondicionamiento del Aire y Refrigeración -CIDARE-, representantes del SENA, empresas del sector privado, participación de algunas universidades del país y en representación de la Escuela Colombiana de Ingeniería se evidenció que, *Celsia* el operador del distrito de Serena del Mar, implantó el primer distrito térmico de Colombia que provee una red de agua helada, que junto con las estaciones de regulación y los equipos al interior de los apartamentos y espacios, genera Aire acondicionado a proyectos residenciales. Este sistema, fue diseñado y ejecutado por *Celsia*, permitiendo que a través de equipos que producen energía eléctrica y agua fría, se logró reemplazar los sistemas convencionales de aire acondicionado y optimizar el consumo de energía.

Según Chaverra de Latin Press (2021) lo innovador de Serena del Mar a nivel de sostenibilidad ambiental, es que todos los sistemas de aire acondicionado del distrito funcionan sin condensadoras en terrazas o balcones de los apartamentos, además, toda la instalación cuenta con tubería que lleva energía térmica (agua helada) para enfriamiento directamente a los equipos de aire acondicionado.

El Distrito Térmico logra una reducción efectiva en consumo de energía de aproximadamente 1'215,637 kWh al año, equivalentes a un 30.7% frente al uso de sistemas tradicionales de aire acondicionado. Para los usuarios del sistema, esto representa un ahorro entre un 8% a un 10%, en comparación con el costo energético de un sistema convencional.

A continuación, se evidencian algunas ilustraciones del recorrido por el Distrito de Serena de Mar:

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

39



Ilustración 11 Microturbinas, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena, 2023



Ilustración 12 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena, 2023

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

40



Ilustración 13 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena, 2023



Ilustración 14 Planta de enfriamiento, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

41



Ilustración 15 Cuarto de bombas, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena



Ilustración 16 Cuarto de control, Cartagena-Colombia

Fuente: Propia, Congreso Latinoamericano de Distritos Térmicos en el Distrito de Serena de Mar, Cartagena

3.6. Distrito Térmico Centro Comercial Nuestro Montería, Montería

El 1 de noviembre de 2017 la empresa prestadora del servicio de energía *Celsia*, incursionó en la construcción del Centro Comercial Nuestro Montería localizado en Córdoba en la ciudad de Montería. De acuerdo con *Celsia* (operador del sistema), el distrito optimiza el consumo de energía eléctrica y reemplaza el sistema tradicional de aire acondicionado, permitiendo reducir los consumos de energía de los usuarios finales, pasando de un consumo en sus unidades internas de 1,3 kW por cada tonelada de refrigeración de capacidad a 0,25 kW aproximadamente; es decir que, en términos de eficiencia energética, permitirá un ahorro en el consumo eléctrico del 80%

3.7. Distrito Térmico Air Liquide Tocancipá

En el año 2018 se inauguró la planta industrial de generación múltiple de Air Liquide, ubicada 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. (Guía metodológica, 2020)

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

A continuación, en la tabla 1, se enuncian las características y datos clave de los primeros distritos térmicos implementados en Colombia:

	Distrito Térmico La Alpujarra	Distrito térmico del centro comercial Nuestro Montería	Distrito térmico de Tocancipá	Distrito térmico de Serena del Mar
Descripción	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión de los clientes del Centro Administrativo La Alpujarra (Alcaldía de Medellín, el Concejo Municipal, la Gobernación de Antioquia, la Asamblea Departamental y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales)	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión del cliente y con distribución interna a 156 subclientes (usuarios comerciales)	Producción y distribución de energía eléctrica, vapor, gas carbónico alimentario, aire comprimido, nitrógeno y agua helada para procesos a las empresas del parque industrial Femsa	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
Especificaciones	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	Actualmente tiene una capacidad instalada de 1410 TR-hora y consta de dos enfriadores eléctricos y uno de absorción	Turbina a gas de 5MW; 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	Tendrá una capacidad instalada de 7200 TR-hora y se espera que entre en operación en 2021
Inversiones	COP \$52000 Millones	-	USD \$40 millones	-
Operador	EPM	Celsia	Air Liquide	Celsia
Estado	En operación desde 2016	En operación desde 2017	En operación desde 2018	Primera etapa en operación

Tabla 1 Fichas técnicas aplicables a cuatro ejes temáticos: agua, suelo, energía y materiales.

Fuente: Guía metodológica. Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019

A continuación, se describe el funcionamiento de un distrito térmico y los sistemas que lo conforman

4. FUNCIONAMIENTO DE UN DISTRITO TÉRMICO

Un Distrito térmico es equivalente a lo que se conoce con el nombre de District Heating and Cooling (DHC). Es un sistema centralizado de generación de energía, cuyo objetivo principal es proveer agua caliente o fría por medio de redes, lo cual es un sistema alternativo a los sistemas convencionales de aire acondicionado o calentamiento de agua. La generación de la energía térmica se produce por medio de calderas, chillers u otras tecnologías (Geotermia, WtE, calor residual de la industria).

Con el objeto de dar claridad al lector sobre el modelo general de distrito tratado en el presente trabajo de grado, a continuación, en la ilustración No. 17 se tiene un modelo de sistema centralizado, es decir un distrito térmico. Como se observa, los sistemas de distribución de energía distrital consisten en la materialidad de las tuberías, arquitectura de las redes, sistemas de bombeo e instalaciones de redes y compatibilidad con otros servicios subterráneos, los cuales se describen a continuación.

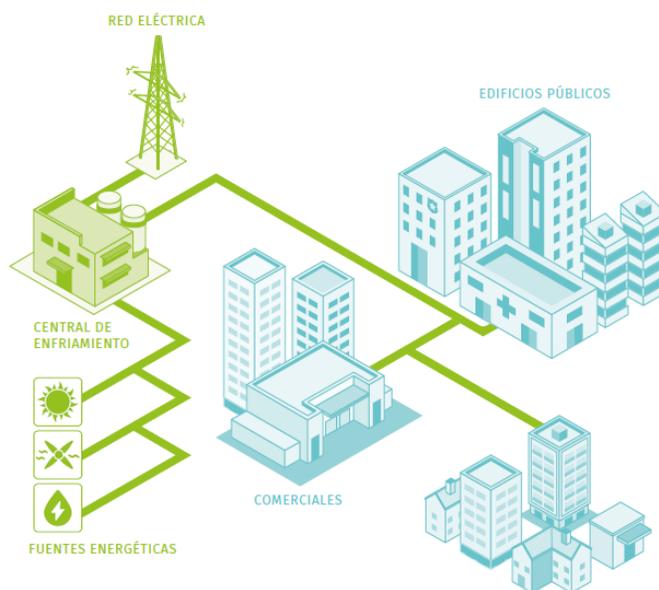


Ilustración 17 Sistema General de Distrito Térmico

Fuente: Guía Metodológica Distritos Térmicos - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

4.1. Subsistemas

Un Distrito Térmico de refrigeración está compuesto por los siguientes subsistemas o componentes, que tienen como objetivo cumplir con la funcionalidad del distrito térmico:

- La central de producción térmica (planta de chillers)
- La red de distribución de agua (red de tuberías)
- Las estaciones de transferencia (interfaces con usuarios)

Se presenta en la ilustración No. 18 un diagrama conceptual que indica la descripción de cada componente de un distrito térmico, así:

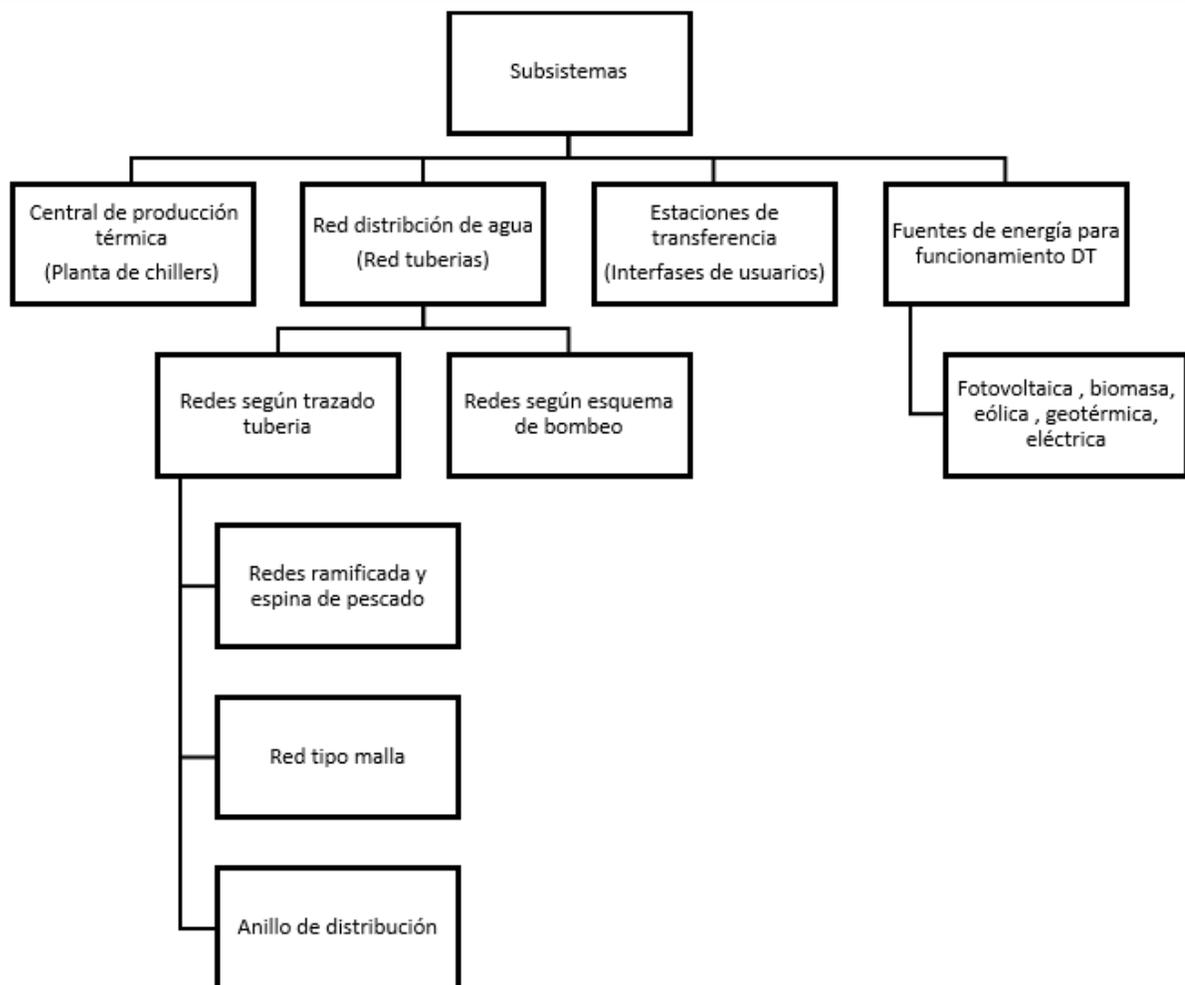


Ilustración 18 Subsistemas de distribución de energía de los distritos térmicos

Fuente: Propia

Cada uno de los subsistemas descritos anteriormente, se definen a continuación teniendo en cuenta la guía metodológica de Distritos Térmicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, **(Colombia, 2020)**

4.1.1. Central de producción térmica (planta de chillers)

La planta de chillers está conformado por una sala de máquinas de producción de calor o frío. Para el caso de enfriamiento se contemplan enfriadores que se pueden ubicar en paralelo o en serie, torres de enfriamiento y bombas de impulsión de agua que mediante tuberías será transportada a la edificación. Se debe realizar previamente el dimensionamiento de la central térmica para determinar la configuración de los equipos que se van a utilizar.

Los respectivos equipos que hacen parte de la central de producción se indican a continuación:

EQUIPOS	FUNCIONES
Tipos de enfriadores o chillers de agua	<p>Funcionan por medio de dos tecnologías: Por compresión de vapor y absorción:</p> <p>* Por compresión de vapor: Contiene diferentes tecnologías que depende de variables como la temperatura requerida y el espacio disponible. Este tipo de enfriador emplea diversas tecnologías: de compresión de tornillo, de desplazamiento positivo, de pistón o reciprocantes y centrífugos. En la siguiente imagen se observa un enfriador de agua por compresión de <u>vapor de tipo centrífugo</u>.</p> 

EQUIPOS	FUNCIONES
	<p>*Por absorción: Requieren de una fuente de alta temperatura, que puede tomarse de energía residual de procesos industriales, gases de combustión de turbinas o motores a gas y vapor excedente de una caldera, o pueden usar agua caliente proveniente de colectores solares.</p> <p>En la siguiente imagen se observa un enfriador de agua por absorción.</p> 
<p>Sistema de rechazo de calor</p>	<p>Las torres de enfriamiento se seleccionen de manera que estén en capacidad de trabajar con cualquier enfriador en la central, de modo que cualquier torre pueda atender a algún enfriador en caso de que una unidad esté fuera de línea.</p>
<p>Sistema de bombeo primario</p>	<p>Es el sistema de bombeo primario que conduce hacia los enfriadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Bombeo dedicado a cada enfriador. 2) Bombeo a la línea principal que distribuye a todos los equipos. <p>A continuación, se ilustra un sistema de bombeo para un DT</p>

EQUIPOS	FUNCIONES
	
Instrumentación	<p>La central de producción de energía térmica debe contar con medidores y elementos que completan el balance de la planta, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Medidores de temperatura · Medidores de presión · Flujómetros · Interruptores de estado sólido · Válvulas y actuadores

Tabla 2 Equipos que hacen parte de la central de producción térmica
Fuente: Propia

Para la operación de los respectivos equipos que hacen parte de la central de producción del distrito, se debe poner en funcionamiento una bomba de calor en modo de calefacción, la cual consiste básicamente en el uso de un fluido portador de calor (generalmente agua) que atraviesa un sistema intercambiador basado en un arreglo de tuberías en contacto con el subsuelo o agua subterránea, que aumenta su temperatura a partir de un ΔT entre la temperatura del subsuelo y la del líquido portador. Este líquido entra en el evaporador, en donde hay un intercambio de energía entre el líquido portador y un refrigerante que circula dentro de la bomba, generando que este último se vaporice, pasando del estado líquido al gaseoso gracias al aumento de la temperatura aportado por el líquido portador. Una vez gaseoso, el fluido pasa al compresor eléctrico, el cual comprime el gas y eleva su temperatura, para posteriormente ceder calor al fluido del circuito del sistema de calefacción. Finalmente,

el descompresor rebaja la presión del líquido del circuito de calefacción, que comienza su vaporización iniciando un nuevo ciclo (López, 2017). Para el modo de enfriamiento, el proceso que atraviesa el líquido en el intercambiador el proceso es al contrario, es decir, se invierte la dirección de su flujo. Este proceso, con sus componentes, se observa en la ilustración No. 19 de modo esquemático.

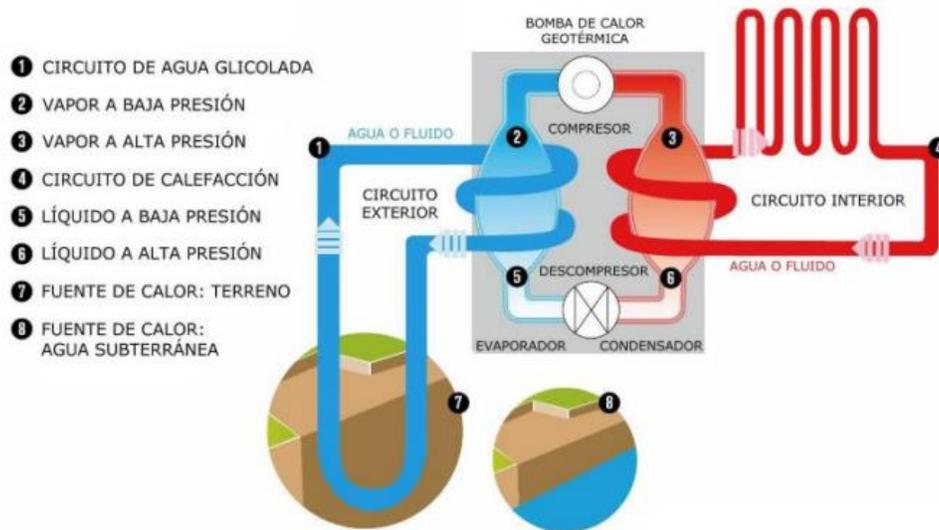


Ilustración 19 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor
Fuente: Emilio López Juárez

Así como se presenta en la ilustración anterior, el funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas se puede dividir fundamentalmente en dos mecanismos asociados a sus sistemas de intercambiadores de calor: sistemas abiertos o cerrados. Los sistemas abiertos utilizan directamente el agua de acuíferos o fuentes superficiales a través de un proceso de extracción y posterior reinyección una vez culminada la transferencia de calor, mientras que los sistemas cerrados, como el que se muestra en la ilustración 19, transportan solamente el calor del medio hacia el líquido que circula cíclicamente dentro del sistema (Dincer & Sanner, 2022). Otra distinción es la de las bombas de tipo agua-aire y agua-agua, refiriéndose al sistema de entrada y de salida, es decir, las bombas agua-aire y agua-agua son comúnmente usadas en sistemas geotérmicos superficiales cuyo mecanismo de entrada consiste en usar agua como fluido portador de calor que en modo refrigeración sirve como condensador, y en modo de calefacción sirve como evaporador del refrigerante interno de la bomba, mientras que para el intercambio de calor con el espacio a climatizar, el fluido de salida se diferencia entre agua

o aire (Kavanaugh & Rafferty, 2020); al climatizar con un espacio utilizando una bomba tipo agua-agua, comúnmente se utiliza un sistema de distribución con agua, como los suelos radiantes, radiadores y “fan-coils” o ventilosconvectores.

4.1.2. Red de distribución de agua (red de tuberías - sistema de bombeo secundario)

Permite la circulación de agua de suministro desde la central de enfriamiento hacia las estaciones de transferencia de los usuarios finales y el retorno del agua hacia la planta.

En la ilustración No. 20 se observa el puente de suministro del distrito térmico de Air Liquide de Tocancipá, Colombia



Ilustración 20 Puente de suministro - Distrito Térmico Air Liquide- Tocancipá, Colombia
Fuente: Distritos térmicos en las ciudades – Recorrido virtual

Las redes de distribución se pueden clasificar por esquema de bombeo y por trazado de tuberías.

La materialidad de las tuberías debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Tubos portadores
- Aislantes térmicos
- Protección externa
- Tuberías rígidas y/o flexibles.

REDES SEGÚN ESQUEMA DE BOMBEO:

Según las recomendaciones de la ASHRAE, de acuerdo con la presión de diseño de la red de distribución, es posible utilizar el criterio de selección para determinar el material más adecuado. Los caudales y presiones de diseño se determinan con base en el diseño hidráulico de la red.

En la ilustración No. 21 se observa el sistema de bombeo del distrito térmico de Serena De Mar, Cartagena-Colombia.



Ilustración 21 Sistema de Bombeo - Distrito Térmico de Serena De Mar, Cartagena-Colombia.
Fuente: EPM

La red de distribución se puede diseñar de acuerdo con tres topologías, según el esquema de bombeo:

- Bombeo centralizado en la línea principal de agua de suministro
- Bombeo distribuido a cada estación de transferencia
- Hibridación de ambos

REDES SEGÚN TRAZADO DE TUBERÍAS.

Las redes de distribución se clasifican de acuerdo con tres categorías de red, a continuación, se relaciona la clasificación de las redes de los distritos térmicos según trazado de tuberías:

La arquitectura de las redes debe contar con:

- Trazado (Ramificado, en malla o en anillo). Es básicamente la trayectoria para llegar desde la central térmica hasta los puntos de consumo.
 - Sección (Troncal, secundaria, terciaria)
 - Otros elementos de red (uniones, válvulas, reguladores, vasos de expansión, fijaciones, detección de fugas, antiheladas)
- a. . Red ramificada y espina de pescado:

Cada edificación se conecta a una de las centrales de producción de energía térmica mediante un único tubo de suministro y retorno.

- b. Red tipo malla:

Las edificaciones tienen múltiples puntos de conexión a la central de producción de energía térmica, pues la disposición de la conexión suele obedecer a un patrón de cuadrícula. En caso de tener varias centrales próximas, cada edificio puede conectarse a más de una. La confiabilidad del suministro es más alta que la de la red ramificada, pero su costo es más elevado y se justifica solo si es muy alta la disponibilidad del suministro que se necesita.

- c. Anillo de distribución:

Es una solución híbrida entre la ramificada y la malla. Consiste en una red ramificada donde los puntos iniciales y final de la red están interconectados, dando así como resultado un lazo cerrado que incrementa la confiabilidad.

4.1.3. Las estaciones de transferencia (interfaces con usuarios)

Son el punto de conexión entre los distritos térmicos y las edificaciones. Además, las estaciones de transferencia funcionan como medición para el cobro de la energía térmica a los clientes, incorporando válvulas medidoras o sensores independientes de caudal y temperatura para realizar la lectura del consumo por edificación.¹³

¹³ <https://www.distritoenergetico.com/materializacion-del-distrito-termico-componentes/>

4.1.4. Fuentes de energía de un DT

Los distritos térmicos proporcionan el servicio de energía térmica mediante agua caliente, fría o vapor. Para su funcionamiento existen diferentes fuentes de energía, entre las más comunes están:

- Fuentes convencionales de energía: Recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país. Fuentes convencionales de energía son el petróleo, carbón mineral, gas natural, electricidad.
- Fuentes no convencionales de energía (FNCE): Recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Son fuentes no convencionales de energía nuclear o atómica
- Fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER): recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Las fuentes no convencionales de energía renovable son la biomasa, pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, eólica, geotérmica, solar y los mares. **(Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 - Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME))**

Es importante identificar las fuentes de energía disponibles y evaluar la capacidad de suministro en términos de cantidad y calidad de energía, ya que, a partir de la fuente generadora de energía escogida, se logra abastecer a la infraestructura de frío o calor, mediante redes que se encuentran conectadas a las edificaciones existentes en el sistema. La energía tradicional puede provenir de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, mientras que los distritos térmicos eficientes pueden utilizar fuentes de energía renovable como la biomasa, la geotermia, la energía solar o la energía residual. Esto incluye la evaluación de la eficiencia energética de las fuentes disponibles, la capacidad de almacenamiento y la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

A continuación se describen las posibles fuentes para suministro y funcionamiento de los distritos térmicos.

a. Solar:

Una fuente importante para poner en funcionamiento los distritos térmicos es la energía solar con el objeto de reducir el consumo de los energéticos primarios como la energía eléctrica y el gas natural.

b. Sistemas solares térmicos (generan agua caliente entre 40 y 70 °C, cuyo calor puede ser utilizado directamente como apoyo a la generación térmica).

Para evaluar el recurso solar y la disponibilidad energética, primero se tiene que identificar el porcentaje de demanda energética, que deberá ser cubierta por los colectores solares según el área óptima de captación solar; el área de captación de recurso solar requerido y la energía solar neta útil, y finalmente se tiene el aporte del recurso solar útil para cumplir con la demanda energética prevista. **(Uso de la energía solar térmica para obtención de agua caliente en centro turístico rural en Piura, Silva y Vásquez).**

Además de ser utilizada para su transformación en energía eléctrica a través del uso de módulos solares FV (materiales semiconductores que se valen del efecto fotoeléctrico y fotovoltaico para generar una corriente a partir de los fotones recibidos del sol), la energía solar puede ser transformada en calor principalmente para el calentamiento de agua y espacios, a través de lo que se conoce como colectores o calentadores solares, los cuales capturan la irradiación solar mediante una superficie oscura y materiales altamente conductores que transfieren la energía en forma de calor a un fluido de trabajo. Estos sistemas permiten alcanzar temperaturas del orden de 60 a 90 °C. De igual manera, se utilizan hoy en día tecnologías para la concentración de la energía solar, a fin de lograr altas temperaturas para la producción de vapor, que puede ser usado directamente como calor útil en procesos industriales o para la producción de electricidad, a partir de ciclos Rankin como los usados por las plantas térmicas convencionales u otros como el ciclo Stirling en

el caso de concentradores de disco parabólico. **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Ministerio de Minas y Energía).**

c. Biomasa:

El uso energético de la biomasa se presenta actualmente como una fuente renovable de energía, que permite beneficios ambientales como la disminución de dióxido de carbono y el tratamiento de residuos indeseados y ventajas en la autonomía energética de las naciones. **(Gasificación de Biomasa Residual, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica - Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, 2022.)**

De acuerdo con **Environmental Protection Agency | US EPA**, actualmente, existen distritos térmicos que, además de las fuentes de energía mencionadas anteriormente, también se les pueden incorporar instalaciones solares a gran escala, excedentes de electricidad de energía eólica, CHP¹⁴ de residuos de incineración, geotérmica y almacenamiento de calor estacional que funcionan de forma inteligente y automatizada según las necesidades de los usuarios. Según la corporación Caterpillar Inc. instalaciones industriales como plantas de calefacción urbana pueden reducir los costes operativos mediante la implantación de un sistema CHP cogeneración combinada de calor y energía mediante el uso de gas natural en tuberías como fuente de combustible. Los grupos electrógenos de gas¹⁵ pueden proporcionar simultáneamente electricidad para cargas eléctricas y energía térmica para las necesidades térmicas de las instalaciones. Mientras que los sistemas independientes de electricidad y las calderas de gas natural ofrecen menos del 50 por ciento de eficiencia.

d. Eólica:

En cuanto a la energía eólica, países latinoamericanos como Perú, Panamá, Chile, México, y Brasil cuentan hoy con capacidades eólicas instaladas o cerca de ser comisionadas a 2022 de 148 MW, 220 MW, 836 MW, 2,3 GW, y 5,9 GW, respectivamente, mientras que Colombia

¹⁴ CHP: Combined heat and power - Cogeneración/generación combinada con calor y energía

¹⁵ Grupos electrógenos de gas: Convierten la energía de movimiento del motor que utiliza diversos combustibles en energía eléctrica con la ayuda del alternador. En este proceso, se puede utilizar gasolina o gasóleo como combustible, así como combustibles como el gas natural o el biogás.

cuenta con 19,5 MW conectados al SIN (capacidad que no ha incrementado desde su instalación en el año 2003). **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Ministerio de Minas y Energía).**

La energía eólica varía constantemente con el tiempo por la intermitencia del viento, en consecuencia, por sí sola no está en condiciones de atender una demanda continua en forma confiable, por ello se debe complementar con otras fuentes de energía por ejemplo solar. **(Noriega-Sánchez, C. J. (2021). Recurso eólico en Colombia.8)**

Si bien existen iniciativas puntuales de entidades como la UPME y el IDEAM, para brindar información de caracterización del recurso eólico como una primera aproximación para agentes interesados en su aprovechamiento, no existe un mecanismo para brindar información pública suficiente de este recurso, u otras FNCER. Así mismo, no existen obligaciones por parte de quienes estudian estos recursos para compartir información con entidades como la UPME para planear su adecuado aprovechamiento.

e. Geotérmica

La energía geotérmica cuenta con la facilidad de utilizar tecnología equivalente a la ampliamente utilizada en plantas térmicas que operan con combustibles fósiles a partir de ciclos Rankin y ciclos combinados. La diferencia con estas últimas radica en que en lugar de hacerse necesario el uso de un combustible para obtener el vapor saturado que mueve las turbinas de generación, se hace necesaria la perforación de pozos en localizaciones estratégicas bajo las cuales yacen reservorios de agua caliente y vapor producido a partir del mismo calor de la tierra. **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Ministerio de Minas y Energía).**

f. Eléctrica:

De acuerdo con el informe de diagnóstico de la calidad de servicio de la energía eléctrica en Colombia de mayo de 2017 elaborado por la Dirección Técnica de Gestión de Energía Superintendencia delegada para Energía y Gas, indica que en Colombia la energía eléctrica está disponible de la red de distribución en 110/120/440VAC 60HZ y la disponibilidad

promedio de los últimos cinco años es de 99,86%.

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética actualmente en Colombia, a pesar de tener alta capacidad de generación de fuentes renovables no convencionales como la eólica y la solar, la matriz de generación se enfoca principalmente en la generación hidráulica y generación térmica a carbón y a líquidos, tal y como se presenta en la siguiente ilustración.

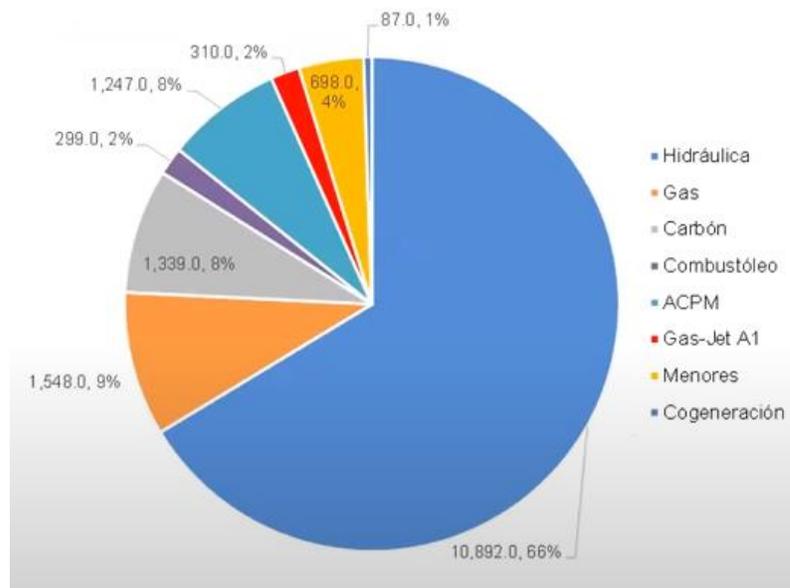


Ilustración 22 Matriz de generación de energía
Fuente UPME 2022

Por otro lado, un distrito térmico puede funcionar de manera intramural o extramural: El distrito intramural será capaz de atender la demanda de un solo edificio y el sistema de equipos será localizado al interior de este. A diferencia del distrito extramural, este contiene plantas de energía capaces de alimentar a múltiples edificaciones, las cuales estarán ubicadas de forma independiente a los edificios.

4.1.5. Distrito Térmico Intramural

Es un sistema ubicado dentro del edificio, que puede utilizar dos fuentes energéticas: gas natural y electricidad. Con el gas natural se genera energía eléctrica y térmica, a través de

una turbina y un generador; La energía térmica es utilizada en un '*chiller*' de absorción¹⁶ y la energía eléctrica alimenta un '*chiller*' eléctrico¹⁷. Ambos '*chillers*' suministran agua fría hacia las unidades terminales encargadas de reducir la temperatura de la edificación, al salir de las unidades terminales el agua regresa a los '*chillers*', donde vuelve a la temperatura ideal para repetir su ciclo. A continuación, se presenta el esquema del distrito térmico intramural:

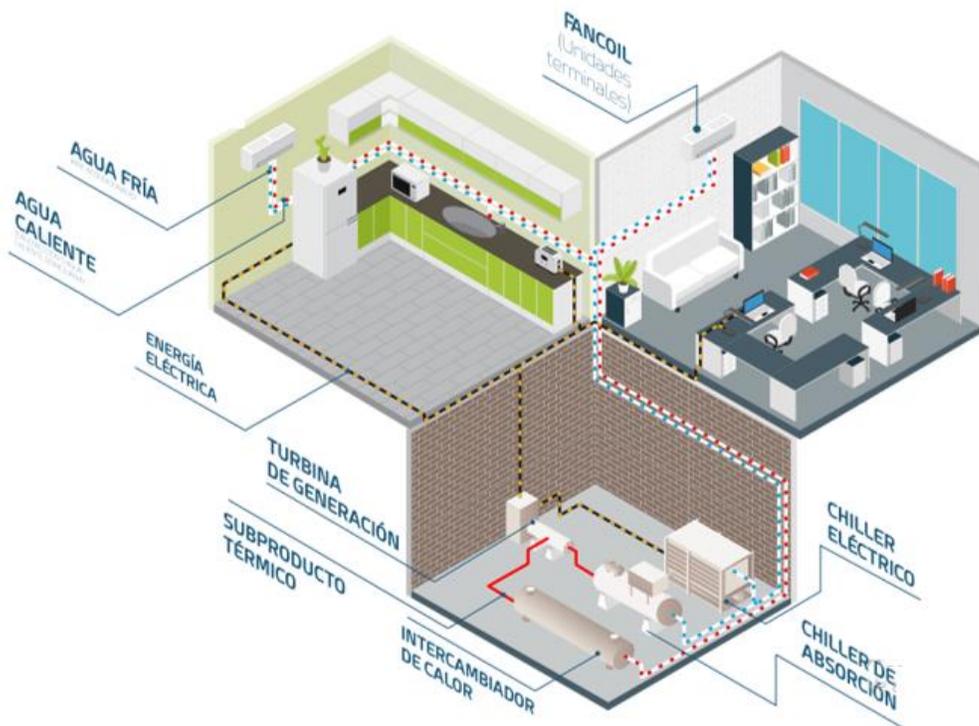


Ilustración 23 Esquema distrito térmico intramural
Fuente: Celsia

4.1.6. Distrito Térmico Extramural:

Sirve para suministrar agua fría o caliente a múltiples proyectos, a través de redes de distribución, este proceso se realiza en una estación especializada, la cual es capaz de transportar el agua fría o caliente hacia otras edificaciones. El agua llega a unas estaciones de intercambio, ubicadas en cada uno de los proyectos, los cuales cuentan con un punto de

¹⁶ Chiller de absorción: Tipo de enfriadora de agua muy útil, en aplicaciones donde se dispone de una fuente de calor residual o de bajo costo, que permite poner en funcionamiento un ciclo de refrigeración sin compresor.

¹⁷ Chiller eléctrico: Se utiliza en sistemas de aire acondicionado, enfriando agua para enviar aire a través de tuberías de acero o PVC

medición de consumo de energía térmica. Además, las estaciones cuentan con una red interna de distribución, independiente a la red del distrito térmico, desde donde se distribuye a las unidades terminales de sus instalaciones, y así se garantizan todos los procesos de enfriamiento o calefacción de las instalaciones conectadas a la red del distrito térmico¹⁸. A continuación se presenta un esquema de distribución extramural:

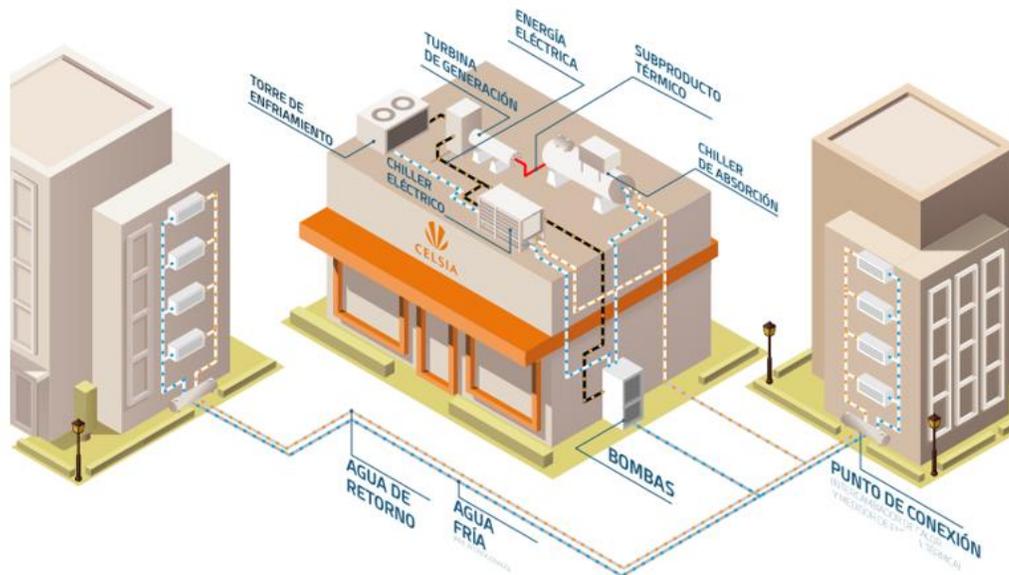


Ilustración 24 Esquema distrito térmico extramural

Fuente: Celsia

Ahora bien, en cuanto al proceso constructivo de una edificación que cuenta con un distrito térmico intramural o extramural, se puede utilizar polietileno de alta densidad (HDPE) para las tuberías que van a distribuir el agua fría o caliente a través del sistema, este es el material más utilizado en los sistemas intercambiadores debido a sus propiedades mecánicas, sin embargo, es un aislante térmico que aumenta la resistencia térmica del intercambiador, pues su conductividad térmica es de 0.42 W/mK. Algunos estudios se han llevado a cabo para aumentar las propiedades térmicas de estos materiales, con resultados de un aumento de la conductividad térmica de hasta 75% utilizando una resina cargada con un relleno de carbón (Gosselin et al., 2017). Otra forma de mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de las

¹⁸ Celsia energía. (2017, febrero 7) Distrito Térmico – Celsia [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=D5FFNx_3zy0

tuberías de HDPE, es la que proponen Bassiouny et al. (2016), utilizando cableados de aluminio distribuidos periféricamente alrededor del grosor de la tubería, que puede lograr aumentar entre 25% a 150% la conductividad térmica.

Por otro lado, el relleno o la lechada utilizado durante la localización e instalación de la tubería, consta de materiales típicos en sistemas GCHP¹⁹, y principalmente, permite disminuir la resistencia térmica entre el intercambiador y el suelo, aunque cumple con otras funciones como mantener la estabilidad de la perforación en sistemas verticales y ser una barrera que impermeabilice las tuberías ante posibles fugas. Comúnmente se utilizan materiales térmicamente mejorados como arenas saturadas, arenas con aluminio, y en general la adición de virutas de aluminio en el cemento, ya que aumenta su conductividad. Además, se ha encontrado que el uso de bentonita, que en los rellenos se usa frecuentemente, puede interferir en el tamaño de las tuberías al encogerse (**Blázquez et al., 2017**).

Por lo anterior, una vez que se utilicen materiales sostenibles para la construcción de una edificación y además se implemente un DT en la misma, se incrementa la eficiencia energética de la edificación e incrementa el valor de esta.

Además de la importancia de implementar los distritos térmicos, este sistema se debe asociar en el proceso de la sostenibilidad en la construcción, para ello se deben conocer los volúmenes y dinámicas de los materiales de construcción antes, durante y después del proceso constructivo con el propósito de conocer los impactos ambientales generados por los flujos de materiales, también conocidos como metabolismo urbano de los materiales de construcción (**Quintero & Tabares, 2015**). Los flujos de materia y energía en los materiales de construcción de edificaciones se estudian mediante el análisis del ciclo de vida. Se trata de una metodología que permite la valoración exhaustiva del impacto ambiental de los materiales, realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida (**Gallego, J. et ál., 2020**). Para mejorar la eficiencia de una edificación, además de utilizar materiales sostenibles para la

¹⁹ GCHP, Bombas de calor acopladas en tierra

construcción de esta, es importante que se cuente con sistemas autónomos como calefacción y refrigeración, energía, iluminación, fontanería, control de acceso, alarma y seguridad, que interactúan entre sí a través de una red, y que también puedan controlarse a distancia, lo cual denominara al edificio como inteligente.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se presentan los objetivos del presente trabajo de grado.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general:

Demostrar la eficiencia energética en las edificaciones producto de la implementación de distritos térmicos y su incidencia en la reducción de emisiones de dióxido de carbono.

5.2. Objetivos específicos:

- Realizar un comparativo respecto al uso de energía tradicional y energía eficiente en Colombia, con base en la data existente, presentando indicadores que validen los efectos del alto consumo de energía en las construcciones en servicio vs los distritos térmicos.
- Demostrar la disminución de emisiones de dióxido de carbono por la implementación de distritos térmicos.
- Evaluar la regulación energética y distritos térmicos en Colombia.
- Estimar el estado actual de la regulación de contrato de suministro del servicio de energía térmica en los modelos públicos de la ESP en Colombia.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En cumplimiento a los objetivos planteados en el presente trabajo de grado, fue necesario la planeación y desarrollo de cuatro etapas, descritas en la siguiente ilustración:

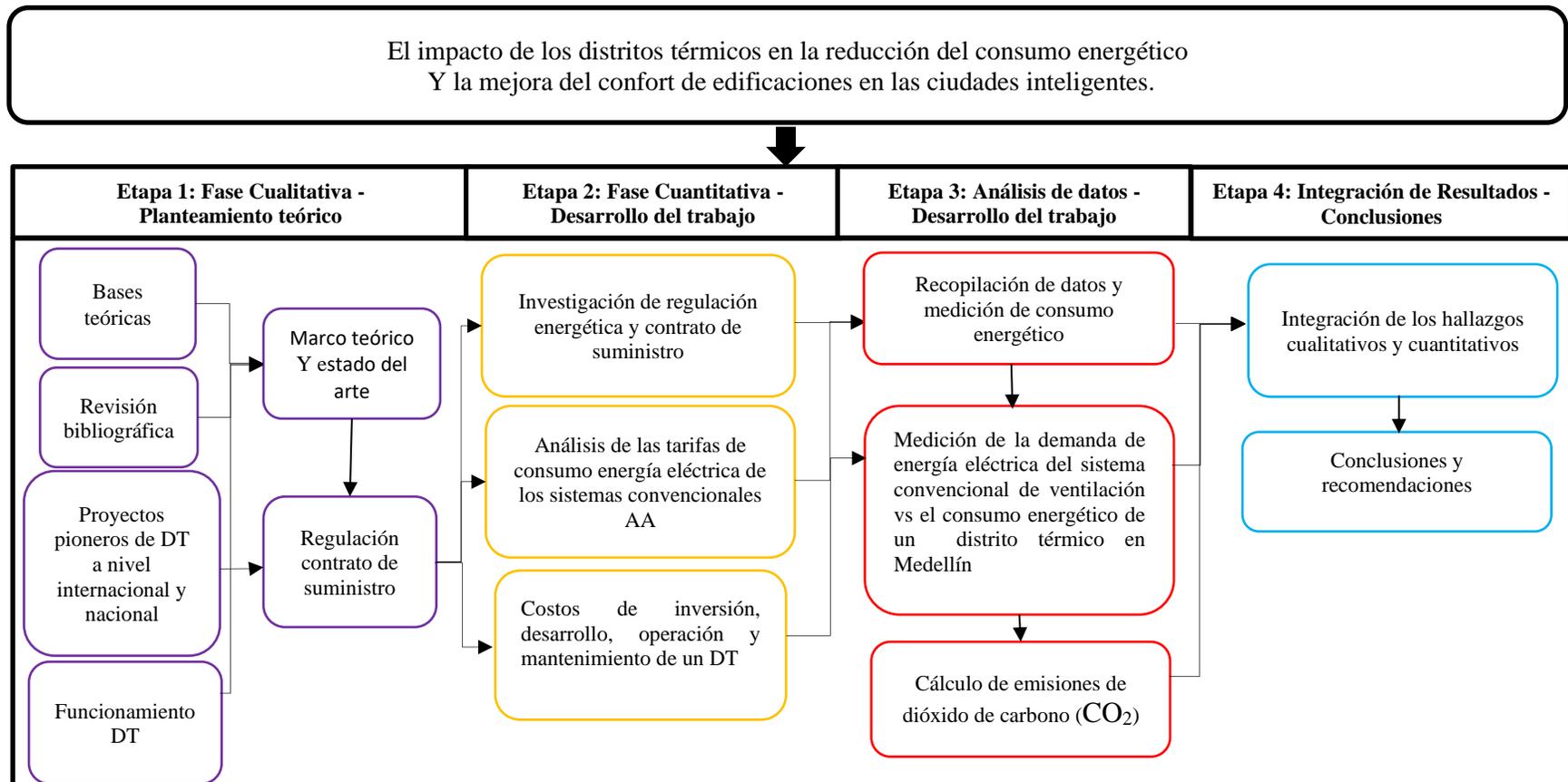


Ilustración 25 Cuadro de Metodología de Investigación Mixta

Fuente: elaboración propia

Previamente se presentaron las bases teóricas para estructurar el presente trabajo de grado, teniendo en cuenta la revisión bibliográfica respectiva, además se mencionaron los diferentes distritos implementados bajo una perspectiva internacional y nacional.

Este enfoque se basa en el análisis de datos de consumo eléctrico de sistemas convencionales de AA en comparación con el ahorro energético de los DT en la ciudad de Medellín. Además, fue necesario realizar una investigación minuciosa respecto a la regulación energética y el contrato de suministro requerido para lograr la operación y prestación del servicio, analizando las tarifas de consumo energía en distintas zonas del país.

Acompañando de este análisis, se realizó el cálculo de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producido por los sistemas convencionales y DT, con el propósito subyacente de determinar el impacto ambiental generado por ambos sistemas.

7. BASES TEÓRICAS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En relación con los objetivos del presente trabajo de grado, durante el transcurso de la investigación, se realizó una inspección minuciosa de la bibliografía existente relacionada con publicaciones científicas, tesis de grado, artículos, investigaciones, entre otros. Esto, con el fin de recolectar antecedentes que permitieran contextualizar el impacto de la implementación de los distritos térmicos y la mejora del confort de los usuarios en las edificaciones.

Es preciso indicar que, esta búsqueda se refleja en las diferentes etapas del estudio, en el marco teórico, en el análisis de la regulación y de los resultados obtenidos.

8. PANORAMA NACIONAL Y LA INFLUENCIA DE LOS DT LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Teniendo en cuenta los últimos avances energéticos en Colombia, es evidente que, *"el uso eficiente de la energía es una oportunidad para mejorar la calidad de vida de las personas, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático. En Colombia, el potencial de ahorro de energía es significativo, especialmente en sectores como la construcción, la industria y el transporte"* (**Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2019**). Dado el ahorro que representa un distrito térmico en un edificio o en zonas específicas, es importante continuar con la implementación de estos sistemas en las diferentes ciudades del País, sin embargo, se requiere hacer estudios respecto a la necesidad y viabilidad de implementación de los distritos en ciertas partes de Colombia, además de evaluar la fuente que se requiera para su buen de funcionamiento, es por esto que, *"(...) en Colombia, los distritos térmicos se han convertido en una alternativa eficiente y sostenible para el suministro de energía térmica en edificios y zonas urbanas. Estos sistemas pueden aprovechar fuentes de energía renovable y ofrecer una solución más económica y ambientalmente que las calderas individuales"* (**Revista Energética, 2021**).

Una propuesta liderada por la Unidad Técnica de Ozono (UTO), la Dirección de Cambio Climático, Gestión del riesgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética, con el apoyo de la Embajada de Suiza- Cooperación Económica y Desarrollo (SECO) y la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), y el acompañamiento de la Asociación Colombiana de Aire Acondicionado, refrigeración y ventilación (ACAIRE), que inicio en el 2019 (**ESEficiencia.es, marzo 2022**). Consiste en promover la eficiencia energética, sostenibilidad urbana y la mitigación de los impactos ambientales.

Los avances, investigaciones e implementación de los distritos térmicos en el país, tienen una gran incidencia positiva, ya que promueven la posibilidad de cumplir con las metas y desafíos fundamentales de los objetivos de desarrollo sostenible, y además, reforzando la estrategias de uso de eficiencia energética se fomenta una rápida descarbonización, reduciendo así las emisiones de carbono a la atmósfera y aún más cerca de la carbono neutraliad.

9. REGULACIÓN ENERGÉTICA Y DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA.

En Colombia, la regulación energética relacionada con los distritos térmicos se encuentra principalmente en la **Resolución 181479 de 2010** del Ministerio de Minas y Energía, la cual establece los requisitos técnicos y financieros para la implementación de sistemas de calefacción y refrigeración centralizados en Colombia.

Algunos de los aspectos más relevantes de esta regulación son:

9.1. Obligación de registro:

Los proyectos de distritos térmicos deben ser registrados ante el Ministerio de Minas y Energía, y deben cumplir con los requisitos técnicos y financieros establecidos en la Resolución.

9.2. Requisitos técnicos:

Los sistemas de calefacción y refrigeración centralizados deben cumplir con ciertos requisitos técnicos, como la eficiencia energética, la capacidad de generación de calor o frío, y la calidad del servicio al cliente.

9.3. Obligaciones financieras:

Los proyectos de distritos térmicos deben presentar un plan de financiación que garantice su viabilidad financiera a largo plazo, y deben contar con un mecanismo de garantía para asegurar la calidad del servicio al cliente.

Además de la Resolución 181479, existen otras normativas y regulaciones relacionadas con la eficiencia energética y la sostenibilidad en Colombia, como la Ley 1715 de 2014 y la Política Nacional de Eficiencia Energética, la cual promueve incentivos debido a la implementación de tecnologías más eficientes y sostenibles en el sector energético. **(UPME 2022)**. De igual forma, la Ley 1715 de 2014, se estipuló como incentivo para promover la energía renovable y eficiencia energética, a marzo del 2022 la unidad de planeación minero-

energética ha emitido 225 certificados para la obtención de beneficios como la depreciación acelerada, la reducción en un 50% del total del proyecto se puede descontar sobre la renta durante los primeros cinco (5) años, y después los componentes no pagan ni el IVA, ni los aranceles. **(La fotovoltaica en Colombia, atainsights, 2018)**. Aun cuando la política energética colombiana habla de promover el uso de las energías renovables (distintas de la hidroelectricidad), hasta antes de la Ley 1715 no era explícita en definir los elementos motivadores o “drivers” que llevan a tal promoción.

Otro instrumento disponible para el apoyo al desarrollo de las energías renovables en diferentes países consiste en la provisión a generadores con FNCER²⁰ de incentivos fijos adicionales al precio del mercado mayorista. Estos incentivos se pueden dar de diferentes maneras, como por ejemplo a través de pagos en efectivo o créditos fiscales. También pueden estar estructurados como fijos en ciertos montos (por ejemplo, 0,02 USD/kWh) o variar en el tiempo con los precios del mercado mayorista (por ejemplo, 10% por encima de los niveles del precio del mercado mayorista). Estos son típicamente pagados con base en USD/kWh y se conceden por un período predeterminado de tiempo (por ejemplo, 10 años). **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia) Ministerio de Minas y Energía)**

Los lineamientos de política pública para implementar un mecanismo de contratación de largo plazo para energías renovables, se encuentra actualmente regulada por el decreto 570 de 2018, que define el alcance de fortalecer la resiliencias en la matriz de generación para disminuir los riesgos que se puedan presentar debido a la disminución del recurso hidráulico, promover la competencia en cuanto a los precios de eficiencia, mitigar los efectos del cambio climático mediante el aprovechamiento potencial y la complementariedad de los recursos renovables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Lo anterior, encaminado al inicio de las subastas para energías renovables, buscando definir la fórmula para el traspaso del precio de este mecanismo de contratación de largo plazo a la tarifa de usuario final y que se espera contar con una normativa ajustada a la entrada eficiente de las energías renovables.

²⁰ FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

(La fotovoltaica en Colombia, atainsights, 2018) Es decir, que el país ha ido evolucionando en la implementación de contratación del servicio con energías renovables.

Las subastas son mecanismos, en donde se establece una meta cuantitativa de energía renovable, se abre una licitación y se escogen los proyectos de menor costo hasta cumplir con la meta fijada, lo cual se traduce en contratos firmes de compra de energía. Al adoptar un esquema de subastas, una primera decisión consiste en determinar si se trata de subastas para una tecnología determinada, si está limitada a renovables de cierto tamaño, etc. **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia) Ministerio de Minas y Energía)**

Vale la pena resaltar que, en cuanto a inversiones de financiamiento para el desarrollo sostenible, social, económico e institucional en Latinoamérica y el Caribe, el Banco Interamericano de Desarrollo²¹, ha apoyado al ministerio de energía en el desarrollo de Colombia, en cuanto a la hoja de ruta de la transición energética, así como en el desarrollo de esquemas de contratación por medio de subastas para energías renovables. Se han desplegado inversiones en energía renovable en Colombia incluyendo la financiación del Banco Interamericano de Desarrollo BID en los proyectos resultantes de las subastas. Lo anterior se evidencia en la inversión que el BID aportó US\$26.5 millones (entre 2017 y 2022) para el desarrollo de marcos habilitadores en una muestra de diez países de la región. Bahamas, Brasil, Chile, Colombia, Haití, Jamaica, México, Panamá, Perú, y Trinidad y Tobago se beneficiaron a través de diferentes intervenciones realizadas principalmente por medio de asistencias técnicas, componentes específicos en préstamos de inversión y por préstamos de política. Dentro de estas intervenciones, destaca el apoyo para la modernización y mejora de los marcos regulatorios y el desarrollo de nuevos modelos de negocio para habilitar nuevas tecnologías como las energías renovables y la movilidad eléctrica. (Modernización de marcos regulatorios: Clave para expandir la inversión privada en el sector energético en Latinoamérica y el Caribe, BID 2023). El desarrollo rápido de implementación de distritos térmicos requiere que los marcos legales y regulatorios sean adaptados con igual

²¹ BID - Banco Interamericano de Desarrollo: Organización financiera internacional con sede en la ciudad de Washington D.C

velocidad. (**Modernización de marcos regulatorios: Clave para expandir la inversión privada en el sector energético en Latinoamérica y el Caribe, 2023**). Es importante el apoyo a fortalecimiento institucional para ejercer funciones claves como la definición de política energética, formulación de los planes de inversión y la ejecución de la regulación.

Por otro lado, también se ha ido regulando la venta eficiente de “excedentes”²², así como la conexión de pequeños generadores distribuidos y los auto generadores tanto a pequeña como a gran escala, pues se emitió la CREG 015 de 2018 que define la fórmula del respaldo que deben contratar los auto generadores y generadores distribuidos y también se expidió la CREG 030 de 2018, que define las reglas para la venta de los excedentes. En la misma línea, la regulación 030 genera dinamismo en la generación distribuida, pues regula y define las reglas para el mercado de autoconsumo de generación distribuida, ya que, para proyectos menores de 100 kilowatts la comercialización y ventas de excedentes va a reducir el costo de comercialización y para proyectos mayores a 100 kilowatts también va a tener una reducción en el costo de transmisión. Adicionalmente, está el decreto 570, que busca definir el mecanismo que busca utilizar para ejecutar proyectos de energía a largo plazo. (**Jinko Solar, 2018**)

Una vez emitidos los decretos relacionados anteriormente, se puede afirmar que fue un punto de partida para desarrollar proyectos a pequeña escala tanto en generación distribuida como en auto generación. (SER COLOMBIA – Asociación Energías Renovables, coordinación regulatoria, 2018).

Por otro lado, el Ministerio de Minas y Energía de Colombia publicó el 31 de julio de 2018 la Resolución MME 40791 de 2018 “*Por la cual se define e implementa un mecanismo que promueva la contratación de largo plazo para proyectos de generación de energía eléctrica complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista*” y el 1 de agosto la Resolución MME 40795 de 2018 “*Por la cual se convoca a la primera subasta de contratación a largo plazo de energía eléctrica y se definen los parámetros de su*

²² Excedentes: Energía producida que no es consumida y la cual es inyecta en la red

aplicación".

Lo que dio lugar a la implementación y ejecución de la subasta CLPE No. 02-2019 de energías no renovables en septiembre del 2019, en donde se asignaron contratos a 11 proyectos solares, que tendrán un periodo de 15 años, adjudicando a 7 empresas generadoras y a 22 comercializadores. Según el Ministerio de Minas y Energía, el proceso dejó como resultado la asignación de responsabilidades de generación a ocho proyectos adjudicados con una capacidad efectiva total de 1.298 megavatios de capacidad instalada, de los cuales cinco de ellos son de energía eólica y 3 solares. De acuerdo con la ministra de Energía del 2019, la doctora María Fernanda Suárez, explicó que, *“la subasta cerró con un precio promedio de asignación de \$95 kilovatio hora, cerca de \$50 por debajo del promedio actual del costo de generación de contratos bilaterales”*. En el desarrollo del proceso, la Comisión de Regulación de Energía y Gas estableció como tope máximo individual el precio \$200 kilovatio y como tope máximo de \$160 kilovatio, y el total de energía asignada fue de 10.186 MWh-día. (Alcance al Informe Subasta CLPE No. 02-2019 y su Mecanismo Complementario remitido con radicado UPME No. 20201000017551)

Resultado de la subasta:

Precio Mecanismo Voluntario: COP \$95,65 /kWh

Energía: 1.864 MWh-día

Precio Mecanismo Complementario: COP 95,65 /kWh

Energía: 10.186 MWh-día

El Ministerio de Minas y Energías (MME), con el apoyo de XM y Fenoge, y a través de la Resolución MME 40179 de 2021 convocó la Tercera Subasta de contratación de largo plazo de energía eléctrica, realizada el 26 de octubre del 2021. En la cual se asignaron 9 empresas generadoras, 53 empresas comercializadoras y 11 proyectos de generación. Los contratos, que tendrán un periodo de 15 años cerraron con un precio promedio ponderado de asignación de \$155,8 pesos por kilovatio hora.

Por otro lado, la energía térmica que suministra un distrito térmico en el país debe cumplir con la regulación colombiana y de igual forma el proyecto deberá ser económicamente viable. Por lo

anterior, seguidamente se presenta un resumen sobre la cronología en Colombia, en cuanto a regulación relacionada con la energía eficiente, la cual se aborda a mayor detalle a continuación:

CRONOLOGÍA SOBRE LA REGULACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA			
LEY/ARTICULO/NO RMA/DECRETO	ENTIDAD REGULATORIA	FECHA	DESCRIPCIÓN BREVE
LEY 697 DE 2001	Nivel Nacional	3 de octubre de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. El objetivo de la Ley 697 de 2001 es promover y asesorar los proyectos URE (uso racional de energía) y el uso de energías no convencionales, de acuerdo con los lineamientos del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), estudiando su viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental. El PROURE Es un lineamiento de política pública para promover el mejor uso de los recursos energéticos, desde su producción hasta su consumo en los diferentes sectores y actividades de la economía.
DECRETO No. 3683	Nivel Nacional	19 de diciembre de 2003	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (CIURE), comisión de asesoramiento y apoyo para el Ministerio de Minas y Energía
CIRCULAR 3	Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.	31 de agosto de 2007	Reseña algunos lineamientos consagrados en el Decreto Nacional 2331 de 2007, por el cual se establece una medida tendiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica, ordenando que todas las edificaciones u oficinas donde se encuentre alguna entidad oficial sean del nivel nacional o territorial, adopten tecnologías de mayor eficiencia energética.
DECRETO No. 2688	Nivel Nacional	22 de julio de 2008	Por el cual modifica el decreto 3683 del 19 de diciembre de 2003, con el fin de dinamizar y hacer más eficiente el desarrollo de las actividades de la Comisión Intersectorial

CRONOLOGÍA SOBRE LA REGULACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA			
LEY/ARTICULO/NO RMA/DECRETO	ENTIDAD REGULATORIA	FECHA	DESCRIPCIÓN BREVE
			para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales de Energía CIURE.
RESOLUCIÓN 180919 DE 2010	Nivel Nacional - Ministerio de Minas y Energía	1 de junio del 2010	Se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, definen sus objetivos y subprogramas, el cual contribuirá a 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 ambiente y los recursos naturales, consolidando una cultura que cuente con las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes en Colombia
NUMERAL 14 DEL ARTÍCULO 12 DEL DECRETO 1258	Nivel Nacional	17 de junio de 2013	Establece La Unidad de Planeación Minero Energética - UPME , emite concepto sobre la viabilidad y evaluar los incentivos para proyectos de eficiencia energética que logren una reducción del consumo y un aprovechamiento óptimo de la energía en el marco de la Ley 697 de 2001
LEY 1715 DE 2014	Nivel Nacional	13 de mayo del 2014	Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

CRONOLOGÍA SOBRE LA REGULACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA			
LEY/ARTICULO/NO RMA/DECRETO	ENTIDAD REGULATORIA	FECHA	DESCRIPCIÓN BREVE
DECRETO ÚNICO REGLAMENTAR IO 1073	Nivel Nacional	26 de mayo de 2015	Se reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
RESOLUCIÓN No. 0549	Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio	10 de julio de 2015	Parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía de ahorro de agua y energía en edificaciones.
DECRETO 1564 DE 2017	Nivel Nacional	25 de septiembre de 2017	<u>La exclusión del IVA</u> , incentivo en el marco de lo contenido en el Estatuto Tributario orientado a promover algunas medidas pasivas en la construcción de edificaciones que se encuentren en proceso de obtener alguna certificación energética o ambiental
DECRETO 2205 DE 2017	Nivel Nacional	26 de diciembre de 2017	<u>La excepción de impuestos</u> definidos en el marco del artículo 255 del Estatuto Tributario Nacional para edificaciones que se encuentren certificadas en su fase de diseño por un ente certificador acreditado en construcción sostenible de orden nacional o internacional
RESOLUCIÓN No. 000196	UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME	31 de agosto de 2020	Se establecieron requisitos y procedimientos para acceder a los beneficios tributarios de descuento en el impuesto de renta, deducción de renta y exclusión del IVA para proyectos de gestión eficiente de la energía.
LEY 2099 DE 2021	Nivel Nacional	10 de julio de 2021	Tiene por objeto la modernización de la legislación vigente en materia de transición energética, la promoción de fuentes no convencionales de energía y la reactivación económica del país mediante el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible. (Modifica LEY 1715)

CRONOLOGÍA SOBRE LA REGULACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS DISTRITOS TÉRMICOS EN COLOMBIA			
LEY/ARTICULO/NO RMA/DECRETO	ENTIDAD REGULATORIA	FECHA	DESCRIPCIÓN BREVE
REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS- RITE-.	Ministerio de Minas y Energía	2021 – En proceso	Es un reglamento técnico que regula los sistemas térmicos y sus instalaciones destinadas a la producción y uso de acondicionamiento de aire y agua, refrigeración y vapor en Colombia.

Tabla 3 Cronología – Decretos, leyes, resoluciones - Eficiencia Energética y Distritos Térmicos En Colombia
Fuente propia

10. REGULACIÓN DE CONTRATO DE SUMINISTRO DEL SERVICIO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LOS MODELOS PÚBLICOS DE LA ESP EN COLOMBIA.

Las Empresas de Servicios Públicos (ESP) en Colombia están reguladas por diferentes Entidades gubernamentales, dependiendo del tipo de servicio que prestan. En el caso de los distritos térmicos, estos sistemas son gestionados por empresas que suministran servicios de calefacción y refrigeración centralizados, y pueden estar sujetos a regulación por parte de entidades como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

La regulación de los distritos térmicos por parte de las ESP en Colombia puede variar según la entidad que presta el servicio. Sin embargo, en general, estas empresas están obligadas a cumplir con los estándares y requisitos técnicos y financieros establecidos por la Resolución 181479 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía. Además, las ESP pueden estar sujetas a regulaciones adicionales relacionadas con la calidad del servicio, la eficiencia energética, la sostenibilidad y la protección al consumidor, entre otros aspectos. Por ejemplo, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios tiene la facultad de supervisar y regular las actividades de las ESP en Colombia, y puede imponer sanciones en caso de incumplimiento de las normativas aplicables. En resumen, aunque la regulación de los distritos térmicos en las ESP de Colombia puede variar según la entidad que presta el servicio, estas empresas deben cumplir con las normativas y regulaciones establecidas por las autoridades competentes. También depende del modelo de negocio que se tenga estipulado, ya sea público, privado o modelo mixto: **(Los distritos térmicos, eje para una economía circular en el desarrollo urbano, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, 2019)**

- ✓ **Modelo Público:** Es un modelo de negocio totalmente público, las alcaldías, secretarías, gobernaciones o entidades de carácter nacional son las propietarias y operadoras del distrito térmico y subcontratan productos y servicios por medio de licitaciones abiertas con empresas públicas o privadas.

- ✓ **Modelo Privado:** Bajo este modelo una empresa o grupo de empresas de carácter privado desarrolla, financia y opera el distrito térmico. Para este caso, debido a la magnitud del proyecto, el sector público tiene un rol auxiliar, mas no interviene directamente en su desarrollo.

- ✓ **Modelo Mixto:** Es una opción que combina beneficios de ambos modelos, como ilustra el Distrito Térmico de La Alpujarra de Medellín (administrado por la empresa de capital mixto EPM). Con diferentes niveles de participación entre empresas privadas y entidades públicas, los modelos mixtos pueden desarrollarse como sociedades mixtas de capital público privado, alianzas (joint-ventures) o modelos tipo concesión.

Cualquier modelo de negocio estipulado entre el DT y el usuario debe contener un contrato de suministro a nivel nacional (**Hinicio-Tractebel, 2017**), la estructuración del contrato establece los siguientes requisitos:

- ✓ Obligación de suministro de calor y frío por parte del distrito térmico
- ✓ Plazo
- ✓ Precio
- ✓ Medidores y consumos
- ✓ Facturación y pago
- ✓ Obligaciones del distrito térmico
- ✓ Obligaciones del cliente
- ✓ Calidad de servicio

Por otro lado, de acuerdo con la Ley 142 de 1994, se estableció el régimen de los servicios públicos domiciliarios en Colombia como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, gas combustible, telefonía, aseo, y otros servicios que presten las empresas de servicios públicos domiciliarios. Entre los ámbitos de aplicación de la Ley 142, también se incluyeron los principios y procedimientos para la regulación tarifaria, buscando un equilibrio entre la sostenibilidad económica y la accesibilidad para los usuarios. Evidentemente, la inspección, vigilancia y la eficiencia de la prestación de servicios públicos, se consideran principios

característicos de la Ley 142 de 1994.

Con respecto a la tarifa del servicio público de energía y gas combustible, esta es definida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), conforme a lo establecido en el Título VI - Régimen Tarifario de las Empresas de Servicios Públicos, de la Ley 142 de 1994, y el artículo 23 de la Ley 143 de 1994. Sin embargo, el servicio ofrecido por un sistema de distrito térmico, el cual proporciona calefacción o refrigeración centralizada a través de una red de distribución, no está explícitamente mencionado en la Ley 142. Es decir, que la prestación del servicio de energía térmica de los distritos, aún no es regulado a través de las Empresas de Servicios Públicos (ESP) en el país, por ahora, este servicio es privado y se está trabajando en la regulación del mismo a nivel nacional. Por lo anterior, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) tiene un papel importante en la definición de los marcos regulatorios y las condiciones bajo las cuales se presta este servicio.

El pasado 23 de noviembre de 2023, se llevó a cabo un recorrido al DT de La Alpujarra en Medellín, y según lo expresado por el director operativo de EPM, el ingeniero Álvaro Montoya Villegas, aclaró a los participantes que, la prestación de servicio térmico se puede ofrecer como un servicio público una vez este regulado en el país, y para ello se debe controlar el consumo de la temperatura y presión mediante sensores y controladores, y así lograr el cobro de la facturación del servicio público a usuarios que requieran del confort térmico necesario.

11. ENERGÍA TRADICIONAL DE REFRIGERACIÓN Y ENERGÍA EFICIENTE EN COLOMBIA.

Un aspecto clave para desarrollar políticas de transición energética es la elaboración de indicadores que definan las prioridades del proceso. Su elaboración debiese incorporar las perspectivas de actores públicos, sociales y privados. En Colombia, la transición energética se ha presentado como una oportunidad de posicionamiento estratégico en la región y en el mundo, con objetivos ambiciosos de reducción de emisiones (Ministerio de Ambiente, 2022) y basando sus estrategias más definidas (incluyendo carbón e hidrógeno) como posibilidades de exportación (Ministerio de Minas y Energía, 2021a). A pesar de que existen metas puntuales respecto al aumento de capacidad de generación eléctrica con base en fuentes renovables, los objetivos en torno a la descarbonización de la capacidad instalada existente suelen ser limitados. (Calles, 2023)

La transición energética en el país consiste en lograr la descarbonización²³, es decir, en lograr la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, el aumento de la eficiencia energética y la electrificación de sectores como el transporte y los edificios.

De igual forma, Castro y Buitrago (2023), llegaron a inferir que el sector energético ha evolucionado con nuevas tecnologías y energías renovables, así como el desarrollo de mercados que involucran a los usuarios finales, han creado distintos esquemas energéticos como lo son los distritos térmicos, que han logrado la integración entre energía y la participación de los usuarios, ya sea como consumidores o proveedores de servicios. (Energy Communities: Models for user empowerment in Colombia, 2023)

En el siguiente subcapítulo, se indican los incrementos de las tarifas de consumo eléctrico de Colombia en unidad de kilovatio por hora durante los dos (2) últimos años, que es el resultado de la cadena de producción de energía en Colombia, que consiste en: La generación, distribución, comercialización, pérdidas, transmisión y restricciones del servicio eléctrico.

²³ Descarbonización: proceso progresivo de reducción de nuestras emisiones de carbono a la atmósfera. Estas emisiones, principalmente de dióxido de carbono, son consecuencia de la actividad humana y la manera en que producimos nuestra energía, así como la ganadería y la agricultura intensivas.

11.1. Tarifas de consumo energía tradicional

Los precios de la energía han sido uno de los principales catalizadores para la inflación en el último año y medio, pues se han evidenciado incrementos de las tarifas en algunas ciudades, principalmente en la región Caribe, ya que según el Departamento Nacional de Estadística (DANE), la variación anual de la inflación en el servicio de energía en 2022 fue de 22,4%.

A continuación se presenta el alza en las tarifas de energía para el año 2022:



Ilustración 26 Variación anual de IPC de electricidad según dominio geográfico diciembre 2022.

Fuente: Dane y superservicios

Según los informes proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en la anterior ilustración se observa que, la ciudad de Sincelejo tuvo una variación de 37,1%, Montería un 37%, Valledupar 36%, Cartagena fue de 35,8%, en Riohacha 33,9%, Barranquilla 32% y Santa Marta con 26,9%.

Por otro lado, al comienzo de cada nuevo año es normal que en Colombia “las tarifas de los servicios públicos se modifiquen respecto al Índice de Precios al Consumidor (IPC). Este, es el encargado de medir la inflación que vive actualmente Colombia y sirve como punto de referencia para el aumento de los precios para el nuevo año.” (Arenales, 2023). De tal forma que, el incremento mensual del IPC a noviembre de 2023 según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) fue de 0,47%, el cual es reportado por divisiones, así:

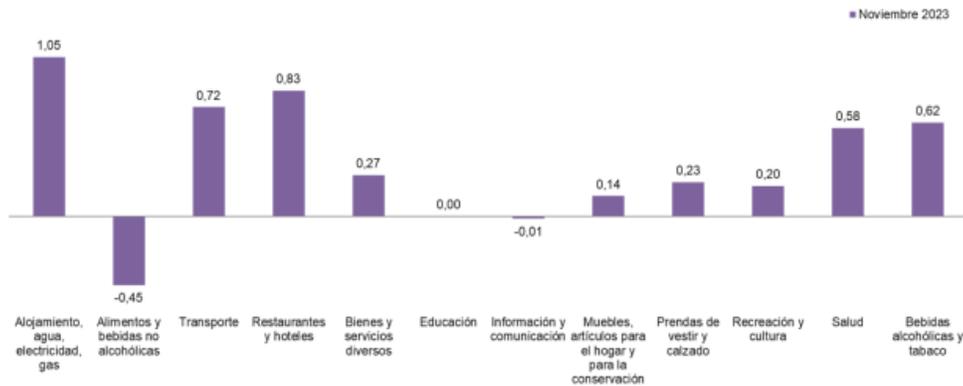


Ilustración 27 Variación mensual del Índice de Precios al Consumidor (IPC) a noviembre de 2023
Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

De la ilustración anterior, se evidencian mayores variaciones mensuales de servicios de alojamiento, agua, electricidad, gas y otros combustibles y transporte.

La Liga Nacional de Usuarios de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia (USPD), señaló que, para un usuario residencial en la zona costera de Colombia, la tarifa de electricidad del mes de octubre de 2023 estaba en \$944,28 kWh. De lo anterior, se percibe una tarifa por consumo eléctrico elevado, de modo que, además de la reducción de costos de implantación de un distrito térmico, estos sistemas de automatización generaran ahorros al consumidor.

11.2. Costos De Inversión:

El flujo de caja es esencial para la gestión financiera y el éxito a largo plazo de los proyectos, especialmente aquellos relacionados con la industria de los hidrocarburos en el contexto de la Ley 1715 de 2014, cuyo objetivo principal es promover la inversión en la industria de hidrocarburos en Colombia y proporciona incentivos para atraer inversiones en actividades de exploración y producción de petróleo y gas.. Los incentivos de la inversión establecidos en la Ley, consisten en la deducción de renta, depreciación acelerada, exención de aranceles y exclusión de IVA. **(Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Ministerio de Minas y Energía)**

Tal como se ha evidenciado, los distritos térmicos son proyectos de infraestructura que

demandan altas inversiones iniciales, asociadas no solamente con la construcción de la central de producción de energía térmica, sino también con el tendido de redes de distribución. En general, el costo de inversión se puede separar en tres componentes: Costos de desarrollo, costos directos, y costos indirectos, los cuales serán detallados a continuación.

11.2.1. Costo de desarrollo:

De acuerdo con las guías metodológicas e informes técnicos de distritos térmicos, los costos de desarrollo corresponden al costo del terreno para la construcción de la central térmica, permisos necesarios para la construcción y los estudios y servicios de ingeniería para el proyecto.

Previo a la implementación de un distrito térmico, es esencial realizar estudios de viabilidad detallados y trabajar con profesionales en ingeniería, finanzas y regulación para obtener estimaciones precisas del costo de desarrollo de un distrito térmico específico. Además, la inversión inicial debe considerarse en conjunto con los costos operativos y el potencial retorno de inversión a lo largo del tiempo para una evaluación completa de la viabilidad financiera del proyecto.

11.2.2. Costos directos

Los costos directos para llevar a cabo la implementación de un distrito térmico cubren los costos necesarios para la construcción de la central térmica calculado en USD/TR, así como el costo que se requiere para instalar el suministro y montaje del sistema de distribución calculado en USD/m y por último se debe considerar el costo requerido para poner en marcha el sistema de conexión entre el sistema y el cliente calculado en USD/TR.

En la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos directos de posibles distritos de enfriamiento urbano en Colombia que se podrían localizar en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga, Cali, Cartagena, Medellín, Villavicencio y Montería. Los datos supuestos, fueron extraídos de la guía metodológica de distritos térmicos

	A		B		C	
	Central de enfriamiento		Sistema de distribución		Sistema de conexión	
Unidades	USD/TR		USD/m		USD/TR	
Bogotá	1.300	1.600	1200	4800	150	1100
Bucaramanga	1.300	1.500	1600	4000	66	580
Cali	1.300	1.600	1600	4000	190	1500
Cartagena	1.300	1.600	1.600	4.000	150,00	1.200
Medellín	1.100	1.200	1.600	4.000	60,00	200
Villavicencio	1.500	2.500	1850	3125	1000	1200
Montería	1.600	1.700	1500	3500	500	700

Tabla 4 Costo de inversión estimado en diseño de supuestos distritos de enfriamiento urbano en Colombia

Fuente: Guía metodológica distritos térmicos

En la columna A, se evidencia el costo estimado en USD/TR para la implementación de la central de producción térmica de cada ciudad, que corresponde al costo de la obra civil para el edificio que aloja los equipos, el equipamiento electromecánico de la central y la mano de obra para la construcción.

En la columna B, se ilustra el costo de la red de distribución en USD/m que comprende el suministro y montaje de la tubería principal de distribución y retorno de agua, las bombas de distribución y la mano de obra para la construcción de las obras propias para la implementación de la red en cada ciudad.

En la columna C, se observan los costos del sistema de conexión en USD/TR, compuestos por los equipos y tuberías secundarias desde el sistema de distribución hasta el cliente y la mano de obra de construcciones propias para la implementación de la red secundaria.

11.2.3. Costos indirectos

Los costos indirectos corresponden a los costos de obras temporales para la construcción, costos de importación y nacionalización de equipos y transporte, seguros y garantías. Estos costos están asociados en la bolsa de contingencias e imprevistos.

11.3. Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento de los distritos térmicos corresponden al costo

anual del mantenimiento de la central térmica, del sistema de distribución y de las estaciones de transferencia. De igual forma, se incluyen los costos de administración, seguros, costos comerciales y costos de los insumos y energéticos primarios requeridos para la operación del distrito como el agua, electricidad y gas natural.

Es aquí donde surge el término de *Capex*, que se define como el gasto que se realiza para conseguir activos con la idea de que estos generen un beneficio a largo plazo para la empresa. **(UPME, Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, 2021)** Por lo cual, se realizó una revisión bibliográfica de los costos de capital asociados a los distritos térmicos operados en Colombia, de tal manera que se pudiera tener un referente en el momento de estimar un porcentaje de Capex para inversión de un sistema de DT. Extraído de la Guía Metodológica de Distrito Térmicos **(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, 2020)**, en donde se consolidó la información basados en los costos de operación y mantenimiento aproximados como un porcentaje sobre el valor de inversión del proyecto.

Para diferenciar el costo de operación y mantenimiento de un sistema convencional de ventilación vs un distrito térmico a implementar en la ciudad de Medellín-Colombia, en primera instancia, se extrajeron datos del informe de estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera de la empresa de consultoría estratégica *Hinicio*, así:

COSTOS	UNIDADES	COSTOS
Capex inicial	USD/TR	3570
Opex anual promedio en los próximos 30 años	USD/TR	697

Tabla 5 Costos de operación y mantenimiento de un Sistema convencional en Medellín
Fuente: Informe técnico Tractebel-Hinicio (2022).

En segunda instancia, se ilustran a continuación los costos de operación y mantenimiento del distrito térmico proyectado para la ciudad de Medellín, el cual cuenta con las siguientes características:

- Capacidad instalada: 20% más que un distrito térmico
- Ineficiencia eléctrica. Menos del 50% que el distrito térmico.
- CAPEX: 3570 USD/TR
- OPEX²⁴: 697 USD/TR
- Costo de propiedad para 30 años en valor presente de 13,288 USD/TR.

Por otro lado, y de acuerdo con los datos extraídos del informe técnico Tractebel-Hinicio (2022), a continuación, se indica el costo de inversión, costo de operación y mantenimiento de un **distrito térmico** proyectado a 30 años, con unas características del sistema con capacidad de **20,3 MWt (Megavatio térmico)**.

		Densidad de clientes (m)									
		TR	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Plant Capacity MWt (TR)	5	1,433	12,068	12,591	13,114	13,637	14,160	14,683	15,206	15,729	16,252
	10	2,866	9,144	9,461	9,810	10,127	10,477	10,794	11,144	11,461	11,810
	15	4,299	8,136	8,425	8,713	8,969	9,257	9,546	9,801	10,090	10,379
	20	5,732	7,568	7,804	8,040	8,243	8,479	8,682	8,918	9,154	9,357
	25	7,165	7,273	7,476	7,647	7,805	8,000	8,224	8,394	8,598	8,801
	30	8,598	7,075	7,223	7,404	7,585	7,765	7,914	8,094	8,275	8,456
	40	11,464	6,749	6,901	7,019	7,171	7,290	7,441	7,560	7,711	7,830
	50	14,330	6,677	6,849	6,988	7,160	7,300	7,471	7,611	7,783	7,922

Tabla 6 Proyección del costo total a 30 años [USD/TR] del distrito térmico en Medellín – Sin IVA en el costo de la electricidad

Fuente: Estudio De Viabilidad Técnica, Comercial y Financiera para un Distrito Térmico

Teniendo en cuenta que el sistema de DT tiene una capacidad de 20,3 MWt, y según los datos extraídos de la tabla No. 6, se resalta en rojo los casos en donde el distrito no es viable económicamente especial los primeros cinco (5) años en donde la tubería principal instalada es mayor a 1000 m, mientras que en verde se evidencia que el costo de operación de un distrito es más favorable comparado con un sistema convencional a medida que incrementa el número de años.

De acuerdo con la tabla No. 6 y realizando una extrapolación de datos, se tiene que a una proyección a 30 años y con una tubería principal instalada de 1100 m, arroja los siguientes resultados de costo total en USD/TR.

²⁴ OPEX: Costos de mantenimiento, insumos y gastos administrativos.

SISTEMA	Costo total de propiedad en valor presente (TCO)
Distrito térmico	7.675 USD/TR
Sistema convencional	13.288 USD/TR

Tabla 7 Costo total a 30 años [USD/TR] en Medellín capacidad de 20,3 MWt y tubería principal instalada de 1100m
Fuente: Estudio De Viabilidad Técnica, Comercial y Financiera para un Distrito Térmico

Evidenciando que los distritos térmicos son más económicos en su operación y mantenimiento, en comparación con el sistema convencional en una vida útil de 30 años. Además, una vez analizado el costo de los diferentes sistemas indicados en la tabla No. 6, la energía tradicional puede tener un costo más bajo en el corto plazo, pero a largo plazo puede ser más costosa debido a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. Por otro lado, los distritos térmicos eficientes pueden tener un costo inicial más alto debido a la necesidad de invertir en tecnologías de energía renovable, pero pueden tener costos operativos más bajos y una mayor estabilidad en los precios a largo plazo. Los costos asociados al funcionamiento del distrito térmico, incluido el suministro de energía, mantenimiento y reparaciones, pueden ser registrados y analizados para entender su impacto financiero y buscar maneras de reducir costos.

Una figura Costos de operación y mantenimiento estimado para un distrito en Colombia es el siguiente:

Concepto	Central de enfriamiento	Sistema de distribución
Costos de operación y mantenimiento	3% del CAPEX	1,5% del CAPEX

Tabla 8 Costos de operación y mantenimiento de un distrito térmico
Fuente: Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Medellín

Es así que para poner en marcha la viabilidad de un proyecto de tan alta inversión como los distritos térmicos, se debe hacer un análisis exhaustivo de los costos por CAPEX y OPEX, los cuales a su vez influirán en las tarifas para puesta en servicio de los DT, así como las políticas públicas y los costos adicionales.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEMANDA

En los siguientes numerales se presenta el análisis de datos supuestos de consumo de energía eléctrica según el uso comercial, público y residencial del sistema convencional de refrigeración y aire acondicionado vs el consumo de un distrito térmico para la ciudad de Medellín. Lo anterior, con el objeto de comparar el consumo térmico, eléctrico, eléctrico convencional, kilovatio-hora (kWh) eléctricos ahorrados, kws térmicos actuales, kws eléctricos, energía útil y eficiencia de ambos sistemas (Convencional y del distrito térmico), asumiendo datos supuestos para ambos sistemas proporcionados por data pública de la UPME. Se ilustra un gráfico conceptual, así:

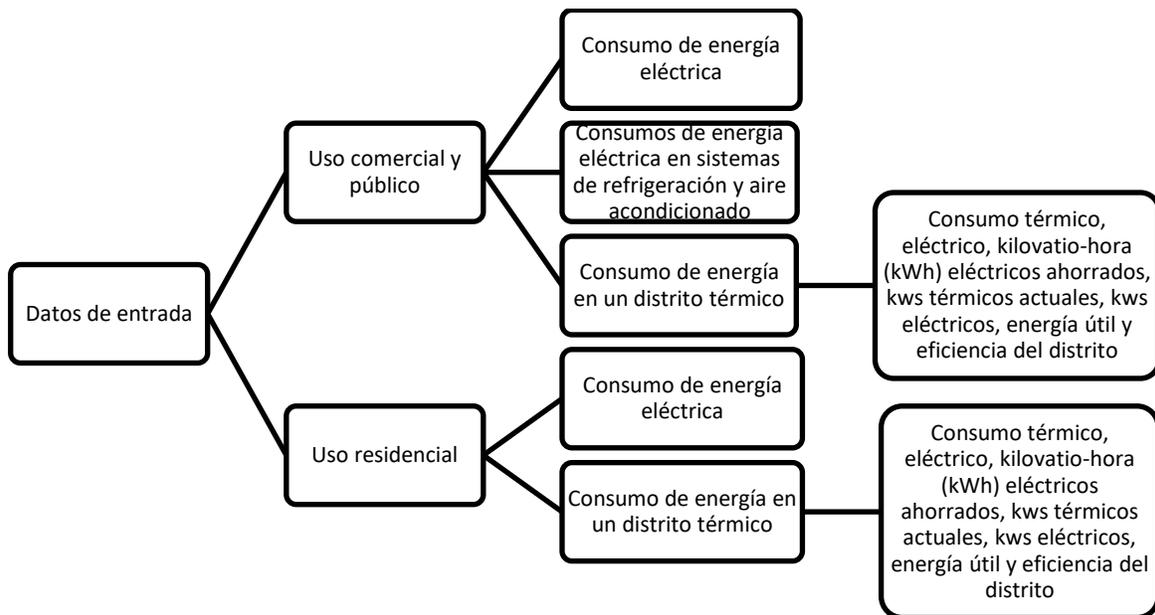


Ilustración 28 Procedimiento análisis de resultados de demanda
Fuente: Propia

12.1. Datos de consumo distrito térmico VS sistema convencional

En la actualidad existen distintas metodologías para modelar fuentes colombianas que son generadoras de emisiones de GEI en el sector de la energía, tanto el suministro y demanda. Gracias a estas metodologías se puede actualizar el modelo, plantear nuevos escenarios y llevar a cabo análisis de distintos supuestos a partir de datos de línea base. Un software para modelamiento de un sistema energético común a nivel nacional es el modelo de planificación

de alternativas energéticas de largo plazo LEAP ²⁵ (Low Emission Analysis Platform) Colombia NDC 2020.

Las capacidades del modelado de LEAP funcionan a partir de métodos conceptuales básicos. En primer lugar, los cálculos integrados de LEAP se encargan de todos los cálculos de la energía, las emisiones y la contabilidad de costos y beneficios. Los usuarios introducen expresiones similares a hojas de cálculo que se pueden utilizar para especificar datos o fórmulas que varían en el tiempo con variables definidas por el usuario para crear una amplia variedad de cálculos sofisticados que capturan la representación del mundo real, desarrollando escenarios.²⁶

Teniendo en cuenta lo anterior, en los siguientes numerales se analizan datos públicos de consumos de energía eléctrica de uso comercial, público y residencial en Medellín vs el consumo de los distritos térmicos a nivel general, los datos de consumo fueron suministrados y proyectados con el modelado LEAP desde el 2023 al 2030 por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

12.2. Uso comercial y público

12.2.1. Consumos energía eléctrica según su uso (Comercial y público)

- A continuación, se presenta la proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso comercial desde el 2023 al 2030:

²⁵ LEAP: Modelo de planificación de energía que se utiliza para evaluar escenarios de emisiones y opciones de políticas energéticas a largo plazo.

²⁶https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/PMR_LEAPColombia-Manual_20201209.pdf

CONSUMO COMERCIAL (PJ)	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Aire Acondicionado	24,37	25,34	26,34	27,38	28,42	29,48	30,56	31,67
Iluminación Total	18,67	19,41	20,18	20,97	21,77	22,58	23,41	24,26
Motriz Total	2,57	2,67	2,77	2,88	2,99	3,10	3,22	3,33
Neveras	1,33	1,38	1,44	1,5	1,55	1,61	1,67	1,73
Calor directo (Electricidad)	0,57	0,59	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74
Otros consumos eléctricos	6,37	6,62	6,89	7,16	7,43	7,71	7,99	8,28
Total	53,88	56,01	58,23	60,53	62,82	65,17	67,56	70,01

Tabla 9 Proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso comercial desde el 2023 al 2030
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Dados los resultados de la tabla No. 9, se tomará de referencia el consumo comercial total desde el 2023, el cual corresponde a **53,88 Petajulio (PJ)**

- A continuación, se presenta la proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso público desde el 2023 al 2030:

CONSUMO PUBLICO (PJ)	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Aire Acondicionado	0,92	0,96	1	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20
Iluminación Total	0,62	0,64	0,67	0,69	0,72	0,75	0,78	0,80
Motriz Total	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21
Neveras	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
Calor directo (Electricidad)	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,31	0,32
Otros consumos eléctricos	0,95	0,99	1,03	1,07	1,11	1,15	1,20	1,24
Total	2,95	3,07	3,20	3,32	3,46	3,59	3,72	3,85

Tabla 10 proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso público desde el 2019 al 2030
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Dados los resultados de la tabla No. 10, se tomó como referencia el consumo público total desde el 2023, el cual corresponde a **2,95 Petajulio (PJ)**

Teniendo en cuenta que, los datos suministrados se encienden en Petajulio (PJ), se realiza la conversión a kWh, así:

$$1 \text{ Kilovatio hora [kWh]} = 0,0000000036 \text{ Petajulio [PJ]} \quad [1]$$

De la conversión de kWh a Petajulio, se obtienen los siguientes resultados:

USO	CONSUMO TOTAL PJ	CONSUMO TOTAL KWH	% CONSUMO
Comercial	53,88	14.96 6.670.000	95%
Público	2,95	819.444.400	5%
TOTAL COMERCIAL + PÚBLICO		15.786.114.400	

Tabla 11 Consumo eléctrico total para uso comercial y público de 2019
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

12.2.2. Consumos de energía eléctrica en sistemas de refrigeración y aire acondicionado (Comercial y público)

El consumo para "Neveras" del LEAP corresponde a los auto contenidos, que es el 23% del consumo de energía eléctrica por refrigeración. En cuanto al 77% restante que corresponde al consumo asociado a los sistemas centralizados, se tomará este consumo de "Aire acondicionado" y a este se le aplicará medidas de eficiencia energética, así

Consumo de Energía	
Sistemas centralizados	77%
Autocontenidos	23%

Tabla 12 Porcentaje de consumo energía eléctrica por refrigeración
Fuente: Estudio CAEM UTO

Del documento de CAEM -UTO se tomó el escenario que incorpora medidas de eficiencia energética y refrigerante de bajo GWP²⁷ de manera gradual. Las variables contempladas para el escenario fueron la carga instalada, consumo energético, emisiones asociadas a la disposición final, a las fugas, al consumo energético y totales, los datos se relacionan a continuación:

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BAU	1032	1071	1111	1153	1197	1242	1289	1338
Consumo de energía implementando escenario DERE E GWh	908	900	903	897	891	887	868	839
Consumo de energía con medidas EE para autocontenidos (Neveras)	209	207	208	206	205	204	200	193
Consumo de energía con medidas EE para sistemas centralizados (AA)	699	693	695	691	686	683	668	646

Tabla 13 Eficiencia energética y refrigerante en GWP
Fuente: Estudio CAEM UTO

²⁷ GWP: Global-warming potential - GWP = Potencial de calentamiento global: Medida relativa de cuánto calor puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero, en comparación con un gas de referencia, por lo general dióxido de carbono.

El impacto de los distritos térmicos en la reducción del consumo energético y la mejora del confort de edificaciones en las ciudades inteligentes.

91

De acuerdo con los consumos de energía eléctrica reportados anteriormente, y luego del modelado de LEAP realizadas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se obtienen los siguientes datos de consumo tanto de uso comercial como y público en kWh para de neveras, aires acondicionados, refrigeración y sistemas centralizados.

LÍNEA BASE		2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
1	Consumo LEAP Neveras kWh	386.111.111	400.000.000	416.666.667	436.111.111	450.000.000	466.666.667	483.333.333	502.777.778
2	Consumo LEAP AA kWh	7.025.000.000	7.305.555.556	7.594.444.444	7.894.444.444	8.194.444.444	8.500.000.000	8.811.111.111	9.130.555.556
3	Consumo BAU estudio refrigeración	1.032.000.000	1.071.000.000	1.111.000.000	1.153.000.000	1.197.000.000	1.242.000.000	1.289.000.000	1.338.000.000
4	Consumos autocontenidos (neveras) estudio R	237.360.000	246.330.000	255.530.000	265.190.000	275.310.000	285.660.000	296.470.000	307.740.000
5	Consumo sistemas centralizados estudio R	794.640.000	824.670.000	855.470.000	887.810.000	921.690.000	956.340.000	992.530.000	1.030.260.000

		2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
A= 1-4	Consumo neveras (diferencia entre CAEM y LEAP)	148.751.111	153.670.000	161.136.667	170.921.111	174.690.000	181.006.667	186.863.333	195.037.778
B = 2-5	Consumo AA (diferencia entre CAEM y LEAP)	6.230.360.000	6.480.885.556	6.738.974.444	7.006.634.444	7.272.754.444	7.543.660.000	7.818.581.111	8.100.295.556
C= B-Consumo del año anterior	Consumo asociado a nuevos comercios	237.406.667	250.525.556	258.088.889	267.660.000	266.120.000	270.905.556	274.921.111	281.714.444
D = B - C	Consumo asociado a comercios existentes	5.992.953.333	6.230.360.000	6.480.885.556	6.738.974.444	7.006.634.444	7.272.754.444	7.543.660.000	7.818.581.111

		2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
5 * Consumo de energía con medidas EE para sistemas centralizados (AA)	Ahorro de la medida EE para sistemas centralizados	95.480.000	131.670.000	160.160.000	197.120.000	235.620.000	273.350.000	324.170.000	384.230.000

Tabla 14 Modelado LEAP datos de consumo uso comercial y público en kWh para consumo de neveras, aires acondicionados, refrigeración y sistemas centralizados
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Frente a los datos de consumo eléctrico para uso comercial y público reportados en la Tabla 14, únicamente se evidencia un incremento lineal de consumo con el paso de los años desde el año 2023 hasta el 2030.

11.2.3. Consumos de energía distrito térmico (Comercial y público)

Dado que los consumos energéticos de los distritos térmicos en Colombia son datos confidenciales por parte de los operadores de los DT como CELSIA y EPM, a continuación, se indican datos supuestos proporcionados por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) respecto al consumo de energía del distrito térmico de La Alpujarra:

MEDIDA	eff mejorada (COP)	eff base (COP)
Implementación de distritos térmicos	4,1	3,0

Tabla 15 Eficiencia mejorada y base del DT La Alpujarra
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Se consideran los siguientes supuestos de capacidad del DT:

Supuestos

- 3600: TR de 1 DT - Alpujarra
- Se supone la introducción de 2 DT en 2024, 2 DT en 2027 y 2 DT en 2030

Datos:

Datos DT	
3600	TR de 1 DT - Alpujarra
2500	h/año Tiempo de operación

Tabla 16 Datos supuestos del DT de la Alpujarra – TR y tiempo de operación
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se procede a calcular el consumo térmico, eléctrico, eléctrico convencional, el kilovatio-hora (kWh) eléctricos ahorrados, así como los kws térmicos actuales, kws eléctricos, energía útil y eficiencia del distrito, así:

- Para calcular el consumo térmico del distrito en kWh, se requieren los datos de la TR del distrito térmico en cuestión y el tiempo de operación del mismo, y finalmente se realiza la conversión a kWh, así:

$$\text{Consumo térmico del distrito [kWh]} = [TR] * \text{Tiempo de operación} * \frac{3,517}{1 [TR]} \quad [2]$$

$$\text{Consumo térmico del distrito} = 3600 [TR] * 2500 \frac{h}{\text{año}} * 3,517 kW = 31.653.000 [kWh]$$

- Una vez se cuenta con el consumo térmico del distrito, se procede a calcular el consumo eléctrico del DT (kWh), así:

$$\text{Consumo electrico DT [kWh]} = \frac{\text{Consumo termicos [kWh]}}{\text{eff mejorada [COP]}} \quad [3]$$

$$\text{Consumo electrico DT} = \frac{31.653.000 [kWh]}{4,1 [COP]} = 7.720.244 [kWh]$$

- Posteriormente, se calcula el consumo eléctrico convencional del DT, así:

$$\text{Consumo electrico convencional DT [kWh]} = \frac{\text{Consumo termicos [kWh]}}{\text{eff base [COP]}} \quad [4]$$

$$\text{Consumo electrico convencional DT} = \frac{31.653.000 [kWh]}{3 [COP]} = 10.551.000 [kWh]$$

- Posteriormente se calculan los Kilovatio-hora (kWh) eléctricos ahorrados x 1 DT

$$\text{Consumo electrico ahorrado x 1 DT [kWh]} = \text{Consumo kWh electricos DT [kWh]} - \text{Consumo electrico DT [kWh]} \quad [5]$$

$$\text{Consumo electrico ahorrado} = 10.551.000 [kWh] - 7.720.244 [kWh] = 2.830.756 [kWh]$$

- Se continúa con el cálculo de los kw térmicos actuales COP²⁸ del distrito, así:

$$\text{kw Térmicos actuales COP 3} = \text{eff base (COP)} * \text{Consumo AA comercios existentes kWh año 2023} \quad [6]$$

$$\text{kw Térmicos} = 3,0 (COP) * 5.491.297.778 = 16.473.893.333 \text{ kw Térmico COP 3}$$

²⁸ COP: Se define como la relación entre la potencia (kW) que se extrae de la bomba de calor como refrigeración o calor, y la potencia (kW) que se suministra al compresor.

- Se calculan los kw Eléctricos COP 4, así:

$$\frac{C \text{ kw Térmicos actuales COP 3}}{\text{eff mejorada (COP)}} = \text{kw Eléctricos COP} \quad [7]$$

$$\text{kw Eléctricos COP} = \frac{16.473.893.333 \text{ kw Térmico COP 3}}{4,1 \text{ (COP)}} = 4.018.022.764 \text{ kw Eléctricos COP}$$

- Se calcula la energía útil, así:

$$\frac{C \text{ kw Térmicos actuales COP 3}}{100} = \text{Energía Útil} \quad [8]$$

$$\text{Energía Útil} = \frac{5.491.297.778 * 27}{100} = 1.482.650.400 \text{ Energía Útil}$$

- Se calcula la Ef. DT, así:

$$\frac{\text{Energía Útil}}{\text{kw Electricos COP 4}} = \text{Ef. DT \%} \quad [9]$$

$$\text{Ef. DT \%} = \frac{1.482.650.400}{4.018.022.764} = 37\%$$

Una vez calculado el consumo térmico, eléctrico, eléctrico convencional, el kilovatio-hora (kWh) eléctricos ahorrados, así como los kws térmicos actuales, kws eléctricos, energía útil y eficiencia del distrito, se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Datos DT	
31.653.000	Consumo kWh térmicos
7.720.244	Consumo kWh eléctricos DT
10.551.000	Consumo kWh eléctrico convencional
2.830.756	kWh eléctricos ahorrados x 1 DT
16.473.893.333	kw Térmicos actuales COP 3
4.018.022.764	kw Eléctricos COP 4
1.482.650.400	Energía Útil
37%	Ef. DT

Tabla 17 Datos de entrada del distrito térmico
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

De acuerdo con los consumos de energía eléctrica reportados anteriormente, y luego del modelado de LEAP realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se obtienen los siguientes datos de consumo tanto de uso comercial y público en kWh de aires acondicionados y del distrito térmico.

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Consumo AA comercios existentes kWh	5.992.953.333	6.230.360.000	6.480.885.556	6.738.974.444	7.006.634.444	7.272.754.444	7.543.660.000	7.818.581.111
Consumo DT kW	-	15.440.488	15.440.488	15.440.488	30.880.976	30.880.976	30.880.976	46.321.463

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Consumo útil AA existente kWh	1.618.097.400	1.682.197.200	1.749.839.100	1.819.523.100	1.891.791.300	1.963.643.700	2.036.788.200	2.111.016.900
Consumo útil DT kWh	-	5.697.540	5.697.540	5.697.540	11.395.080	11.395.080	11.395.080	17.092.620
Energía útil AA con medida kWh	1.618.097.400	1.676.499.660	1.744.141.560	1.813.825.560	1.880.396.220	1.952.248.620	2.025.393.120	2.093.924.280

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
% Participación AA con medida	100,00%	99,66%	99,67%	99,69%	99,40%	99,42%	99,44%	99,19%
% Participación DT	0,00%	0,34%	0,33%	0,31%	0,60%	0,58%	0,56%	0,81%

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
% Eficiencia LEAP :	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
% Eficiencia Proure DT		36,90	36,90	36,90	36,90	36,90	36,90	36,90

Tabla 18 Modelado LEAP datos de consumo uso comercial y público en kWh para consumo aires acondicionados vs el distrito térmico
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Como análisis de los datos de la tabla anterior, se puede afirmar que el consumo de energía eléctrica (kWh) tanto de uso público y comercial de aires acondicionados se incrementara con paso de los años, mientras que con la implementación de los distritos térmicos el consumo de energía se observa considerablemente reducido, por lo tanto, existe un aumento de la eficiencia energética, lo cual genera menos emisiones de CO₂, ayudando a la reducción de efecto invernadero, lo cual será demostrado en el numeral 10.4. *Emisiones de CO₂*.

12.3. Uso residencial

12.3.1. Consumos energía eléctrica (Residencial)

A continuación, se presenta la proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso residencial desde el 2023 al 2030:

CONSUMO (PJ)	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Electricidad calentamiento de agua	3,01	3,06	3,11	3,17	3,22	3,28	3,34	3,39
Aire Acondicionado	9,18	9,88	10,61	11,36	12,14	12,94	13,77	14,6

Proyección del consumo de energía eléctrica (PJ) para uso residencial desde el 2023 al 2030

Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

12.3.2. Consumos de energía distrito térmico (Residencial)

Dado que los consumos energéticos de los distritos térmicos en Colombia son datos confidenciales por parte de los operadores de los DT como CELSIA y EPM, a continuación se indican datos supuestos para el consumo de energía de un distrito térmico de uso residencial basados en supuestos planteados por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME):

MEDIDA	eff mejorada (COP)	eff base (COP)
Implementación de distritos térmicos	4,1	2,7

Tabla 19 Eficiencia mejorada y base del DT residencial

Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Supuestos

- 1500: TR de 1 DT - Alpujarra
- Se supone la introducción de 1 DT en 2024, 1 DT en 2027, 1DT en 2029

Datos

Datos DT	
1500	TR de 1 DT
2500	h/año Tiempo de operación

Tabla 20 Datos supuestos del DT de uso residencial - TR y tiempo de operación

Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Una vez calculado el consumo térmico, eléctrico, eléctrico convencional, los kilovatio-hora (kWh) eléctricos ahorrados, así como los kws térmicos actuales, kws eléctricos, energía útil y eficiencia del distrito, se utilizan las fórmulas [2],[3],[4],[5],[6],[7],[8] y [9] respectivamente, y se presentan los resultados en la siguiente tabla, con el objeto de obtener los datos de modelado LEAP de consumo uso residencial:

Datos DT	
13.188.750	Consumo kWh térmicos
3.216.768	Consumo kWh eléctricos DT
4.884.722	Consumo kWh eléctrico convencional
1.667.954	kWh eléctricos ahorrados x 1 DT
5.857.500.000	kw Térmicos actuales COP 2,7
1.428.658.537	kw Eléctricos COP 4
320.701.327	Energía Útil
22,45%	Ef. DT

Tabla 21 Consumo para uso residencial
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

De acuerdo con los consumos de energía eléctrica reportados anteriormente, y luego del modelado de LEAP realizadas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se obtienen los siguientes datos de consumo de uso residencial en kWh de aires acondicionados y para consumo energético del distrito térmico.

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Consumo AA kWh	2.550.000.000	2.744.444.444	2.947.222.222	3.155.555.556	3.372.222.222	3.594.444.444	3.825.000.000	4.055.555.556
Consumo DT kWh		3.216.768	3.216.768	3.216.768	6.433.537	6.433.537	9.650.305	9.650.305

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
Consumo útil AA existente kWh	376.957.514	405.701.551	435.677.475	466.474.657	498.503.727	531.354.055	565.436.270	599.518.486
Consumo útil DT kWh	-	722.091	722.091	722.091	1.444.183	1.444.183	2.166.274	2.166.274
Energía útil AA con medida kWh	376.957.514	404.979.459	434.955.384	465.752.566	497.059.545	529.909.873	563.269.997	597.352.212

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
% Participación AA con medida	100,0%	99,8%	99,8%	99,8%	99,7%	99,7%	99,6%	99,6%
% Participación DT	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%

	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
% Eficiencia LEAP :	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
% Eficiencia Proure DT		22,45	22,45	22,45	22,45	22,45	22,45	22,45

Tabla 22 Modelado LEAP datos de consumo uso residencial en kWh para consumo aires acondicionados vs el distrito térmico
Fuente Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Como análisis de los datos de la tabla anterior, se puede afirmar que el consumo de energía eléctrica (kWh) para uso residencial de aires acondicionados se incrementará con el paso de los años, mientras que con la implementación de los distritos térmicos el consumo de energía se observa considerablemente reducido, y además, al igual que para uso comercial y público, para uso residencial también se observa un aumento de la eficiencia energética por uso residencial, lo cual genera menos emisiones de CO₂, lo cual será demostrado en el numeral 10.4.Emisiones de CO₂.

Por otro lado, es evidente que existe una reducción en el impacto ambiental debido a las tecnologías aplicadas a la implementación de los distritos térmicos. Para ello, el DT debe ser diseñado de forma sostenible y eficiente, con un factor de emisiones bajo y por supuesto con materiales de construcción amigables.

Sumado a lo anterior, cabe resaltar que la economía circular aplicada en materiales de construcción genera beneficios a partir de la valorización de los recursos en repetidos ciclos, lo que se traduce en la reducción de costos de producción (**Ellen MacArthur, 2014**).

Los hallazgos de este estudio indican que, se debe llevar a cabo una planificación y construcción de la infraestructura del distrito, debidamente coordinada en la etapa de diseño y el desarrollo de los edificios, con el objeto de asegurar una integración efectiva. Además, la relación entre el área de la construcción y los distritos térmicos es significativa, ya que la eficiencia energética y el diseño sostenible en la construcción pueden tener un impacto directo en el rendimiento y la operación de los distritos térmicos.

12.4. Emisiones de CO₂

El cálculo de la huella de CO₂ se obtiene identificando la fuente emisora de energía que se está consumiendo. Una vez evidenciada la fuente de energía, se multiplica el valor del consumo de energía eléctrica consumida (Expresado en Megawatts por hora (MWh), por el valor del factor de emisión de CO₂²⁹ de consumo de electricidad (Expresado en toneladas de CO₂ por Megawatts por hora). El factor de emisión es un indicador clave para la mitigación del cambio climático, que permite evaluar la reducción de emisiones de CO₂ asociadas a la producción de electricidad en una red eléctrica con recursos renovables (Ministerio de Minería y Energía, 2022).

Por otro lado, el 5 de agosto de 2022 la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME,

²⁹ Factor de emisión de CO₂ (FE): Es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la combustión de combustible fósil. (UNFCCC, 2018)

emitió la Resolución No. 320 de 2022, por medio del cual, se actualizaba el factor de emisión FE del Sistema Interconectado Nacional del año 2021 para inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI atribuible al suministro eléctrico, así:

*“B. Factor de emisión para inventarios de GEI:
0.126 tonCO₂eq/MWh”*

Por lo tanto, el factor de emisión FE es 0.126 tonCO₂eq/MWh, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado sobre el consumo eléctrico en aires acondicionados y en los distritos térmicos según el uso comercial, público y residencial, a continuación, se procedió a realizar el cálculo del emisiones.

12.4.1. Emisiones de dióxido de carbono uso comercial y público

Dado que el factor de emisión se encuentra en tonCO₂eq/MWh y que los datos suministrados de la tabla 18 se encuentran en Kilovatio hora (kWh), se realiza la conversión a MWh, así:

$$1 \text{ Kilovatio hora [kWh]} = 0,001 \text{ Megavattios hora [MWh]} \quad [10]$$

De la conversión de kWh a MWh, se obtienen los siguientes resultados para uso comercial y público del 2024:

2.024 USO COMERCIAL, PÚBLICO	
Consumo energético Aire acondicionado 6.230.360.000 kWh/año 6.230.360 MWh/año	Consumo energético Distrito térmico 15.440.488 kWh/año 15.440 MWh/año
Emisiones de CO ₂	
Aire acondicionado 6.230.360 MWh/año x 0,126 tonCO ₂ eq/MWh Emisiones de CO₂ = 785.025 Ton de CO₂/año	Distrito térmico 15.440 MWh/año x 0,126 tonCO ₂ eq/MWh Emisiones de CO₂ = 1.946 Ton de CO₂/año

Tabla 23 Comparación de emisiones de CO₂ en AA vs DT para uso comercial y público del 2024

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el ahorro de emisiones es de:

$$785.025 \text{ Ton de CO}_2/\text{año} - 1.946 \text{ Ton de CO}_2/\text{año} = 783.080 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}$$

$$\frac{783.080 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}}{785.025 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}} * 100 \% = 99,75\%$$

Es decir que, los sistemas convencionales de aires acondicionados, para uso comercial y público emitirán 783.080 Ton de CO₂/año para el 2024, mientras que con la implementación de un DT se emitirían 1.946 Ton de CO₂/año, para una diferencia de 783.080 Ton de CO₂/año, y una disminución de emisión de CO₂ de 99,75% al año.

12.4.2. Emisiones de dióxido de carbono uso residencial

Dado que el factor de emisión se encuentra tonCO₂eq/MWh y que los datos suministrados en la tabla 222 se encuentran en Kilovatio hora (kWh), se realiza la conversión a MWh, así:

$$1 \text{ Kilovatio hora [kWh]} = 0,001 \text{ Megavattios hora [MWh]} \quad [10]$$

De la conversión de kWh a MWh, se obtienen los siguientes resultados para uso residencial:

2.024 USO RESIDENCIAL	
Consumo energético Aire acondicionado 2.744.444.444 kWh/año 2.744.444 MWh/año	Consumo energético Distrito térmico 3.216.768 kWh/año 3.217 MWh/año
Emisiones de CO ₂	
Aire acondicionado 2.744.444 MWh/año x 0,126 tonCO ₂ eq/MWh Emisiones de CO₂ = 345.800 Ton de CO₂/año	Distrito térmico 3.216.768 MWh/año x 0,126 tonCO ₂ eq/MWh Emisiones de CO₂ = 405,31 Ton de CO₂/año

Tabla 24 Tabla 23 Comparación de emisiones de CO₂ en AA vs DT para uso residencial del 2024

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la disminución de emisiones es de:

$$345.800 \text{ Ton de CO}_2/\text{año} - 405,31 \text{ Ton de CO}_2/\text{año} = 345.395 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}$$

$$\frac{345.395 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}}{345.800 \text{ Ton de CO}_2/\text{año}} * 100 \% = 99,88\%$$

Es decir que, los sistemas convencionales de aires acondicionados para uso residencial emitirían 345.800 Ton de CO₂/año para el 2024, mientras que con la implementación de un DT se emitirían 405,31 Ton de CO₂/año, para una diferencia de 345.395 Ton de CO₂/año, y una disminución de emisión de CO₂ de 99,88% al año.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la implementación de distritos térmicos emerge

como una estrategia eficaz para la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al transformar la manera en que se produce y distribuye la energía térmica. La centralización de la producción, la eficiencia energética mejorada y la integración de fuentes de energía renovable y baja en carbono son elementos clave que contribuyen a la reducción significativa de emisiones de CO₂. Al abordar eficazmente estos aspectos, los distritos térmicos no solo optimizan la utilización de recursos, sino que también juegan un papel esencial en la transición hacia sistemas urbanos más sostenibles y resilientes, cada vez más cerca de obtener una huella de carbono reducida y una mitigación efectiva del cambio climático a nivel local y global.

En resumen, la implementación exitosa de distritos térmicos no solo se traduce en disminuciones tangibles de emisiones de CO₂, sino que también representa un modelo ejemplar para la gestión inteligente de la energía en entornos urbanos. Al consolidar la producción de energía térmica, diversificar las fuentes de energía y promover la eficiencia energética, estos sistemas contribuyen de manera significativa a la reducción de la huella de carbono urbana.

12.5. Tarifas de Consumo energía de acuerdo con la fuente de energía

Los precios de las tarifas del gas y electricidad varían pues existen operadores que compran directamente en la bolsa, e incluso que realizan las compras por distintos años, lo que asegura el precio del kWh. Otros usuarios compran directamente a la red, sin embargo, se presentan variaciones por distintas razones: Fenómenos de año, condiciones climáticas, picos en la generación hidráulica o térmica, dependerá de la zona en donde se ubique el sistema, es decir que el precio es muy volátil y puede variar

Durante la investigación, se obtuvieron tarifas disponibles para el año de 2024 por consumo de energía eléctrica, evidenciando las siguientes variaciones del precio de kWh por tipo de usuario residencial en distintas zonas del país, así:

- La tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Bogotá se indica a continuación:

BOGOTÁ				
USO RESIDENCIAL				
Electricidad - BT		\$/KwH		
Estrato	Rango consumo (kWh-mes)	PROPIEDAD DE ENEL COLOMBIA	PROPIEDAD DEL CLIENTE	PROPIEDAD COMPARTIDA
E1	O-CS (+) Más de CS	351,74	330,13	340,57
		870,81	825,34	848,07
E2	O-CS (+) Más de CS	439,68	412,67	425,71
		870,81	825,34	848,07
E3	O-CS (+) Más de CS	740,19	701,53	720,86
		870,81	825,34	848,97
E4	Todo consumo	870,81	825,34	848,97
E5		1044,98	990,4	1017,69
E6		1044,98	990,4	1017,69

Tabla 25 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Bogotá - Operador ENEL

Elaboración: Propia

Fuente: ENEL 2024

- La tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Medellín se indica a continuación:

MEDELLIN				
USO RESIDENCIAL				
Electricidad - BT		\$/KwH		
Estrato	Rango consumo (kWh-mes)	PROPIEDAD DE EPM	PROPIEDAD DEL CLIENTE	PROPIEDAD COMPARTIDA
E1	O-CS (+) Más de CS	313,1	287,03	330,07
		779,48	714,59	747,04
E2	O-CS (+) Más de CS	391,37	358,79	375,08
		779,48	714,59	747,04
E3	O-CS (+) Más de CS	662,56	607,4	634,98
		779,48	714,59	747,04
E4	Todo consumo	779,48	714,59	747,04
E5		935,38	857,5	896,45
E6		935,38	857,5	896,45

Tabla 26 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en la ciudad de Medellín- Operador EPM

Elaboración: Propia

Fuente: EPM 2024

- La tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en Boyacá se indica a continuación:

BOYACA			
USO RESIDENCIAL			
Electricidad - BT		\$/Kwh	
Estrato	Rango consumo (kWh-mes)	PROPIEDAD DE EBSA	PROPIEDAD DEL CLIENTE
E1	O-CS (+) Más de CS	367,03	337,46
		917,59	843,67
E2	O-CS (+) Más de CS	458,79	421,83
		917,59	843,67
E3	O-CS (+) Más de CS	779,95	717,12
		917,59	843,67
E4	Todo consumo	1101,11	843,67
E5		1101,11	1012,4
E6		1101,11	1012,4

Tabla 27 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en Boyacá - Operador EBSA

Elaboración: Propia

Fuente: EBSA 2024

- La tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en Atlántico, Magdalena Y La Guajira se indica a continuación:

ATLÁNTICO, MAGDALENA Y LA GUAJIRA							
USO RESIDENCIAL							
Electricidad		\$/Kwh					
Estrato	Rango consumo (kWh-mes)	PROPIEDAD DE AIR-ECOLOMBIA		PROPIEDAD COMPARTIDA		PROPIEDAD DEL CLIENTE	
E1	O-CS (+) Más de CS	466,23	1165,56	459,38	1148,46	452,54	1131,35
E2	O-CS (+) Más de CS	582,78	1165,56	574,23	1148,46	565,67	1131,35
E3	O-CS (+) Más de CS	990,73	1165,56	976,19	1148,46	961,65	1131,35
E4	Todo consumo	990,73	1165,56	1148,46	1148,46	1131,35	1131,35
E5		1165,56	1165,56	1148,46	1148,46	1357,62	1131,35
E6		1398,68	1398,68	1148,46	1148,46	1357,62	1357,62

Tabla 28 Tarifa de energía eléctrica (\$/kWh) en el Caribe - Operador Air-e

Elaboración: Propia

Fuente: Air-e 2024

Además, se obtuvieron tarifas disponibles para el año de 2024 por consumo de gas natural, evidenciando las siguientes variaciones del precio de $\$/m^3$ por tipo de usuario residencial en distintas zonas del país, así:

- La tarifa de gas natural ($\$/m^3$) en la ciudad de Bogotá se indica a continuación:

BOGOTÁ				
USO RESIDENCIAL				
Gas		$\$/m^3$		
Estrato	Rango (m3)	Dm,i,j x fpc m, i,j ³⁰ ($\$/m^3$)	CUvm,i,j ³¹ ($\$/m^3$)	Cufm,i,j ³² ($\$/m^3$)
E1	>0 <26.300	597,76	2225,85	3888
E2	>26.300 <74.500	580,91	2209	3888
E3	>74.500 <438.300	562,02	2190,11	3888
E4	>438.300 <789.000	408,03	2036,12	3888
E5	>789.000 <1.490.300	334,34	1962,43	3888
E6	>1.490.300 <10.000.000	277,3	1905,39	3888

Tabla 29 Rangos de consumo, los cargos de distribución, las tarifas a usuario final Gas 2024 -

Operador Vanti

Elaboración: Propia

Fuente: VANTI 2024

- La tarifa de gas natural ($\$/m^3$) en la ciudad de Medellín se indica a continuación:

³⁰ Dm,i,j : Costo expresado en ($\$/m^3$) por uso del sistema de distribución de gas combustible destinado a usuarios regulados, aplicable en el mes *m*, a los usuarios del mercado relevante de comercialización *i* y atendidos por el comercializador *j*. No incluye la conexión al usuario final. Los cargos son definidos por la CREG mediante las resoluciones 202 de 2013 y 175 de 2017.

³¹ CUvm,i,j: Componente variable del costo unitario de prestación del servicio público de gas combustible por redes de tubería expresado en ($\$/m^3$), aplicable en el mes *m* a los usuarios del mercado relevante de comercialización *i* y atendidos por el comercializador *j*.

³² Cufm,i,j: Componente fijo del costo unitario de prestación del servicio público de gas combustible por redes de tubería expresado en ($\$/factura$) aplicable en el mes *m* a los usuarios del mercado relevante de comercialización *i* y atendidos por el comercializador *j*.

MEDELLIN		
USO RESIDENCIAL		
Gas		$\$/m^3$
Estrato	Rango ($\$/m^3$)	Cargo fijo
E1	>1270,61 <2281,06	
E2	>1580,30 <2281,06	
E3	>2281,06 <2281,06	3909,71
E4	>2281,06 <2281,06	3909,71
E5	>2737,27 <2737,27	4691,65
E6	>2737,27 <2737,27	4691,65

Tabla 30 Rangos de consumo y tarifas Gas Natural 2024- Operador EPM

Elaboración: Propia

Fuente: EPM 2024

- La tarifa de gas natural ($\$/m^3$) en la ciudad de Barranquilla se indica a continuación:

BARRANQUILLA	
USO RESIDENCIAL	
Gas	$\$/m^3$
Estrato	Cargo fijo
E1	1422,63
E2	1774,6
E3	1487,86
E4	1854,9
E5	1471,07
E6	1834,23

Tabla 31 Tarifas aplicables 2024 Barranquilla Gas Natural 2024 - Operador Gases de Caribe

Elaboración: Propia

Fuente: Gases de Caribe 2024

Por otro lado, es importante resaltar que los contratos definidos del operador para instalar un distrito serán diferentes, ya que los contratos para acceder a una fuente de energía de gas o electricidad es diferente para cada operador.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

Se evidenció que los DT son instalaciones más sostenibles en comparación a los sistemas convencionales de aire acondicionado o calentadores, los cuales funcionan de manera individual con tecnologías obsoletas y contaminantes. Los DT que actualmente operan en el país y que fueron mencionados en el presente trabajo de grado demuestran el potencial de la energía térmica como una alternativa sostenible y eficiente para la generación de calor y frío en diferentes aplicaciones. Estos sistemas térmicos eficientes pueden tener beneficios sociales como la creación de empleo local, el fortalecimiento de la economía local y la mejora de la calidad de vida de las personas a través de una mayor comodidad térmica.

Por otro lado, se demostró que la operación de los equipos de un Distrito Térmico cuentan con alta eficiencia, ya que tienen menor consumo eléctrico (kWh) comparado con un sistema convencional de calefacción o ventilación, lo que impacta no solamente en un menor costo de operación, sino que también alivia la demanda eléctrica de conexión a la red, permitiendo bajar el consumo en las horas de mayor uso de climatización, logrando contar con un sistema de cogeneración eléctrico-gas para suplir los requerimientos en general del distrito térmico, permitiendo ahorros en la operación, mantenimiento, reducción de los espacios y de la tarifa de energía térmica por unidad. Se resalta que, los costos de inversión de un distrito térmico dependen principalmente de la distancia de la tubería principal y de la capacidad instalada de la planta.

Teniendo en cuenta, que en Colombia el aire acondicionado se convirtió en una necesidad de las industrias, sector público, privado y residencial, se requiere un análisis cuidadoso del requerimiento térmico en función de las condiciones climáticas, y de la respuesta mediante sistemas de capacidad variable con una adecuada respuesta a cargas parciales. Además, de acuerdo al uso de la edificación, ya sea para oficinas, laboratorios, residencial etc, se debe tener en cuenta un requerimiento distinto para cada uno, por lo tanto, es conveniente manejar sistemas secundarios y sistemas con deltas de temperatura diferentes o con temperaturas de entrega diversas.. A pesar de que exista una conexión a una red de DT de pequeños

generadores distribuidos y los auto generadores tanto a pequeña como a gran escala, la Comisión de Regulación de Energía y Gas ha establecido reglas generales de comportamiento de mercado para agentes que desarrollen las actividades de servicios de energía eléctrica y gas combustible, regidas por la CREG 015 de 2018. Sin embargo, los distritos térmicos prestan un servicio que aún no es regulado como suministro público de energía térmica controlado por alguna ESP en Colombia, hasta ahora los DT prestan un servicio privado, que gracias a los sensores de temperatura y presión que tiene el sistema del distrito térmico es que se realiza el cobro de facturación respectivo.

Además, la eficiencia de un distrito térmico requiere de datos de medición de potencia y energía. El fin de estas herramientas es optimizar procesos, automatizar y gestionar. Sin embargo, el equilibrio térmico determinará la aplicación y solución específica para cada proyecto.

Es necesario que la Liga Nacional de Usuarios de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia (USPD), continúe trabajando en pro de un obtener un decreto a favor de la reducción de las tarifas de energía pública en el país, en especial es las zonas costeras donde el consumo de la energía eléctrica es un recurso utilizado para garantizar el confort térmico de los usuarios dentro construcciones localizadas en ciudades donde se superan los 30 grados Celsius.

El sector de la energía y la construcción constituyen importantes interacciones con los ODS, particularmente con los ODS 7 *Energía asequible y no contaminante*, ODS 9 *Industria, innovación e infraestructura* y ODS 11 *Ciudades y comunidades sostenibles*.

- Respecto al ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), se identificó sinergias en torno a las transiciones dentro de la matriz energética nacional, reemplazando el uso de fuentes de energía fósil por el uso de fuentes de energía renovable, así como se han evidenciado esfuerzos por garantizar energía asequible y limpia para todos. Además, es indudable que la transición energética requiere de una coordinación y articulación sin precedentes, ya que el sector de la energía debe superar las brechas existentes respecto al alto y desmedido consumo y seguir avanzando hacia una red

eléctrica segura, resiliente, sostenible y más renovable. Así mismo, es importante resaltar el impacto que tiene la modernización de los servicios de suministro de energía y la construcción de infraestructura que permita y facilite el desarrollo de la industria energética en edificaciones, para ello la presente investigación demuestra que la implementación de distritos térmicos es el camino más viable para reducir el consumo de energía por uso de calefacción y ventilación en las construcciones verticales.

- En cuanto al ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), se demostró que mediante el desarrollo de infraestructuras resilientes, que utilicen energía de fuentes renovables y que a partir de sistemas modernos como los distritos se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se hace frente al cambio climático.
- En cuanto al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), la centralización de sistemas térmicos puede hacer que las ciudades sean más resistentes ante eventos climáticos extremos al contar con infraestructuras más robustas y eficientes.

De igual forma, se resalta que la construcción e implementación de distritos térmicos requiere la participación de profesionales de diversas disciplinas, como ingenieros civiles. Por lo tanto, es importante que los profesionales estén idóneamente capacitados para ser involucrarlos desde la concepción de los proyectos.

Finalmente, la utilización simultánea de calefacción y enfriamiento ofrece una excelente oportunidad para una eficaz recuperación de energía. Además, el uso de bombas de calor con fuente de agua desplaza la calefacción de combustibles fósiles, electrificando y descarbonizando así el proceso. Indiscutiblemente, los distritos térmicos mejoran la eficiencia en la generación y distribución de energía térmica, reduciendo las pérdidas comparadas con sistemas descentralizados, además, pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Esta conclusión subraya la importancia estratégica de los distritos térmicos en la lucha contra el

cambio climático y destaca su papel como innovadoras soluciones que no solo cumplen con objetivos medioambientales, sino que también fomentan la resiliencia y sostenibilidad a largo plazo en nuestras comunidades.

13.2. Recomendaciones

Es importante continuar generando capacidad y conocimiento en los usuarios finales, pues, quienes potencializan el desarrollo de un proyecto de energía distrital, son los usuarios finales.

En cuanto a la normativa analizada, es necesario fortalecer la regulación y control que realiza el gobierno nacional, estableciendo sistemas de monitoreo y evaluación para medir la eficiencia y el rendimiento de los distritos térmicos a lo largo del tiempo, permitiendo ajustes y mejoras continuas. Esta mejora puede contribuir significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero. De igual forma, es vital proponer estrategias de educación pública para aumentar la conciencia sobre los beneficios ambientales y económicos de los distritos.

REFERENCIAS

(Política Nacional De Cambio Climático - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017 – Colombia

(Plan Energético Nacional 2020-2050): Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero-Energética

CONPES 3919 de marzo 23 de 2018 - Política Nacional De Edificaciones Sostenibles

CONPES 3918 de marzo 15 de 2018 - Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia

(Salud, bienestar y productividad en oficinas, World Green Building Council)

(Ojea, L. (6 de agosto del 2018). 'El uso del aire acondicionado triplicará la demanda mundial de electricidad para 2050 ', según la AIE. El periódico de la energía, pp. 1)

(Paredes, B,(2021). 'Analysis of District Heating and Cooling Energy Systems in Spain: Resources, Technology and Management.' MDPI - Publisher of Open Access Journals, volumen (13), pp. 1-3.)

(Cosme Casulo, J (2018). 'Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la academia.' Scielo. Vol 22, 3-4.)

(Posso, F(2014)). The economic impact of renewable energies)

(Distritos térmicos: Guía metodológica / Unidad Técnica de Ozono, Ed.: Mariaca Orozco, Hilda Cristina. Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

(Buffa, S. (5 de enero 2021) 'Advanced Control and Fault Detection Strategies for District Heating and Cooling Systems', pp- 22)

EcoDistricts - <https://ecodistricts.org/>

(Arias, J y otros, (2021) 'Simulating the effect of sustainable buildings and energy efficiency standards on electricity consumption in four cities in Colombia: A system dynamics approach', pp. 4-10)

(Ertugrul, O.F., Kaya, Y., (2016). 'Smart City Planning by Estimating Energy Efficiency of Buildings by Extreme Learning Machine'. 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), pp. 1-5.)

(Nakano, S, Washizu A, (2021) Will smart cities enhance the social capital of residents? The importance of smart neighborhood management, pp 1.3)

(Amarinm, R y otros, (2016). Efficient Energy Solutions Enabling Smart City Deployment '. 2016 - Future Technologies Conference 2016, San Francisco, United States)

(Akcin, M, y otros., (2016). Opportunities for Energy Efficiency in Smart Cities'. 4th

International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG).

(Antwi-Afari, P., Owusu-Manu, Thomas, D, (2021). Modeling the smartness or smart development levels of developing countries' cities, pp. 10)

(Galvao, J., Moreira, L., Ascenso, R., Leitao, S., (2015). 'Energy Systems Models for Efficiency Towards Smart Cities ', International Conference on Computer as a Tool (EUROCON), Salamanca, pp. 2-3.)

(Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., Basilicata, C., Vollaro, R.L., (2014). 'Buildings Energy Efficiency: Interventions Analysis under a Smart Cities Approach.)

Arboleda, D., Yepes, A., Díaz, D., & Guzmán, A. (2017). Distrito térmico de la Universidad Nacional de Colombia: modelo conceptual y matemático. Revista de Investigaciones Universidad Nacional de Colombia, 36(2),

Yepes, A., Arboleda, D. y Guzmán, A. (2017). Evaluación del impacto económico de la integración de energías renovables en el distrito térmico de la Universidad Nacional de Colombia. Revista de Investigaciones Universidad Nacional de Colombia,

Yepes, A., Arboleda, D. y Guzmán, A. (2016). Análisis energético y exergético de un sistema de calefacción de distrito universitario. Energía y Edificación,

Yepes, A., Arboleda, D. y Guzmán, A. (2015). Optimización de la operación de un sistema de calefacción urbana con generación distribuida. Dyna,

Yepes, A. y Guzmán, A. (2014). Desarrollo de un sistema de calefacción urbana con generación distribuida en la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniería e Investigación.

Noriega-Sánchez, C. J. (2021). Recurso eólico en Colombia. Revista Ingenio, 3(1), 44–51.

M. Detommaso , A. Gagliano , L. Marletta , F. Nocera Estrategias sostenibles de enverdecimiento urbano y refrigeración para el confort térmico a nivel de peatones

Enrique C, Alfaro Cruz M, Luévano Hipólito E. y Torres-Martínez L (203). Importancia de los edificios inteligentes para el medio ambiente

TRACTEBEL. (2018). Estudio de viabilidad técnica comercial y financiera para un distrito térmico en Cali. Chile. https://www.districtoenergetico.com/wpcontent/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-00009_P2_EstudioT%C3%A9cnico-Financiero-Cali.pdf

UPME (Unidad de planeación mineroenergética). (2021). Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. [En Línea] Colombia https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf

UPME (Unidad de planeación mineroenergética). (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.

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

A. Singh, R. Das, Improved exergy evaluation of ammonia-water absorption refrigeration system using inverse method, *J. Energy Resour. Technol., Trans. ASME* 143 (4) (2021) pp, <https://doi.org/10.1115/1.4048246>.

A.S. Alsagri, A.A. Alrobaian, Optimization of combined heat and power systems by meta-heuristic algorithms: an overview, *Energies* 15 (16) (2022) PP

G. Singh, R. Das, Comparative assessment of different air-conditioning systems for nearly/net zero-energy buildings, *Int. J. Energy Res.* 44 (5) (2020) pp

A. Singh, R. Das, Study on series integrated power-absorption refrigeration system with adjustable concentration and source/sink pressure, 2023.

S. Hu, D. Yan, E. Azar, F. Guo, A systematic review of occupant behavior in building energy policy, *Building and Environment* 175 (2020)