



DISTritos TÉRMIcos

GUIA METODOLÓGICA



Catalogación en la publicación:

Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

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

ISBN impreso: 978-958-5551-19-0
ISBN electrónico: 978-958-5551-20-6

1. distritos térmicos 2. adaptación al cambio climático 3. fuentes no convencionales de energía 4. gestión ambiental 5. energía térmica 6. guías ambientales
I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CDD: 333

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, 2020

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable. Distribución gratuita



DISTritos
TÉRMICOS
GUIA METODOLÓGICA

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Presidente de la República
Iván Duque Márquez

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Ricardo José Lozano Picón

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio
Roberto Mario Esmeral Berrio

Director de Cambio Climático y Gestión del Riesgo
José Francisco Charry Ruíz

Coordinadora Unidad Técnica Ozono
Leydy María Suárez Orozco

Equipo - Unidad Técnica Ozono

Edición
Hilda Cristina Mariaca Orozco

Comité técnico
Hilda Cristina Mariaca Orozco
Thomas Stetter
Herman Pineda Duque

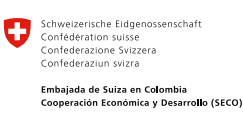
Producción
Hinicio - Caem
Fti Consulting

Diseño y diagramación
Feel Marketing

Corrección de estilo
María del Pilar Hernández Moreno

María Emilia Botero Arias
Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Con apoyo de:



Esta impresión se realiza con recursos del programa “Distritos Térmicos en Colombia- Fase 2”



Contenido

Lista de Tablas	6	4.1.2. Red de distribución	41
Lista de Figuras	7	4.1.3. Interfaz con los usuarios (edificaciones)	43
Siglas y Acrónimos	9	4.2. De ingeniería conceptual a proyecto en firme	44
Nomenclatura	9	4.3. Retos existentes y soluciones por venir	45
1. Introducción	10	5. Todo lo que debe saber sobre modelos de negocio y contratos	50
2. ¿Por qué necesitamos los distritos térmicos?	12	5.1. Modelos de negocio	52
2.1. Los primeros ejemplos de distritos térmicos en Colombia	15	5.1.1. Totalmente privado	52
2.2. Posibles escenarios de penetración	17	5.1.2. Totalmente público	53
2.3. Beneficios para el ambiente	18	5.1.3. Mixto (público-privado)	55
2.4. Las ciudades con más potencial	22	5.2. Los contratos de suministro	56
2.5. Las arquitecturas viables en Colombia	24	6. Evaluación financiera y beneficios tributarios	58
2.6. Algunas experiencias internacionales	25	6.1. Costos de inversión	59
3. Pasos para poner en marcha los distritos térmicos	28	6.2. Costos de operación y mantenimiento	60
3.1. La ruta para implementarlos	29	6.3. Tarifa para la prestación del servicio de energía térmica	61
3.2. Identificar zonas de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano	29	6.4. Análisis financiero y económico	63
3.3. Establecer las bases para la ingeniería conceptual	32	6.5. Marco normativo	66
3.4. Valorar opciones de insumos energéticos	32	6.6. Beneficios tributarios	69
3.5. Caracterización de clientes potenciales	35	7. Oportunidades y futuro de los distritos térmicos en Colombia	70
3.6. Evaluación de viabilidad	36	8. Referencias bibliográficas	72
3.7. Calcular la demanda con precisión	37	9. Anexos	74
4. Materialización del distrito térmico: herramientas y componentes	38	9.1. Glosario	74
4.1. Dimensionar componentes y subsistemas	39	9.2. Tablas de conversión	76
4.1.1. Central de producción térmica	39		

Lista de Tablas

Tabla 1. Datos clave del distrito térmico La Alpujarra. Fuente: basado en entrevista con EPM, 2018. **15**

Tabla 2. Datos clave del distrito térmico CC Nuestro Montería. Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hincio-CAEM directamente por Celsia, 2018. **16**

Tabla 3. Datos clave de la planta de generación múltiple de Air Liquide. Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hincio-CAEM directamente por Air Liquide, 2018. **16**

Tabla 4. Datos clave del distrito térmico Serena del Mar. Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hincio-CAEM directamente por Celsia, 2018. **16**

Tabla 5. Características del distrito térmico de Paris, Francia. **25**

Tabla 6. Características del distrito térmico de Ginebra, Suiza. **26**

Tabla 7. Características del distrito térmico de Lisboa, Portugal. **26**

Tabla 8. Estipulaciones mínimas contempladas en los contratos de suministro para los distritos térmicos. Fuente: Hincio-Tractebel, 2017 **57**

Tabla 9. Costos de inversión estimados en un diseño particular de distrito de enfriamiento urbano en Colombia. Fuente: Hincio Tractebel (2018 B, C, D, E, F) **59**

Tabla 10. Costos de operación y mantenimiento de un distrito térmico. Fuente: Hincio-Tractebel, 2018. **60**

Tabla 11. Tarifas estimadas para la prestación de servicio de energía térmica en un diseño particular de distrito de enfriamiento urbano en Colombia. Fuente: Hincio Tractebel (2018 B, C, D, E, F) **62**

Tabla 12. Ejemplo de costo total de propiedad (TCO) en 30 años [USD/TR] del distrito térmico en Cartagena, dependiente de distancia de tubería y tamaño de la planta. Fuente: Hincio-Tractebel, 2018. **64**

Lista de Figuras

Figura 1. ¿Cómo funcionan los distritos térmicos? **13**

Figura 2. Ventajas y desventajas de los distritos térmicos **14**

Figura 3. Composición energética de la matriz de generación de Colombia, según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) **18**

Figura 4. Proyección de ahorros energéticos y reducción de emisiones para los distintos escenarios de penetración de distritos térmicos considerados. **19**

Figura 5. Impacto en el ahorro de energía eléctrica en el uso de aire acondicionado por la implementación de distritos térmicos en el sector terciario **21**

Figura 6. Potencial de refrigeración en las principales ciudades y las posibles configuraciones de distritos térmicos. Basado en Universidad Nacional de Colombia, 2016 **23**

Figura 7. Arquitecturas viables de distritos térmicos en Colombia **24**

Figura 8. Proceso estándar para conceptualizar, desarrollar, y poner en marcha un distrito térmico **29**

Figura 9. Características que debe reunir una localidad urbana para considerarse una zona de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano **30**

Figura 10. Ejemplo de un mapa energético, en este caso, de la ciudad de Cali. **31**

Figura 11. Opciones de insumos energéticos para un distrito térmico **33**

Figura 12. Información de relevancia para caracterizar usuarios potenciales de un distrito térmico. **35**

Figura 13. Procedimiento para evaluar la viabilidad técnica, económica y comercial de un proyecto de distrito térmico. **36**

Figura 14. Agregación de demandas individuales para estimar la curva de demanda global del distrito térmico. **37**

Figura 15. Componentes de los distritos térmicos, esquema general. **39**

Figura 16. Ventajas y desventajas de los diferentes esquemas de bombeo secundario posibles para un distrito térmico. Fuente: Hincio-Tractebel, 2018 **41**

Figura 17. Modelo administrativo de alto nivel para el desarrollo y operación de un distrito térmico. **51**

Figura 18. Modelo de negocio totalmente privado. **52**

Figura 19. Modelo de negocio totalmente público. **53**

Figura 20. Modelo de negocio mixto (público-privado)1 **55**

Figura 21. Cláusulas y contenido de los contratos de suministro para los distritos térmicos. **56**

Figura 22. Componentes que componen la tarifa compuesta de la prestación del servicio. **61**

Figura 23. Ejemplo de un análisis de sensibilidad al reducir la tarifa de prestación del servicio frente a costos de un sistema convencional y su impacto en la TIR [USD/TR] en una vida útil de 30 años. Fuente: Hincio-Tractebel, 2018 **65**

Figura 24. Normas relevantes del uso de la energía y que promueven el desarrollo sostenible. **66**



Siglas y Acrónimos

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.	Minambiente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	RETSIT: reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas.
CREG: Comisión Reguladora de Energía y Gas.	Minenergía: Ministerio de Minas y Energía.	RITE: Reglamento de instalaciones térmicas en edificaciones.
DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales.	NAMA: Acción nacionalmente apropiada de mitigación, por su siglas en inglés.	RTC: Reglamento técnico de calderas.
EPM: Empresas Públicas de Medellín.	PAI-PROURE: plan de acción indicativo de eficiencia energética del Programa de uso racional y eficiente de la energía, elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia.	SIC: Superintendencia de Industria y Comercio.
IVA: Impuesto al Valor Agregado.	PAS: Plan de Acción Sectorial.	UPME: Unidad de Planeación Minero Energética.
		UTO: Unidad Técnica Ozono del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Nomenclatura

APP: Asociación Público Privada.	GEI: Gases de Efecto Invernadero.	TCO: Total Cost of Ownership.- Costo total de propiedad.
BTU: British Thermal Unit, Unidad térmica británica.	GWP: Global Warming Potential. Potencial de calentamiento global.	TIR: Tasa Interna de Retorno.
CAPEX: Capital Expenditure.	HVAC: Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Calefacción, ventilación y aire acondicionado.	TR: Tonelada de Refrigeración.
EBIT: Earnings Before Interest and Taxes.	IPC: Índice de Precios al Consumidor.	SAO: Sustancias Agotadoras de Ozono.
EBITDA: Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Ammortization.	ODP: Ozone Depletion Potential. Potencial de agotamiento de ozono.	SWAC: Sea Water Air Conditioning. Aire acondicionado con aguas marinas.
ESP: Empresa de Servicios Públicos.	OPEX: Operational Expenses.	UMA: Unidad Manejadora de Aire.
ETS: Estaciones de Transferencia de Energía.	POT: Plan de Ordenamiento Territorial.	VPN: Valor Presente Neto.

01.

Introducción

Colombia es 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. Para su impulso se ha conformado el proyecto ‘Distritos térmicos en Colombia’, fruto de un trabajo conjunto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), a través de la Unidad Técnica Ozono - UTO y la Dirección de Cambio Climático y Gestión del Riesgo, con la Confederación Suiza, a través de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos de Suiza - SECO y las Empresas Públicas de Medellín ESP - EPM, con el acompañamiento de la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional para Colombia.

Comprende la gestión y formulación de instrumentos para crear un ambiente institucional favorable

para su implementación en el país, con información que permite identificar a los distritos térmicos como sistemas de vanguardia, innovadores y relevantes.

Los distritos térmicos son una oportunidad para repensar las ciudades colombianas con una visión de sostenibilidad, eficiencia energética y bajo impacto ambiental. Este documento sintetiza los elementos que los han situado alrededor del mundo como una prioridad en la nueva forma de entender la planificación urbana, con aspectos ilustrativos sobre los tipos de tecnologías que emplean, los beneficios que comprenden y los modelos de negocio. Está enfocado principalmente en el enfriamiento urbano, de acuerdo con el potencial identificado en Colombia, aunque contiene elementos aplicables en la planeación de los distritos térmicos de calor o industriales.

En Colombia, los distritos térmicos están considerados en las políticas públicas de eficiencia energética y desarrollo sostenible a través de la Resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016, sobre la adopción del Plan de acción indicativo (PAI) 2017-2022, que los incluye como línea de acción en los sectores industrial y terciario. Así mismo, en las estrategias del plan de acción sectorial (PAS) de energía y en las medidas priorizadas para la contribución nacional del país en la mitigación de gases efecto invernadero (GEI), que buscan “promover la implementación de distritos térmicos en Colombia para mejorar la eficiencia energética de los edificios y sus-

tituir los enfriadores que funcionan con sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y sustancias de alto impacto ambiental”.

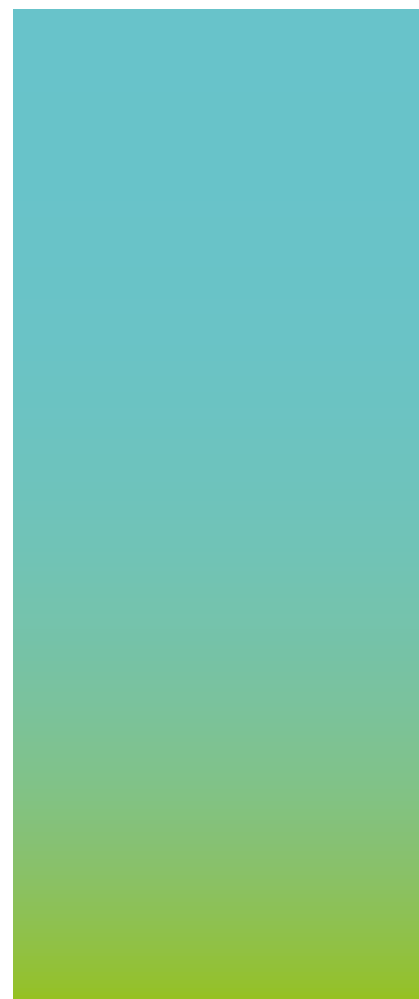
Esta guía está elaborada con el objetivo de proporcionar la información esencial para la planeación, implementación y operación de los distritos térmicos. Procura responder a los interrogantes asociados al desconocimiento de la tecnología, integrando experiencias nacionales e internacionales. Comprende definiciones de los distritos térmicos, cómo funcionan y cuáles son los insumos y sistemas para ponerlos en marcha, y presenta el potencial para su desarrollo en

Colombia, con pautas para identificar zonas y clientes. Finalmente, se exponen los modelos de negocio para su implementación y se relaciona su actual marco normativo, regulatorio y de mercado, así como los incentivos tributarios y no tributarios asociados con esta tecnología.

Esta guía es una herramienta pública de referencia en la que se consolidan los esfuerzos de las organizaciones involucradas con el proyecto “Distritos térmicos en Colombia”, con la información esencial que se debe tener en cuenta para llevar los beneficios de esta nueva tecnología a la población colombiana.



02 ¿Por qué necesitamos los distritos térmicos?



La intensificación de los fenómenos climáticos y las crisis ambientales que han golpeado al planeta en los últimos años han dejado hoy, más claro que nunca, que se necesita el compromiso de todos para reducir el impacto contaminante sobre la Tierra y contrarrestar los daños ocasionados por viejos paradigmas productivos, de consumo y de planificación urbana. Además, el crecimiento proyectado de la población mundial impone el reto de planear ciudades más sostenibles y que garanticen los servicios para todos sus habitantes.

Los distritos térmicos ofrecen una solución para la climatización

sostenible de las ciudades, que involucra el concepto de eficiencia energética sin sacrificar el confort ni la rentabilidad como negocio. Generan ahorros entre el 30 % y el 50 % en el consumo de energía primaria, según estudios de las Naciones Unidas realizados en más de 45 ciudades alrededor del mundo (Minenergía, 2016).

Sus características hacen de los distritos térmicos un engranaje clave para la articulación de gobiernos locales; en Colombia contribuyen al cumplimiento de los compromisos con el protocolo de Montreal y a la COP21 de cambio climático, así como

a la meta de ahorro energético definida en el PAI PROURE 2017-2022.

Se trata de una innovadora alternativa de infraestructura para producir frío o calor, de manera centralizada, y distribuir esta forma de energía mediante redes a múltiples usuarios y edificaciones agrupadas, en entornos urbanos como sectores residenciales, industriales y comerciales. Es, por tanto, una tecnología diseñada para sustituir los sistemas que funcionan con Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) y que generan un alto impacto ambiental.

Esta es la esencia de los distritos térmicos: centralizar la prestación

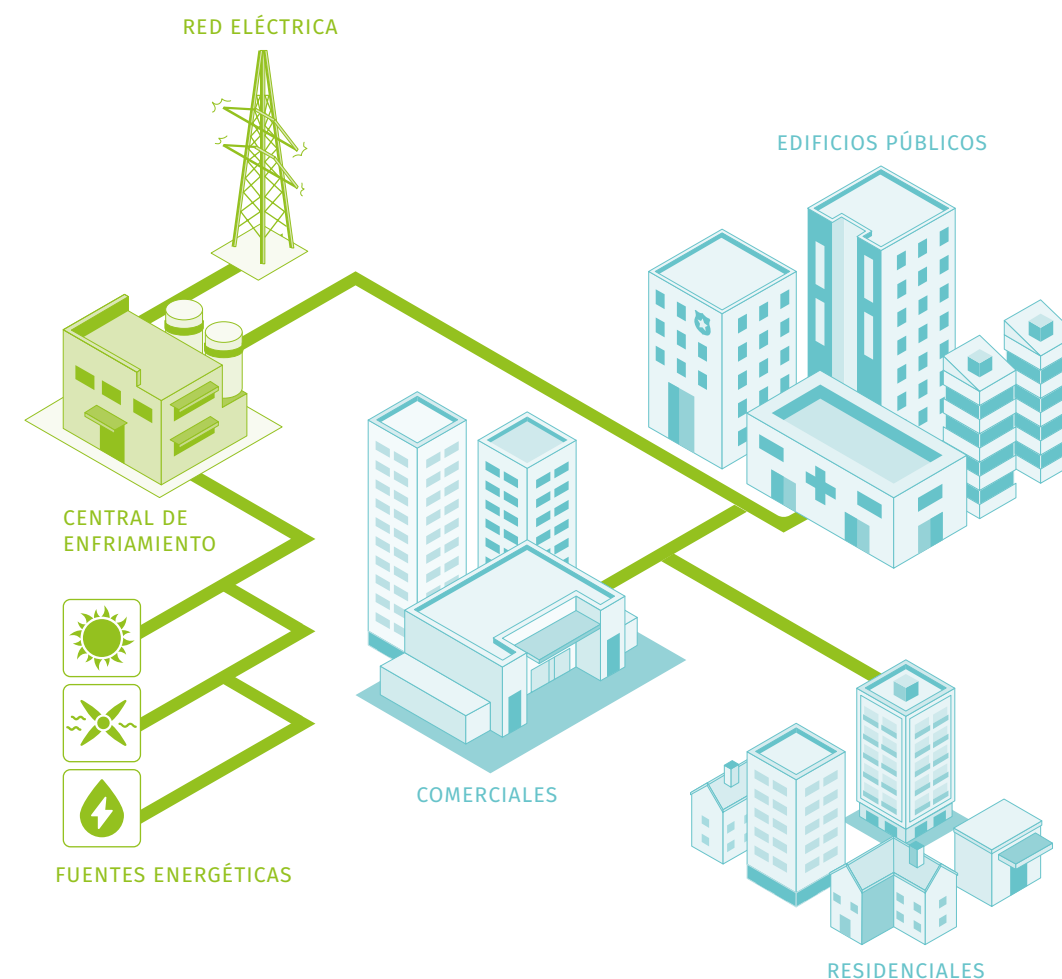


Figura 1. ¿Cómo funcionan los distritos térmicos?

del servicio de energía térmica a través de agua caliente, fría o vapor, de manera sostenible. Dentro de las principales alternativas figuran 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.

Los distritos térmicos se han diseminado por Europa (por ejemplo en Suecia, Suiza, Dinamarca, Francia y España), Canadá y Estados Unidos, como una prioridad en la transición hacia ciudades sostenibles. Su pe-

netración aún es limitada en los países en vía de desarrollo, a pesar de los significativos beneficios que conllevan, tales como los 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.

Colombia es país pionero en la región en cuanto a la promoción de esta tecnología, con la convicción de que será una pieza clave para la configuración de ciudades sostenibles.

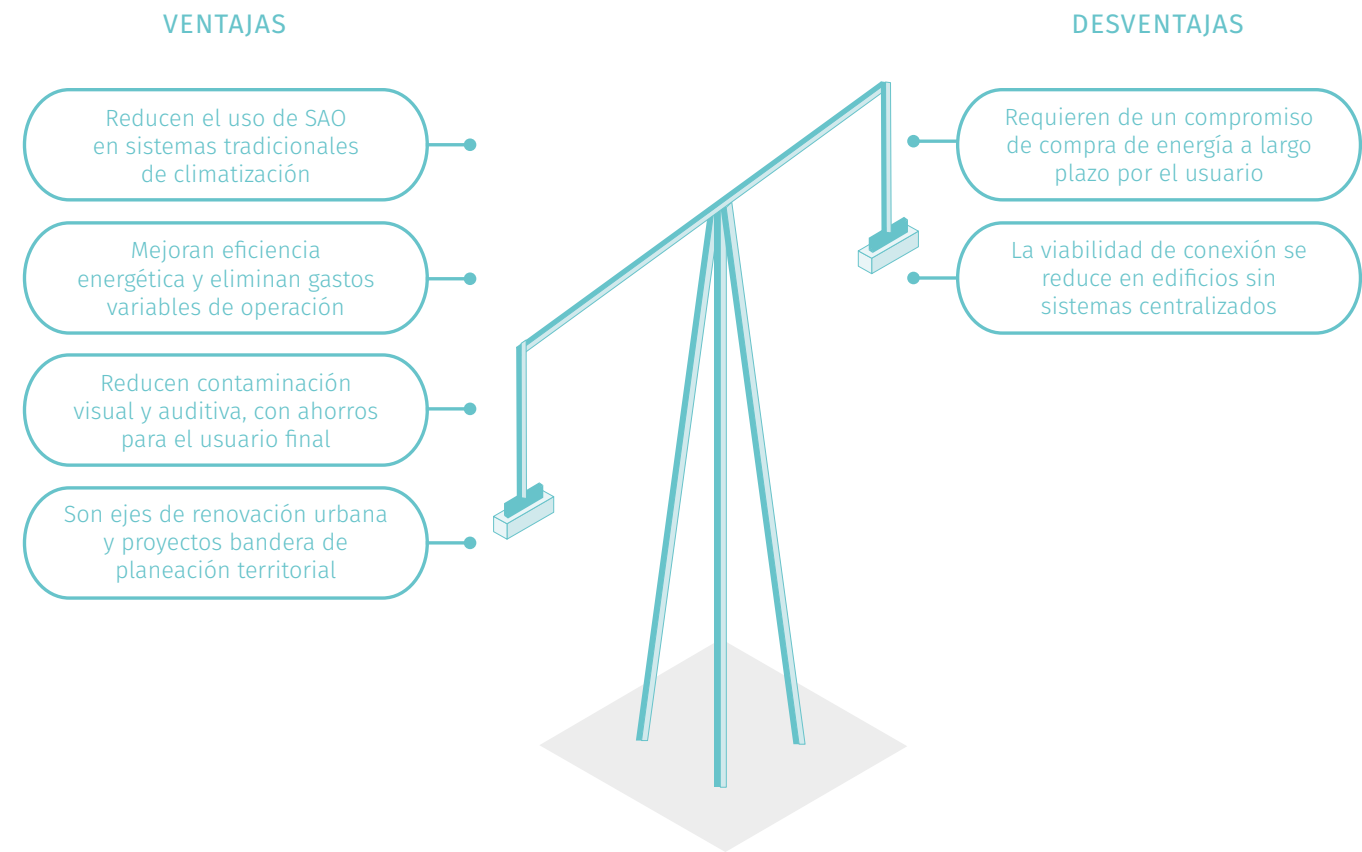


Figura 2. Ventajas y desventajas de los distritos térmicos

2.1. Los primeros ejemplos de distritos térmicos en Colombia

En diciembre de 2016 entró en operación, en el centro de Medellín, el distrito térmico de La Alpujarra, el primero de su tipo en Latinoamérica. Provee el servicio de agua fría para los sistemas de aire acondicionado de los edificios de la Alcaldía de Medellín, el Concejo Municipal, la Gobernación de Antioquia, la Asamblea Departamental y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales.

El distrito térmico La Alpujarra, operado por EPM, beneficia a alrededor de 10.000 personas entre funcionarios y visitantes. Se calcula que genera un

ahorro de energía en los edificios de entre el 15 % y el 20 %, además de disminuir en un 100 % el uso de las SAO y un 30 % las emisiones de CO2.

El segundo distrito térmico en operación en Colombia entró en funcionamiento en 2017 en Montería (Córdoba). De tipo intramural y operado por Celsia, presta el servicio de entrega de agua fría para el aire acondicionado de cada local en el centro comercial Nuestro Montería.

Así mismo, en abril de 2018 se inauguró la planta industrial de generación múltiple de Air Liquide, en To-

cancipá (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.

En el macroproyecto urbano Serena del mar, en la costa norte de Cartagena, está en funcionamiento un distrito térmico urbano. Suministra agua helada a edificios residenciales, de salud, educación, entretenimiento, hoteleros y de negocios, entre estos un centro hospitalario que requiere muy altos niveles de confiabilidad en el sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica, los cuales serán garantizados. Este distrito térmico atenderá también al centro corporativo, 17 mil viviendas y una serie de complejos hoteleros y comerciales.

Además, están en desarrollo estudios para implementar distritos térmicos en las siguientes ciudades del país: Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, Bucaramanga, Villavicencio y Montería. Se está evaluando la demanda potencial de frío, las condiciones del mercado, las barreras y los incentivos.

Tabla 1. Datos clave del distrito térmico La Alpujarra.

Fuente: basado en entrevista con EPM, 2018.

Descripción Distrito Térmico La Alpujarra	Producción y distribución de agua helada hasta el punto de conexión de los clientes del Centro Administrativo La Alpujarra
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
Inversiones	COP \$52000 Millones
Operador	EPM
Estado	En operación

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

Descripción del distrito térmico de Tocancipá	Producción y distribución de energía eléctrica, vapor, gas carbónico alimentario, aire comprimido, nitrógeno y agua helada para procesos
Especificaciones	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
Inversiones	USD \$40 millones
Operador	Air Liquide
Estado	En operación

Descripción de distrito térmico de Serena del Mar	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	Tendrá una capacidad instalada de 7200 TR-hora y se espera que entre en operación en 2021
Operador	Celsia
Estado	Primera etapa en operación

Tabla 2. Datos clave del distrito térmico CC Nuestro Montería.

Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hinicio-CAEM directamente por Celsia, 2018.

Tabla 3. Datos clave de la planta de generación múltiple de Air Liquide.

Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hinicio-CAEM directamente por Air Liquide, 2018.

Tabla 4. Datos clave del distrito térmico Serena del Mar.

Fuente: basado en información suministrada al consorcio Hinicio-CAEM directamente por Celsia, 2018.

2.2. Posibles escenarios de penetración

El proyecto “Distritos térmicos en Colombia” ha previsto cuatro escenarios de penetración de los distritos térmicos en Colombia, según los cuales se calculan distintos niveles de impactos, en términos de ahorros energéticos y beneficios para el ambiente.

1. **Un primer escenario** tiene en cuenta la meta definida en el PAI PROURE, que considera un ahorro energético del 0,05 % en el consumo de energía eléctrica en el sector comercial y de servicios por la implementación de distritos térmicos (Minenergía, 2016).
2. **El segundo escenario considera una baja penetración de los distritos térmicos:** se logra la implementación de un distrito térmico urbano en tres ciudades principales en el país, con una capacidad de 1500-3000 toneladas por red urbana.
3. **El tercer escenario plantea una mediana penetración:** se logra la implementación de un distrito térmico urbano en las cinco ciudades principales del país, con una capacidad de 1500-3000 toneladas por red urbana.
4. **El cuarto escenario refleja una alta penetración:** se logra implementar un distrito térmico urbano en las cinco ciudades principales del país y tres distritos adicionales en ciudades intermedias, con una capacidad de 1500-3000 toneladas por red urbana.



2.3. Beneficios para el ambiente

La implementación de los distritos térmicos tiene dos beneficios ambientales: la eliminación del uso de las SAO en sistemas de acondicionamiento convencionales (beneficio directo) y la reducción en el consumo de electricidad o gas para producir energía térmica, con menores emisiones de CO2 (beneficio indirecto).

El beneficio de la eliminación de las SAO se produce en la medida en que se reemplazan sistemas de enfriamiento convencional que emplean refrigerantes de alto impacto ambiental. En cuanto al beneficio indirecto, la reducción de emisiones dependerá de la matriz energética de generación del país en donde se implementa la tecnología. En Colombia la matriz es altamente dependiente de la generación hidráulica, por lo cual las emisiones asociadas son de por sí bajas.

El hecho de que los distritos térmicos se conciban con equipos de alta eficiencia para la producción centralizada se traduce en una mayor eficacia y en un menor consumo eléctrico por unidad de energía térmica producida, en comparación con los sistemas convencionales que pretenden reemplazar.

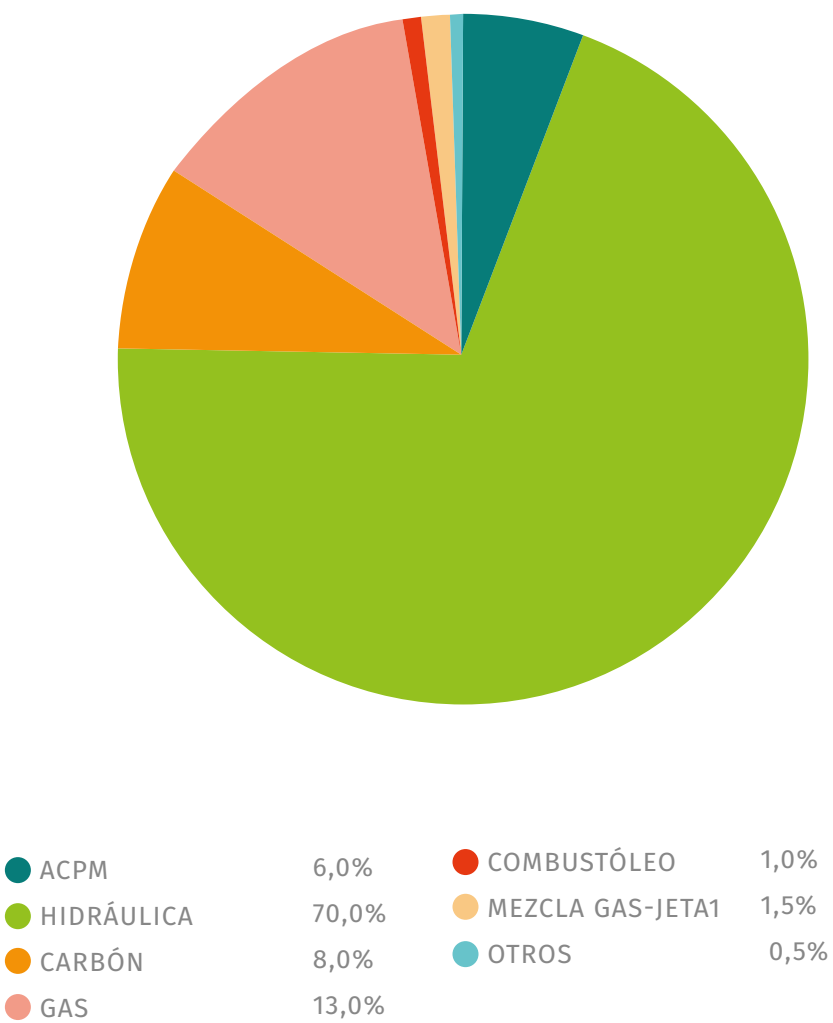


Figura 3. Composición energética de la matriz de generación de Colombia, según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

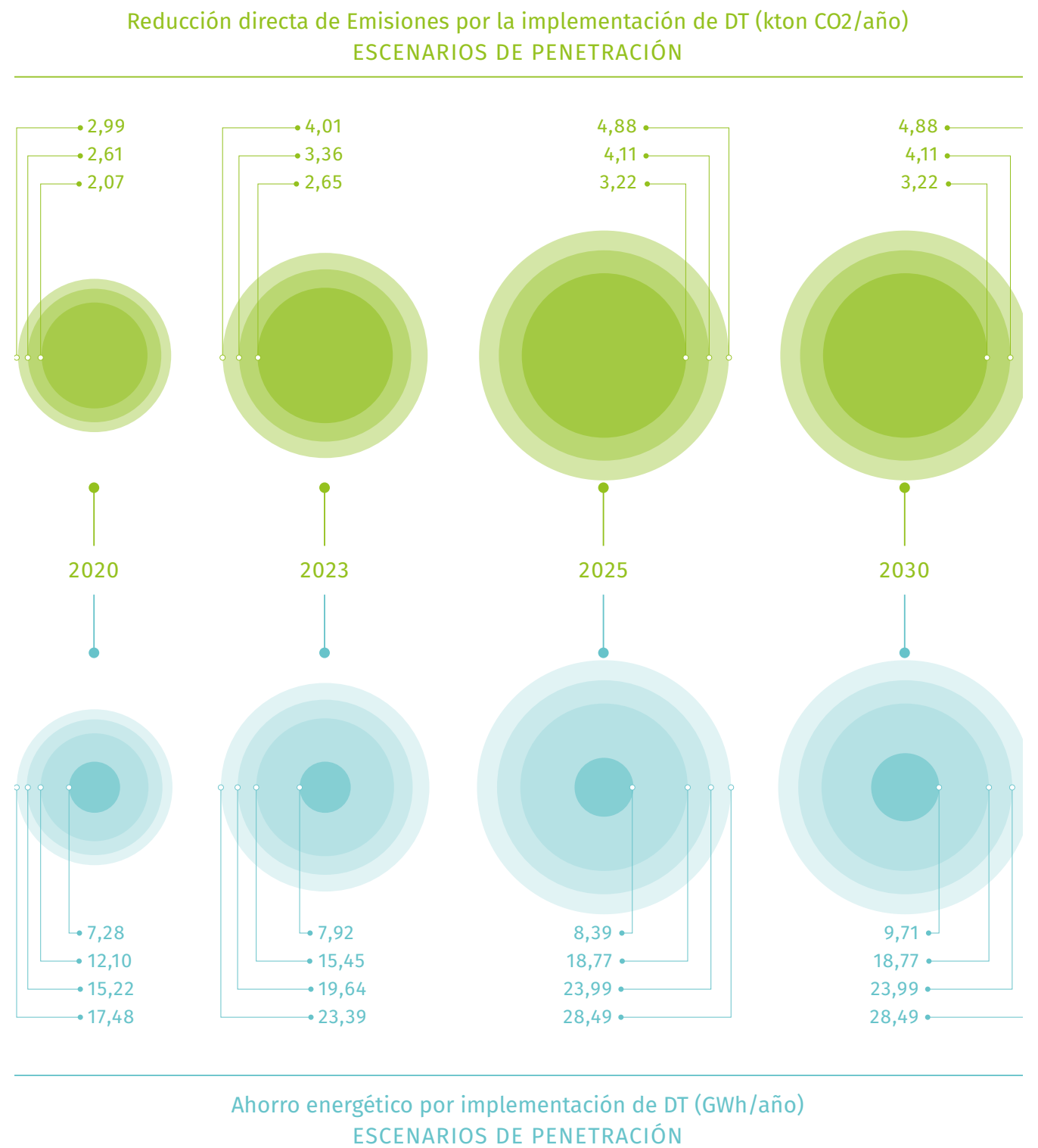


Figura 4. Proyección de ahorros energéticos y reducción de emisiones para los distintos escenarios de penetración de distritos térmicos considerados.



El impacto en la reducción de emisiones de GEI asociado con la implementación de los distritos térmicos en Colombia está entre el 2,16% y el 6,49%, según los diferentes escenarios planteados de penetración de la tecnología.

Los distritos térmicos pueden contribuir también a mitigar el impacto de refrigerantes nocivos para el ambiente, al permitir utilizar refrigerantes alternativos de bajo impacto ambiental (como el amoníaco, usado en el distrito térmico La Alpujarra). Por ende, es conveniente diseñar distritos térmicos que empleen refrigerantes naturales o alternativos con bajos potenciales de agotamiento de ozono (ODP) y de calentamiento global (GWP).

Para calcular el beneficio ambiental, el procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

- Configurar un distrito térmico que use un refrigerante de bajo impacto ambiental o nuevas alternativas que no usen refrigerantes.
- Con base en los sistemas sustituidos entre los clientes potenciales, calcular la cantidad de refrigerante eliminado con base en la carga nominal de los equipos convencionales.

En 2015 se estimó que habían había 1074 enfriadores (chillers) instalados en Colombia, de los cuales el 28%

estaban ubicados en el sector industrial, el 27% en establecimientos del sector comercial y el 22% en diferentes tipos de oficinas, que emplean refrigerantes de alto impacto.¹ (El 23% restante con otras sustancias)

Ahorros energéticos

Los distritos térmicos permiten el suministro de múltiples servicios energéticos a partir de un único sistema, lo que aumenta la eficiencia en los procesos y en la calidad del servicio. Esto representa ahorros económicos y energéticos en los edificios que usan la energía térmica.

En el ámbito mundial, los distritos térmicos operan con eficiencias que pueden alcanzar hasta un 93%, según informes de las Naciones Unidas, dependiendo de las tecno-

¹ Inventario nacional de los equipos de refrigeración y aire acondicionado que se importan, producen e instalan en el país, y de las sustancias refrigerantes contenidas en estos, tales como HCFC, HFC y sustancias alternativas (amoníaco, dióxido de carbono e hidrocarburos, entre otros) (UTO, 2017). Inventario del consumo y uso de las SAO y de sustancias alternativas a las SAO en Colombia (metodología top-down), como mínimo en el periodo 2008-2015 y su distribución en los diferentes sectores/subsectores: espumas de poliuretano, refrigeración doméstica, comercial e industrial (manufactura y servicios), aire acondicionado estacionario y móvil (manufactura y servicios), extinción de incendios, aerosoles (comerciales e inhaladores de dosis medida) y solventes (CAEM, 2016). Actualización del inventario top-down de chillers en Colombia (Tractebel-Hinicio, 2018).

logías y configuraciones usadas, y permiten ahorros energéticos hasta del 50%, comparados con sistemas convencionales de refrigeración. El PAI PROURE propone una meta indicativa de eficiencia energética de 9,0% sobre la demanda energética de Colombia proyectada a 2022, con respecto a la línea base de 2017. En general, las acciones y medidas sectoriales para el cumplimiento de las metas se enfocan en la sustitución/reconversión de tecnologías y energéticos, y en el impulso de buenas prácticas en el uso de la energía y los equipos.

Los potenciales ahorros que se han proyectado en los distintos escenarios de penetración de la tecnología (figura 5) se definieron considerando el uso de aire acondicionado a partir de distritos térmicos del tipo 100% con energía eléctrica, que se alimenta de la red convencional.

A través de la figura 5, se estimó el impacto de los diferentes escenarios de penetración de los distritos térmicos en el país, en relación con las proyecciones de consumo por el uso de aire acondicionado en los sectores comercial y público.

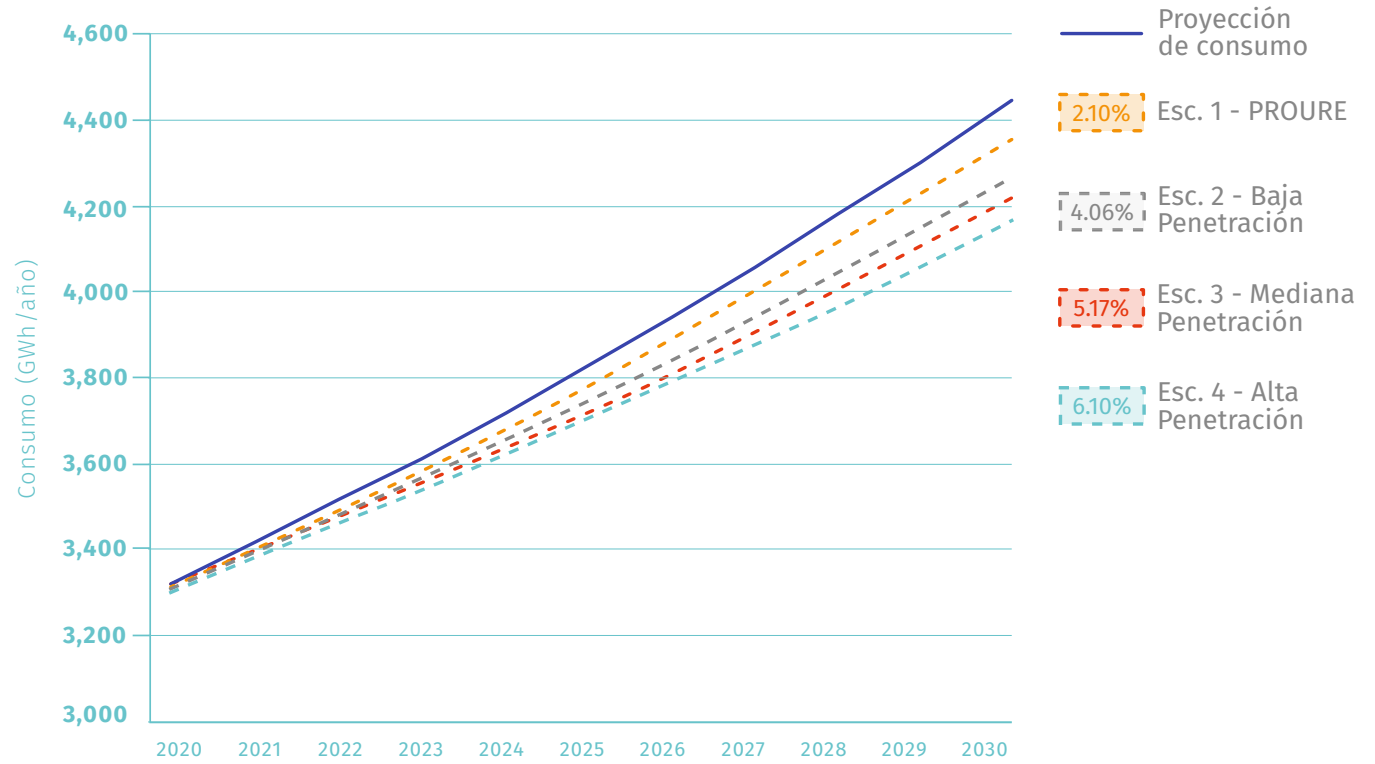


Figura 5. Impacto en el ahorro de energía eléctrica en el uso de aire acondicionado por la implementación de distritos térmicos en el sector terciario.

2.4. Las ciudades con mayor potencial

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

- Los planes de ordenamiento territorial de las ciudades colombianas tienden a propender por la densificación, altos índices de construcción y diversificación de usos en las mismas localidades de desarrollo.
- El 70 % de los centros urbanos se encuentra en zonas climáti-

cas que ameritan la instalación de sistemas de aire acondicionado. Adicionalmente, dada la ausencia de variación estacional pronunciada a lo largo del año, por la posición ecuatorial del país, la demanda de los distritos térmicos es casi constante durante todo el año.

Medellín, Barranquilla, Cartagena, Montería y Cali generan altas demandas de climatización urbana, ideal para desarrollar distritos térmicos con potencial identificado para conectar industrias, hoteles y centros de educación. Un estudio de la Uni-

versidad Nacional de Colombia (2016) estimó una demanda potencial de climatización de 209 kTR en los centros administrativos de 13 áreas metropolitanas del país. Este cálculo se realizó a partir de la energía necesaria para mantener una temperatura de confort en un área construida, considerando las condiciones climáticas de cada área geográfica y del tipo de edificación (industria, gobierno, centro de convenciones, hoteles, centros educativos o salud). Esta primera estimación permitirá extrapolar el potencial nacional con nuevos estudios realizados en campo.

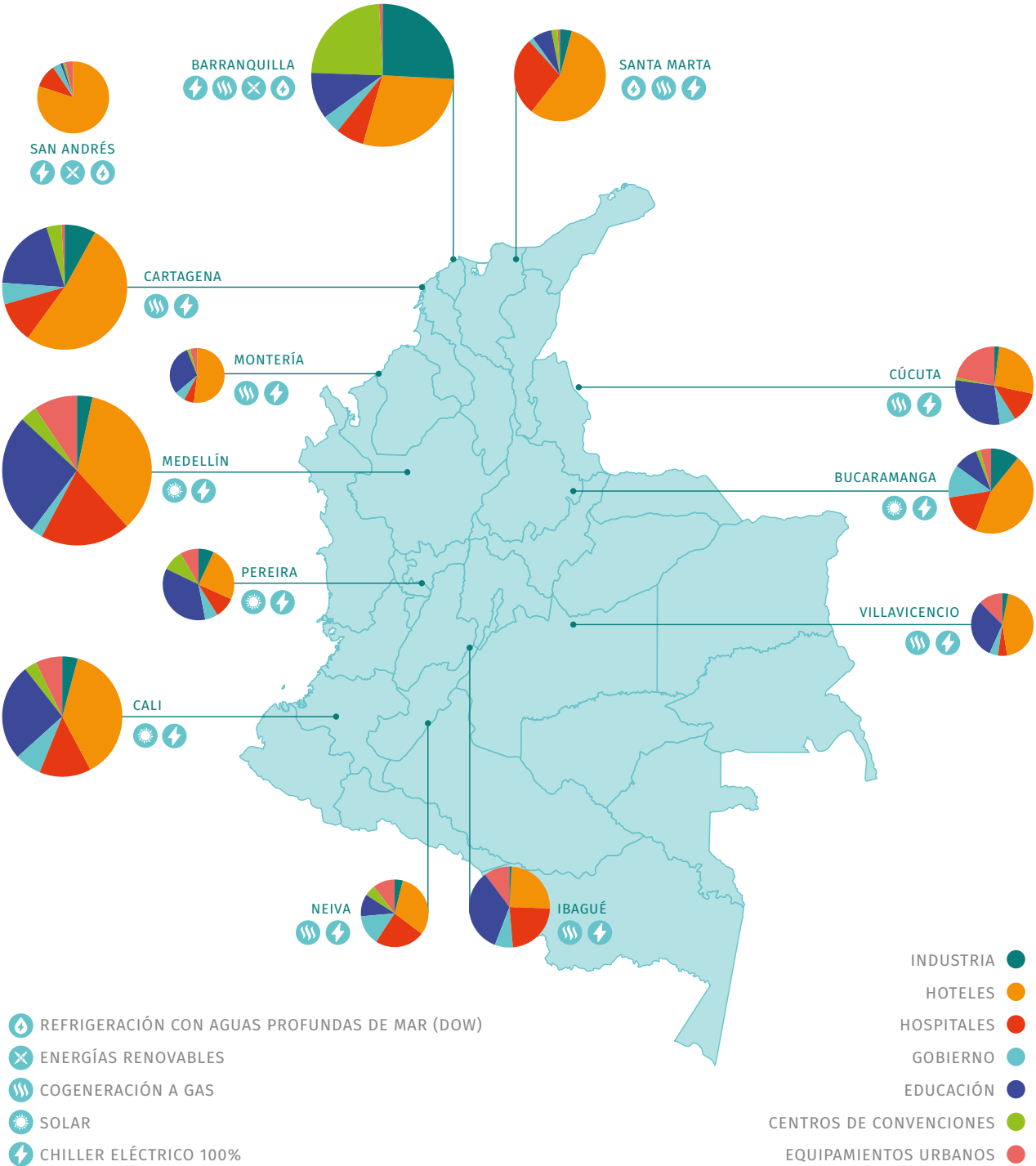


Figura 6. Potencial de refrigeración en las principales ciudades y las posibles configuraciones de distritos térmicos. Basado en Universidad Nacional de Colombia, 2016.

2.5. Las arquitecturas de distritos térmicos viables en Colombia

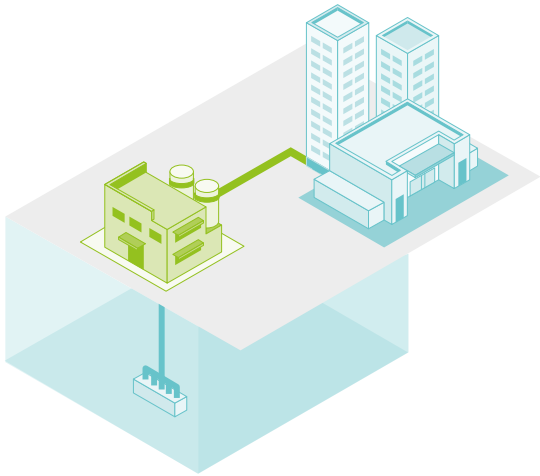
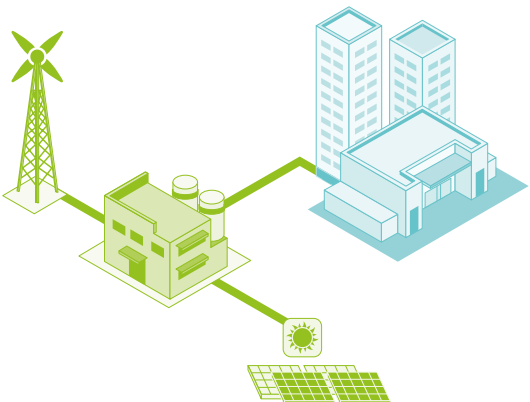
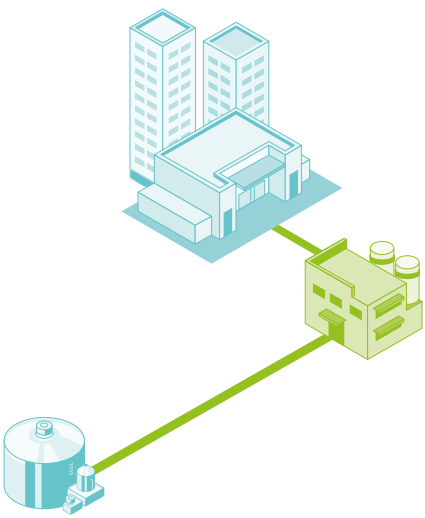
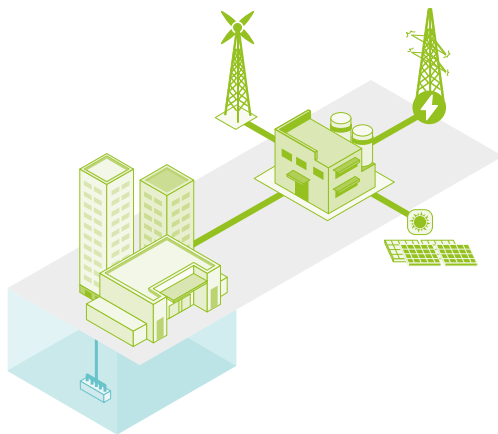
AGUAS MARINAS O FLUVIALES	REFRIGERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES
Se aprovechan los cuerpos de agua profundas, que pueden ofrecer temperaturas de aproximadamente 4°C. Este sistema bombea el agua para aprovechar su energía térmica como fuente para el DT.	Se utilizan chillers eléctricos por compresión de vapor y por absorción, que pueden abastecerse de energía eólica, solar fotovoltaica, calor residual, u otra fuente no convencional de energía renovable.
	
	
Consiste de chillers eléctricos por compresión de vapor y por absorción, que se abastecen a partir de una turbina que genera energía eléctrica utilizando gas natural o bio gas.	La central térmica se abastece de múltiples fuentes renovables, combinando las otras tres tipologías.
COGENERACIÓN CON GAS O ENERGÍA SOLAR	MIXTO

Figura 7. Arquitecturas viables de distritos térmicos en Colombia.

2.6. Algunas experiencias internacionales

Los casos exitosos de distritos térmicos implementados a nivel internacional cuentan con particularidades técnicas o de modelo de negocio que sirven como demostración para los desarrolladores en Colombia de un amplio universo de opciones y posibilidades.

Distrito térmico de París (Francia)

Tabla 5. Características del distrito térmico de Paris, Francia.

Inicio de operación	1991
Capacidad	290 MW
Inversión	Cerca de 400 millones de euros
Longitud de la red	70 km
Operador	Climespace-Engie
Estado	En operación

- Es un distrito térmico desarrollado a través de un modelo de alianza público-privada entre la ciudad de París y Climespace, parte del grupo Engie.
- Ejemplifica un crecimiento orgánico de la red, pues a medida que se fue expandiendo se fueron creando nuevas centrales de producción de energía térmica. A la fecha cuenta con tres subsistemas de producción de frío, que suman diez plantas generadoras de agua helada.

- El distrito de París también ejemplifica cómo una única red puede emplear múltiples fuentes de frío: agua fría del río Sena para free cooling, energía geotérmica y almacenamiento en bancos de hielo.
- Cuenta con una amplia diversidad de clientes, por lo cual opera a capacidad plena y vende el 100% de su producción.
- Un centro de control monitorea 24/7 la red de distribución con el fin de equilibrar el suministro y la demanda. Las 450 subestaciones son monitoreadas en tiempo real, con el fin de mantener el sistema operando de manera óptima.
- El distrito térmico de París es de enfriamiento exclusivamente.

Distrito térmico de Ginebra (Suiza)

Tabla 6. Características del distrito térmico de Ginebra, Suiza.

Inicio de operación	2009
Capacidad	16 MW (frío) 3MW (calor)
Inversión	Cerca de 35 millones de dólares
Longitud de la red	6 km
Operador	Servicios Industriales de Ginebra (SIG)
Estado	En operación

- Utiliza agua fría del lago Ginebra como free cooling para el acondicionamiento de los edificios durante el verano.
- Es de funcionalidad dual, pues aparte de frío puede también suministrar calor en invierno. Lo hace a través de equipos de

bomba de calor distribuidos en las diferentes edificaciones-clientes.

- Como modelo de negocio, está concesionado a la ciudad de Ginebra por un periodo de 30 años.
- Emplea un interesante mecanismo para el ahorro de agua potable: el agua de retorno es devuelta al lago o alternatively puede ser usada para riego de la vegetación.
- Emplea una estructura tarifaria particular: la tarifa por consumo se cobra en función de la temperatura de retorno del agua y no existe un costo por conexión.

Distrito térmico de Lisboa (Portugal)

Tabla 7. Características del distrito térmico de Lisboa, Portugal.

Inicio de operación	1998
Capacidad	80 MW
Inversión	Desconocida
Longitud de red	21 km
Operador	Climaespço
Estado	En operación

- El distrito térmico de Lisboa tuvo sus inicios no como un distrito térmico urbano, sino como un distrito térmico específico para un uso particular: surtir de energía térmica a pabellones y edificios de exposición para la Feria Mundial de 1998. Posteriormente, evolucionó hacia un proyecto comercial de carácter urbano, ejemplificando así cómo un distrito térmico “de nicho” y autocontenido puede convertirse en una solución

para toda una ciudad, con un crecimiento orgánico.

- Fue desarrollado por una sociedad público-privada, aunque menos del 4% de la inversión provino de capitales públicos.
- Cuenta con un innovador sistema de captura de calor residual para almacenar energía en las estaciones donde no se necesita y emplearla cuando hace falta: el calor residual se utiliza para producir agua caliente. En verano, cuando la demanda de calor es baja, un enfriador de absorción convierte el calor residual almacenado en frío.
- Si bien en Colombia no existe la estacionalidad, el uso de calor

residual y su almacenamiento para conversión en frío adicional para surtir la demanda pico es una tecnología viable y aplicable, especialmente en polos de desarrollo industrial.

- La razón que permitió que el distrito térmico de Lisboa se convirtiera de un distrito térmico autocontenido (intramural) a uno urbano fue la vinculación de un centro comercial de gran tamaño, posterior a la finalización de la feria mundial.
- La concesión en Lisboa se estructuró para tener mayoritariamente capital privado, modelo que se prevé podría ser el más relevante para Colombia.



Vista panorámica del lago de Ginebra

03.

Pasos para poner en marcha los distritos térmicos



3.1. La ruta para implementarlos

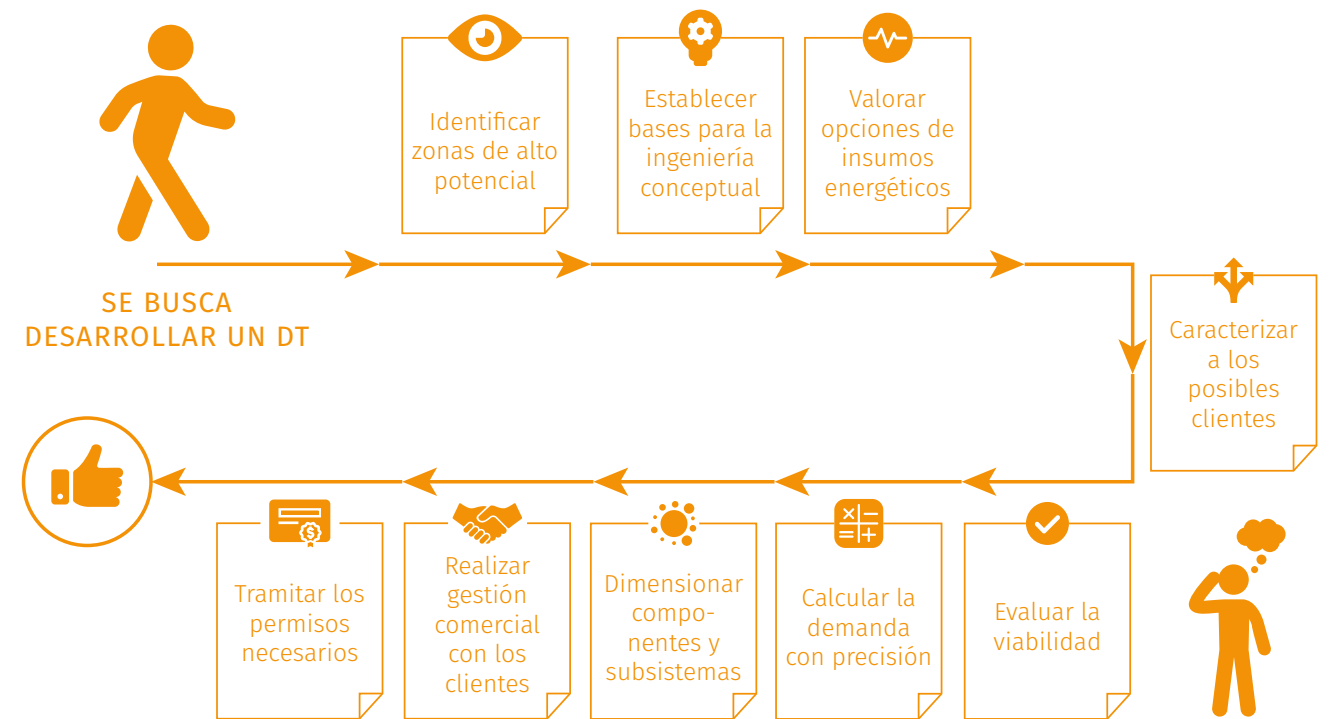


Figura 8. Proceso estándar para conceptualizar, desarrollar, y poner en marcha un distrito térmico.

3.2. Identificar zonas de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano

Durante la fase de planeación de un distrito térmico, la selección de la zona o localidad de desarrollo debe obedecer a un proceso sistemático que permita establecer y cuantificar la relación entre la oferta

de energéticos primarios y la demanda de energía térmica.

En general, una zona debe reunir las siguientes características para considerarse como atractiva para implementar un distrito térmico:

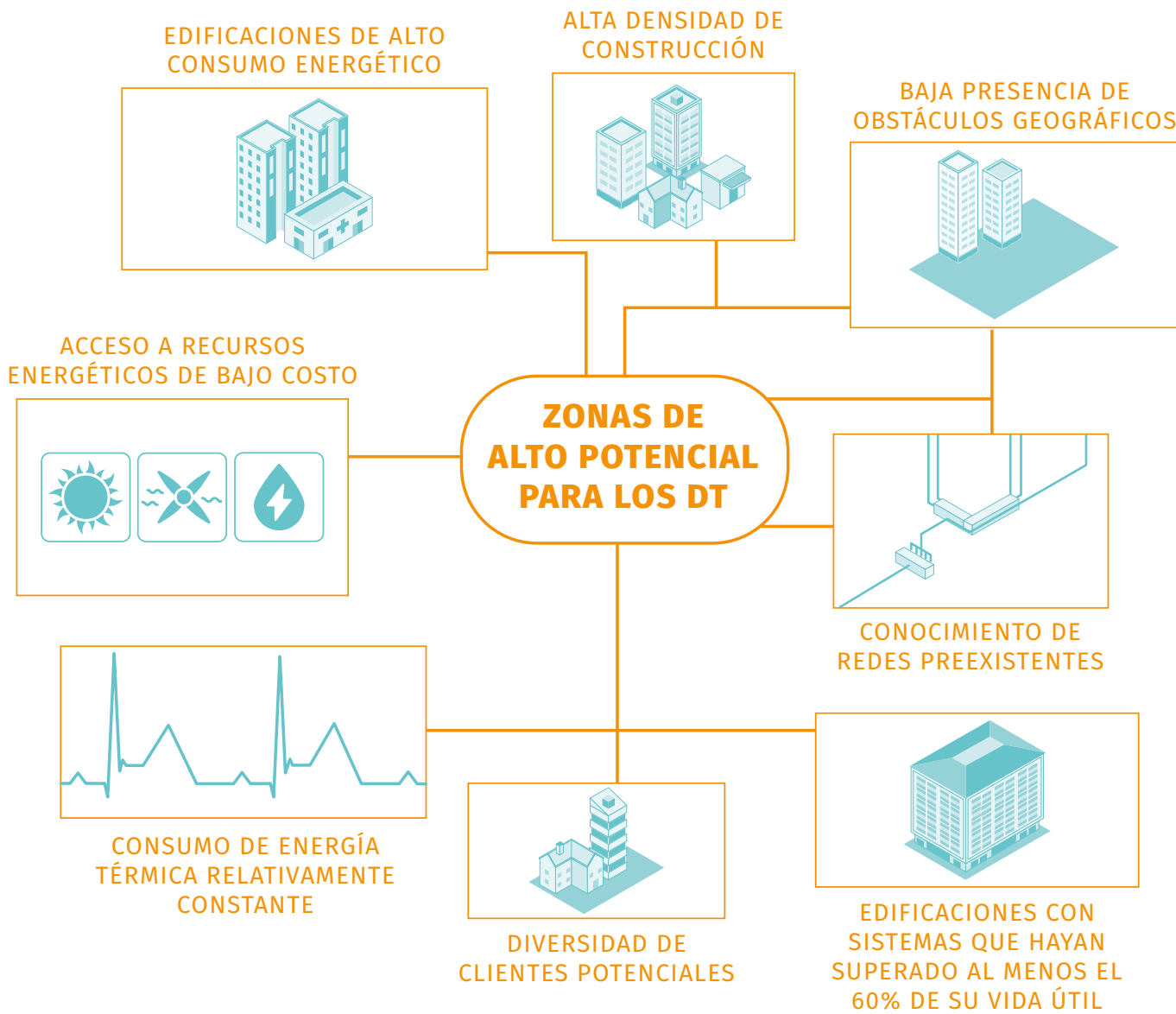
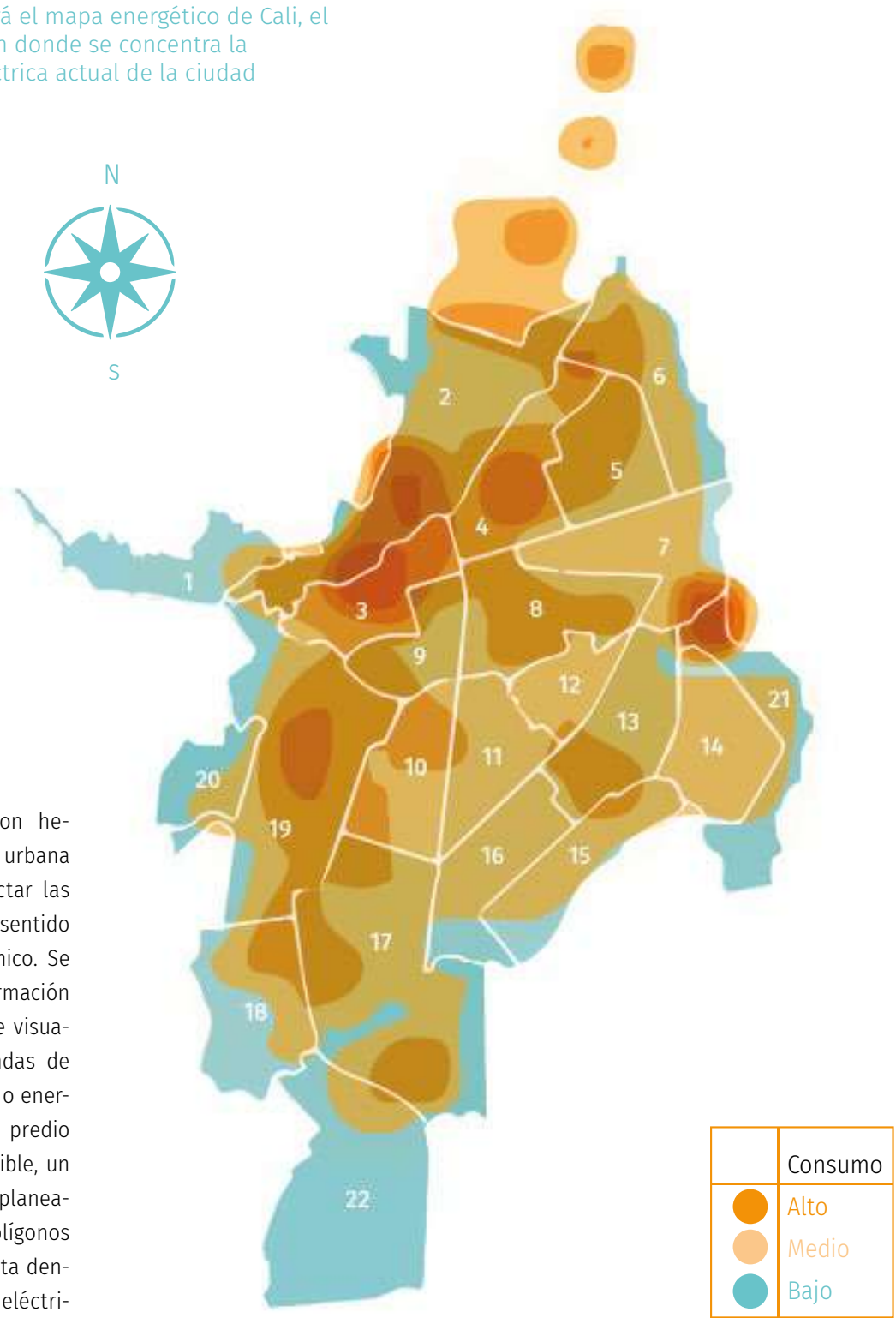


Figura 9. Características que debe reunir una localidad urbana para considerarse una zona de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano.

Las zonas de expansión urbana son importantes focos para el desarrollo de un distrito térmico, dado que usualmente se trata de proyectos de largo plazo que combinan usos mixtos del suelo y donde resultaría sencillo desarrollar un sistema durante su fase de planeación. Proyectos como la Ciudad CAN (Bogotá) y Serena del Mar (Cartagena) son ejemplos

de grandes desarrollos urbanos donde, al conocerse las características de las edificaciones que construirán en el futuro, sus ubicaciones y el cronograma bajo el cual se desarrollará el macroproyecto, incorporar un distrito térmico resultaría altamente costoeiciente y se podría integrar como un sistema crítico para su construcción.

A continuación encontrará el mapa energético de Cali, el cual muestra las zonas en donde se concentra la demanda de energía eléctrica actual de la ciudad



Los mapas energéticos son herramientas de planeación urbana de gran utilidad para proyectar las zonas donde tiene mayor sentido implementar un distrito térmico. Se trata de una capa de información georreferenciada que permite visualizar los consumos y demandas de energía eléctrica, gas natural o energía térmica, por edificación, predio o barrio. Cuando está disponible, un mapa energético permite al planeador visualizar rápidamente polígonos o localidades donde existe alta densidad de demanda de energía eléctrica, que es un indicador indirecto de la demanda de energía para el acondicionamiento de espacios.

Figura 10. Ejemplo de un mapa energético, en este caso, de la ciudad de Cali.

3.3. Establecer las bases para la ingeniería conceptual

- En caso de que se trate de nuevos proyectos de desarrollo urbano, el diseño del distrito térmico debe partir de una ingeniería conceptual y de un estudio de factibilidad, que requiere lo siguiente:
- Conocer el lugar donde se desarrollará el proyecto y sus características fundamentales (plan de ordenamiento territorial, usos proyectados, tamaño del desarrollo, cronograma de desarrollo, etc.).
 - Obtener la arquitectura detallada de las edificaciones que se van a desarrollar; si bien no es imprescindible, es útil para proyectar cuáles edificios específicos representarán el mayor consumo y realizar recomendaciones para facilitar la conexión.
 - Contar con una estructura de actores claramente definida, indicando el perfil del desarrollador, del promotor y de los clientes.

La situación ideal es aquella en la cual el desarrollador del distrito térmico se involucra de manera temprana en el diseño del proyecto de construcción o de desarrollo urbano, y participa activamente en la concepción del proyecto y en la integración del distrito térmico con los demás sistemas constructivos y con el urbanismo global del proyecto.

3.4. Valorar opciones de fuentes de energía

En ámbitos urbanos, los distritos térmicos normalmente tienen acceso a dos fuentes de energía base como mínimo, energía eléctrica² y gas natural.³ Los sistemas de

generación de energía térmica (enfriadores y calderas) operan con estas fuentes.

No obstante, es recomendable que el desarrollador de proyectos también realice un proceso de evaluaciones cuantitativas rápidas de la posibilidad de acceder a recursos energéticos renovables o residuales, que al integrarse a un distrito térmico representarán ahorros en los costos operativos. En este sentido, dadas sus características geográficas y topográficas, solo algunas ciudades colombianas tienen fácil acceso a fuentes renovables como reservorios de agua dulce, ríos, el mar y aguas

subterráneas, entre otras. Adicionalmente, en cuanto a residuos sólidos urbanos, en Colombia es común el uso de rellenos sanitarios y no de plantas de biodigestión o incineración, que además suelen ubicarse lejos de los focos de población.

A continuación se presenta un panorama de la disponibilidad de recursos energéticos renovables en el país y las posibilidades de implementación de distritos térmicos a partir de estas condiciones.

- **Energía solar**

Los distritos térmicos pueden utilizar energía solar para reducir el consumo

de los energéticos primarios ya descritos. Existen dos maneras con las que se pueden aprovechar este recurso: 1) a través de sistemas fotovoltaicos (generación de energía eléctrica para alimentar equipos eléctricos); 2) o a través de sistemas solares térmicos (generan agua caliente entre 40 y 70 °C, cuyo calor puede ser utilizado directamente como apoyo a la generación térmica).

Si bien el recurso solar de Colombia es bajo en comparación con países de América Latina como Chile o Perú, es mayor al promedio mundial de 1423 kWh/m² (World Energy, 2013) y al de países europeos como Alemania, donde se ha desarrollado la industria.

- **Free cooling con aguas subterráneas o superficiales**

Es posible utilizar sistemas que aprovechan la temperatura del subsuelo para rechazar el calor del agua con el ambiente antes del ingreso a los enfriadores del distrito térmico. Esto permite disminuir el tamaño o reemplazar el uso de torres de enfriamiento, lo cual impacta positivamente en la eficiencia energética del sistema y la mitigación de efectos secundarios negativos para la comunidad usuaria o cercana, como la disminución de ruido y del tamaño de las instalaciones.

Algunas opciones para aprovechar el free cooling subterráneo consisten en utilizar tuberías geotérmicas, reservorios en capas subterráneas o reservorios en acuíferos superficiales. Las tres tecnologías requieren estudios detallados de

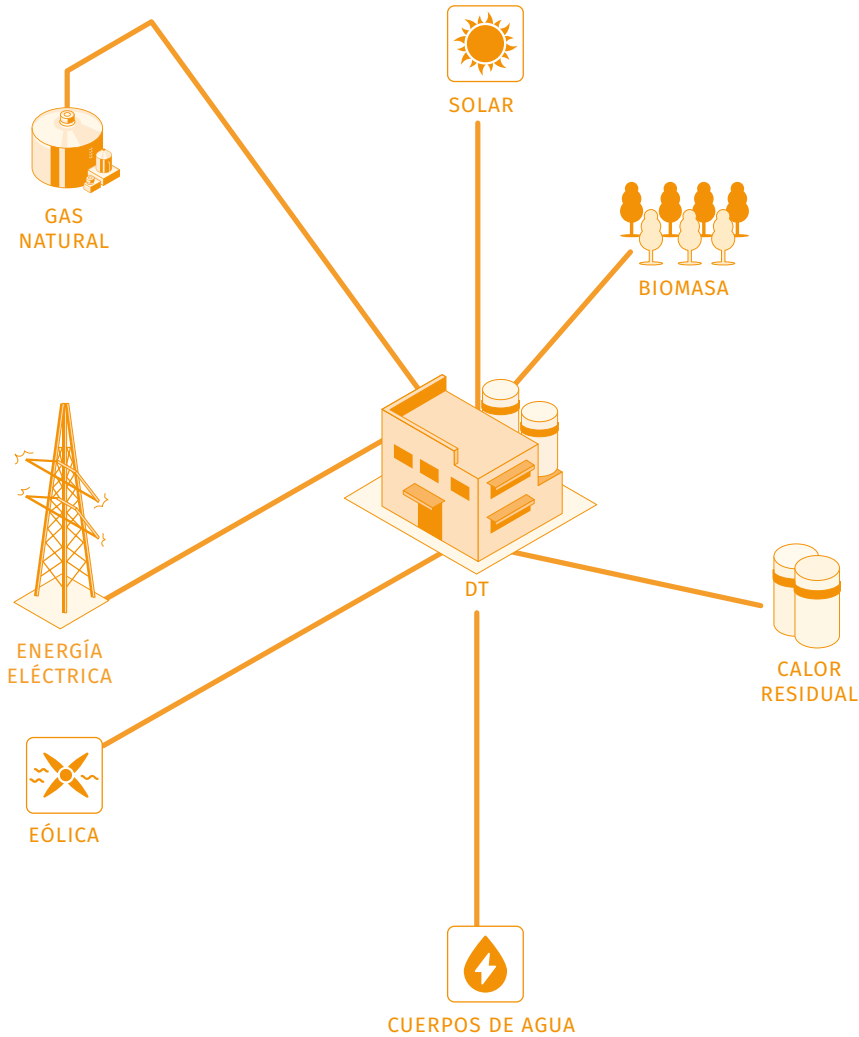


Figura 11. Opciones de insumos energéticos para un distrito térmico.

temperatura y disponibilidad del recurso acuífero o del gradiente geotérmico, que deben analizarse de manera detallada dentro de la ingeniería del sistema.

- **Enfriamiento con agua de mar (SWAC)**

El enfriamiento con agua de mar o Seawater Air Conditioning (SWAC) consiste en utilizar el agua del océano de baja temperatura, que usualmente se encuentra a gran profundidad, para suministrar enfriamiento

sin el uso de enfriadores o con un número limitado de ellos.

El principal beneficio del sistema es la alta eficiencia energética que se puede obtener. Sin embargo, presenta altos costos de inversión, es dependiente de la geografía específica del sitio y presenta barreras ambientales por la construcción y operación de una aducción y descarga de agua de mar. El hecho de contar con un distrito térmico cerca al mar no garantiza la viabilidad técnica.

² 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%. Informe de diagnóstico de la calidad de servicio de la energía eléctrica en Colombia, mayo de 2017.

³ La mayoría de las redes de distribución urbanas de gas natural en Colombia se encontraba presurizada a 60psi y el índice de cobertura nacional era superior al 83% en 2017. Reporte de cobertura nacional de gas natural, primer trimestre de 2018. Ministerio de Minas y Energía.

ca y económica de un sistema SWAC, razón por la que debe realizarse un estudio detallado.

- Aprovechamiento de calor residual**

En zonas potenciales con presencia de clientes de tipo industrial existe una alta probabilidad de encontrar oportunidades de aprovechamiento de calor residual de procesos, que sirve como insumo energético para los distritos térmicos de calor (transferencia directa) o frío (sistemas de absorción). Al considerar un distrito en este tipo en zonas industriales se recomienda revisar, como primera opción de recurso energético, el uso de calor residual, pues para el sistema resulta una fuente de bajo costo que mejora el desempeño económico y ambiental de todo el proyecto.

- Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos a menudo son excelentes fuentes de energía no aprovechada, la cual puede ser obtenida a partir de procesos como biodigestión aerobia, biodigestión anaerobia o incineración. En Suiza el aprovechamiento térmico de la energía contenida en los residuos sólidos urbanos constituye la fuente principal de energía no convencional para los distritos térmicos.

Los proyectos de aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos son de alta complejidad, no solo por el aspecto técnico (estudios de caracterización de los residuos e ingeniería del sistema), sino también en cuanto a permisos ambientales y

de sensibilización de las comunidades. Evaluar su factibilidad es casi tan complejo como evaluar la del distrito térmico en sí, por lo cual se recomienda su estudio como un proyecto independiente.

- Cogeneración y trigeneración**

La cogeneración es un componente que tiene múltiples propósitos en un distrito térmico. Cuando se genera energía eléctrica, puede venderse a la red o consumirse directamente en enfriadores eléctricos dentro de la central. El calor puede utilizarse para generar vapor, agua caliente o frío a través de un enfriador de absorción.



Los mecanismos utilizados comúnmente en los sistemas de cogeneración que hacen parte de los distritos térmicos funcionan a partir de turbinas o motores de combustión interna que consumen algún tipo de combustible fósil para generar electricidad. Estos alimentan los enfriadores eléctricos y los gases de escape se aprovechan térmicamente.

Los sistemas de trigeneración usan los mismos componentes de los sistemas de cogeneración y producción de frío, pero la planta se diseña de tal manera que su provisión sea simultánea.

3.5. Caracterización de clientes potenciales

Una vez se ha seleccionado el polígono donde se desarrollaría el estudio de factibilidad de un distrito térmico, se hace necesario cuantificar la demanda térmica de los potenciales clientes, así como identificar aquellas edificaciones de mayor

consumo que se consideran como clientes imperativos para que el proyecto sea viable (clientes ancla).

Para una estimación de la demanda óptima es ideal coleccionar la información anteriormente descrita para todos los clientes ancla y para la

mayor cantidad posible de usuarios potenciales. El procesamiento de la información es una tarea que se recomienda que sea realizada por un equipo de ingeniería con experiencia en el dimensionamiento de sistemas de climatización.



Figura 12. Información de relevancia para caracterizar usuarios potenciales de un distrito térmico.

3.6 Evaluación de viabilidad

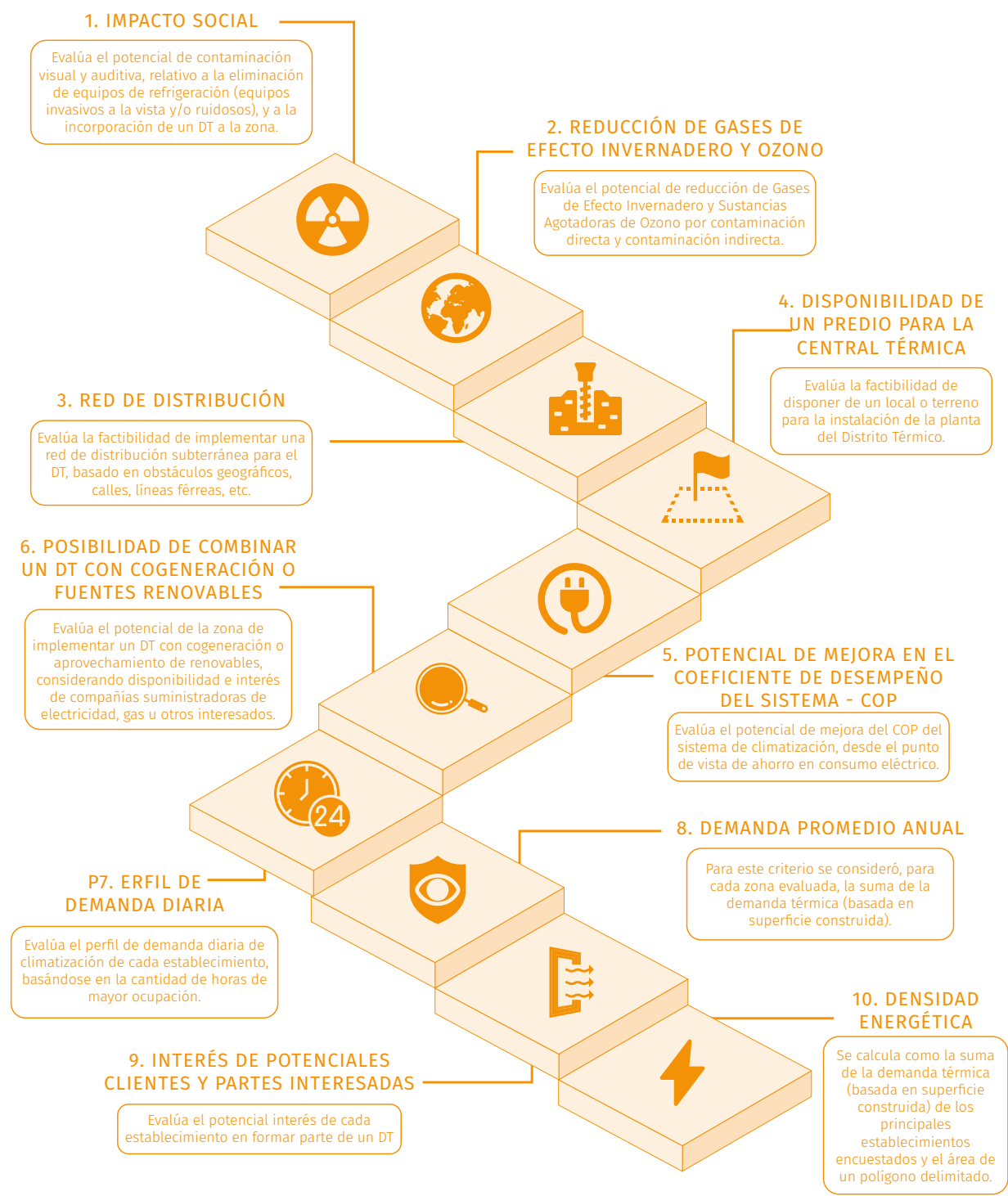


Figura 13. Procedimiento para evaluar la viabilidad técnica, económica y comercial de un proyecto de distrito térmico.

3.7. Calcular la demanda con precisión

La información de campo puede servir de insumo base para calcular la demanda térmica y el patrón de consumo que tendrá el distrito térmico en el futuro. Cuando se cuenta con todas las curvas de demanda de los potenciales clientes, se puede lograr una curva combinada que permite representar la demanda del distrito térmico en su totalidad.

Sin embargo, es poco frecuente que en Colombia los administradores u operadores de edificaciones tengan disponible la información detallada o completa. En estos casos se sugiere combinar la información recolectada en las visitas en campo con las curvas típicas por tipo de establecimiento.

Combinando el tipo de usuario final (hotel, hospital, oficina, etc.), las horas en las cuales está activo su sistema de generación de energía térmica, su capacidad instalada y las curvas de consumo típicas por clase de usuario como las mostradas en la figura 14, es posible construir perfiles de demanda estimados por cada cliente, que al superponerse resultan en una curva de demanda y en una demanda energética total estimada para el distrito térmico.

Esta metodología es acertada desde de un punto de vista conceptual, pero si se requiere entender en detalle el cálculo para su aplicación en un proyecto real, es recomendable realizar revisiones más profundas en



términos energéticos de cada cliente potencial, para realizar ajustes de carga estimada aplicables a la realidad de la central eléctrica.

Las condiciones climatológicas de la ciudad también son un elemento importante al ajustar la carga térmica. Esto se determina durante los estudios de factibilidad, tomando como base la climatología de la ciudad.

Figura 14. Agregación de demandas individuales para estimar la curva de demanda global del distrito térmico.

04.

Materialización del distrito térmico: herramientas y componentes



4.1. Dimensionar componentes y subsistemas

Los distritos térmicos se componen de tres sistemas principales, a saber:

- La central de producción térmica (enfriamiento o calor)
- La red de distribución de agua o vapor (red de tuberías)
- Las estaciones de transferencia térmica (interfaz con usuarios)

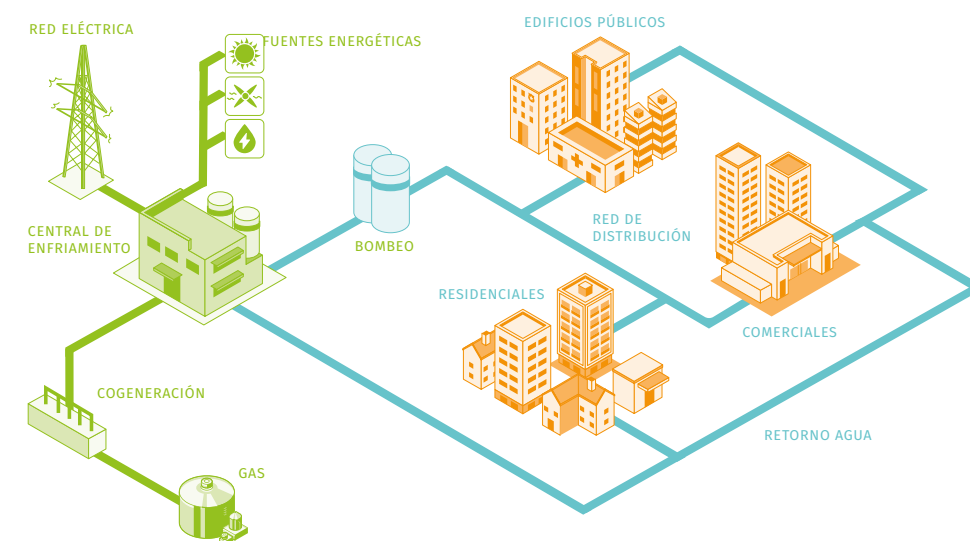


Figura 15. Componentes de los distritos térmicos, esquema general.

4.1.1. Central de producción térmica

Construir la central de producción implica la construcción de un edificio o espacio para alojar la sala de máquinas de producción de calor o frío.

Para el caso de enfriamiento se contemplan los enfriadores, las torres de enfriamiento y las bombas de impulsión de agua hacia los clientes. Para el diseño se pueden organizar los enfriadores en paralelo o en serie

para abastecer la demanda térmica. La configuración en serie, por lo general se utiliza para obtener un alto diferencial térmico del sistema; no obstante, resulta también en un elevado consumo de bombas del circuito primario.

La organización de enfriadores en paralelo permite utilizar equipos de menor tamaño; dado el caso de que uno de los equipos deba sacarse de

operación (falla o mantenimiento), es posible seguir operando la central. Adicionalmente, se reduce el tamaño de tuberías, válvulas y accesorios dentro de la planta.

La capacidad instalada de la central térmica debe obedecer a los parámetros de caracterización de la demanda y de la climatología local, mencionados con anterioridad. Se recomienda que un equipo de ingeniería con ex-

perencia en sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés) realice el dimensionamiento de la central térmica y determine la configuración de los equipos que se van a utilizar.

En Colombia es común que los sistemas de acondicionamiento de aire se sobredimensionen; por esta razón es recomendable que el desarrollador evite asignar una capacidad a cada cliente en función de sus sistemas preexistentes o de estimativos del cliente sobre la capacidad que este cree requerir.

Tipos de enfriadores

Los enfriadores o chillers de agua son una pieza clave en la generación de frío dentro del sistema y funcionan por medio de dos tecnologías:

- **Por compresión de vapor:** este tipo de enfriador emplea diversas tecnologías: de compresión de tornillo, de desplazamiento positivo, de pistón o reciprocantes y centrífugos. En la mayoría de los casos, la selección de la tecnología depende de variables como la temperatura requerida y el espacio disponible, entre otros.
- **Por absorción:** estos requieren de una fuente de alta temperatura, que puede tomarse de energía residual de procesos industriales (agua caliente de proceso, gases de combustión de turbinas o motores a gas y vapor excedente de una caldera, entre otros) o pueden usar agua

caliente proveniente de colectores solares.

Es recomendable el uso de enfriadores de absorción como equipos de respaldo a los enfriadores de compresión de vapor o cuando existe una fuente de calor residual de bajo costo que pueda utilizarse para generar frío. Así mismo, los enfriadores de absorción son recomendables cuando el sistema cuenta con un sistema de cogeneración, para aprovechar el calor de los gases de combustión del sistema CHP.

Sistema de rechazo de calor

En cuanto al sistema de rechazo de calor se recomienda que 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.

Adicionalmente, el uso de sumideros naturales de calor, como ríos o lagos, puede eliminar el uso de torres de enfriamiento y debe considerarse su utilización, siempre que la concepción técnica del distrito y la regulación ambiental local lo permita.

Sistema de bombeo primario

Existen dos topologías posibles para el sistema de bombeo primario hacia los enfriadores: 1) bombeo dedicado a cada enfriador; 2) bombeo a la línea principal que distribuye a todos los



equipos. La selección de uno u otro esquema depende de la realización de un análisis de costo/beneficio.

Instrumentación

La central de producción de energía térmica debe contar con un amplio abanico de medidores y elementos que completan el balance de la planta. De acuerdo con recomendaciones de firmas consultoras, esta instrumentación debe abarcar lo siguiente:

- Medidores de temperatura
- Medidores de presión

- Flujómetros
- Interruptores de estado sólido

- Válvulas y actuadores

4.1.2. Red de distribución

La red de distribución, también conocida como sistema de bombeo secundario, permite la circulación de agua de suministro desde la central de enfriamiento hacia las estaciones de transferencia de los

Esquema de bombeo	Ventajas	Desventajas
Centralizado en línea principal de agua fría	<ul style="list-style-type: none">* Flexibilidad en sistemas que proyectan aumentar puntos de distribución* Permite abastecer redes de mayor tamaño	<ul style="list-style-type: none">* Requiere monitorear ΔP en cada punto de abastecimiento (especialmente los puntos cercanos a la planta)* Si la red es muy grande requiere estaciones booster
Distribuido en cada estación de transferencia	<ul style="list-style-type: none">* Consume menos energía bombeo* Menor presión en la red de distribución de agua fría	<ul style="list-style-type: none">* Limitación tamaño en la red ($NPSH_a < NPSH_r$ para punto más lejano)* Adición de futuros puntos de abastecimiento afecta las demás estaciones de transferencia
Hibridación de ambos	<ul style="list-style-type: none">* Permite abastecer redes complejas y extensas	<ul style="list-style-type: none">* Bombas centralizadas operan en serie con bombas distribuidas* Diseño hidráulico complejo para redes con futuro crecimiento

Figura 16. Ventajas y desventajas de los diferentes esquemas de bombeo secundario para un distrito térmico. Fuente: Inicio-Tractebel (2018 B, C, D, E, F)

usuarios finales y el retorno del agua hacia la planta. En el caso de plantas para enfriamiento, el suministro es de agua fría y el retorno de agua es a una mayor temperatura o caliente.

Las redes de distribución se pueden clasificar de acuerdo con dos categorizaciones: por esquema de bombeo y por trazado de tuberías.

Clasificación de redes según esquema de bombeo

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

1. Bombeo centralizado en la línea principal de agua de suministro
2. Bombeo distribuido a cada estación de transferencia
3. Hibridación de ambos

En la anterior figura se muestran las ventajas y desventajas de cada esquema de bombeo:

Para la selección del tipo de tubería de la red de distribución de agua se sugiere utilizar la tabla de méritos relativos de tuberías y sus características para distritos térmicos, de acuerdo a 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. Se recomienda realizar estudios hidráulicos posteriores para validar la integridad de la red, asegu-

rando que no existan zonas de velocidad baja o alta que puedan influir en un síndrome de baja temperatura, problema común de los sistemas de enfriamiento.

Clasificación de redes según trazado de tuberías

Otra manera de clasificar las redes de distribución es según el trazado de las tuberías. Bajo este esquema de clasificación existen igualmente tres categorías de red:

1. Red ramificada: también conocida como red de 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.
2. 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.
3. Anillo de distribución: es una solución híbrida entre la ramificada y la malla. Consiste en una red ramificada donde los puntos inicial y final de la red están interconectados, dando así como resultado un lazo cerrado que incrementa la confiabilidad.



4.1.3. Interfaz con los usuarios (edificaciones)

Las estaciones de transferencia de energía (ETS) son el punto de conexión entre los distritos térmicos y las edificaciones.

Estas estaciones pueden ser diseñadas para uso directo o indirecto, de acuerdo con la aplicación y el fluido de trabajo. Por ejemplo, si lo que produce el distrito térmico es frío, puede ser un intercambiador de calor. También puede ser una de las unidades manejadoras de aire acondicionado (UMA) si se usa para el acondicionamiento de espacios.

Para la interfaz entre el usuario final y la red de distribución se recomienda que la ETS esté separada del sistema de distribución y del usuario, con el objetivo de lograr las siguientes ventajas para el operador del distrito térmico:

- a. La capacidad de bombeo se limita al punto de conexión de la ETS, eliminando el bombeo en el recinto del cliente.
- b. Separación de circuitos de agua entre el operador del distrito y el cliente final.
- c. Los consumidores se encargarán del agua de reposición y del tratamiento de su circuito.

Con esta configuración, el intercambiador actúa como un elemento de transferencia de calor y *buffer* de presión, además de impedir la contaminación por las diferencias en las

calidades de agua entre la red de distribución y los consumidores finales.

También se recomienda concebir las estaciones de transferencia como puntos de 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.

4.2. De la ingeniería conceptual al proyecto en firme

Una vez finalizados los estudios de factibilidad sobre la zona de interés y se ha dimensionado el distrito térmico de manera conceptual, la fase posterior consiste en la contratación de los servicios de ingeniería, construcción y operación.

Dados los montos asociados y el perfil de las entidades involucradas en el desarrollo de los distritos, lo más usual es que en esta fase se opte por el mecanismo de licitación pública o licitación cerrada para cada uno de los tres componentes.

La entidad promotora del proyecto deberá preparar pliegos de condiciones para la contratación de cada una de las fases, ciñéndose a las normas de contratación pública aplicables en los niveles local y nacional. Algunas de las actividades clave en la fase de licitación son las siguientes:

- Preparación y publicación del pliego de condiciones técnicas (PPT) y del pliego de condiciones administrativas.
- Publicación de los pliegos y las audiencias de aclaración con interesados.
- Recepción de ofertas.

- Análisis de las ofertas recibidas.
- Adjudicación de los contratos.
- Firma del contrato con el adjudicatario.

Así mismo, la labor comercial del desarrollador del distrito térmico debe abarcar dos elementos fundamentales paralelos a la licitación y adjudicación de los contratos:

- Buscar la firma de acuerdos, contratos o manifestaciones formales de interés de clientes potenciales dentro de la localidad de desarrollo, de manera que la fase de construcción se pueda iniciar con un número mínimo de clientes ya comprometidos a conectarse al sistema una vez este se encuentre en operación.
- Socializar el proyecto activamente con las comunidades que serán impactadas directamente por el proyecto de distrito térmico, para comunicarles los beneficios que traerá el sistema y manejar sus expectativas y preocupaciones con respecto al futuro de la zona.

La fase de construcción de un distrito térmico comparte bastantes

similitudes con la ejecución de cualquier proyecto de infraestructura y equipamiento urbano. Dependiendo de las características particulares del proyecto y de la afectación al espacio público preexistente, la obtención de licencias de construcción y permisos de trabajo puede ser compleja y requiere de consultas específicas con las autoridades locales de cada ciudad.

Otro aspecto que tanto el desarrollador como la autoridad local que respalda el proyecto deberían considerar es el aprovechamiento de posibles sinergias entre la construcción del distrito térmico y obras adicionales de adecuación o renovación urbana en la localidad. En la medida de lo posible, estas obras deberían ejecutarse de manera simultánea y coordinada, con el fin de realizar todas las intervenciones previstas en la localidad de desarrollo, minimizando el impacto sobre la comunidad. Esta coordinación tiene además el beneficio de que puede reducir costos asociados a renovaciones, trazado de redes, adecuación de calles y espacio público, entre otros.

4.3. Retos existentes y soluciones por venir

Existe aún una brecha notable entre la conceptualización de un distrito térmico, tanto técnica como económica, y la ejecución concreta del proyecto. Si bien se trata de un mercado incipiente en el país, se han liderado importantes esfuerzos desde el sector público, con apoyo del privado, para impulsar proyectos potenciales.

En esta sección se presentan respuestas a algunas preguntas abiertas que quedan por resolver y las acciones particulares por trabajarse para cerrar la brecha entre los proyectos conceptuales y sus contrapartes en la operación real.

Pregunta 1: *¿Qué desafíos encontrarán los distritos térmicos bajo un modelo totalmente público?*

- En Colombia aún falta el desarrollo de mecanismos que le permitan a una entidad pública local (alcaldía o secretaría) ser la principal inversionista en un distrito térmico. Será necesario revisar experiencias internacionales exitosas de este modelo para transferir capacidades a las instituciones colombianas.

- Las entidades locales carecen de la experiencia, el conocimiento técnico y la articulación con usuarios finales y contratistas para liderar la planeación, la ejecución y la operación de un distrito térmico. La creación de capacidades institucionales y técnicas deberá ser una acción futura para hacer énfasis en los múltiples beneficios de la tecnología en el contexto urbano.

Pregunta 2: *¿Qué desafíos específicos encontrarán los proyectos público-privados?*

- Al momento de la edición del presente documento, en Colombia no se tiene experiencia de un distrito térmico desarrollado bajo el mecanismo de una asociación público-privada (APP), lo cual genera incertidumbre en relación con la aplicabilidad del modelo. Especialmente, hay que ver de qué forma se introduce la competencia libre en este proceso. No obstante, conforme se desarrollen proyectos que involucren una articulación cercana entre las autoridades locales y

un desarrollador privado podrá adquirirse experiencia en la implementación de las APP en los distritos térmicos.

- Será importante estructurar el rol y la participación en los órdenes técnico, económico y operativo del público y del privado en el negocio de la venta de energía térmica.

Pregunta 3: *¿Qué desafíos específicos encontrarán los proyectos totalmente privados?*

- Un desarrollador privado encontrará mayor dificultad para obtener permisos y planear las obras requeridas para realizar la intervención del espacio público para instalar las redes, en especial si el proyecto se emplaza en zonas ya desarrolladas. Viabilizar los trámites y dar claridad sobre cuáles son los permisos y procesos que debe surtir el desarrollador para tener el visto bueno de la autoridad local es una tarea pendiente de desarrollar y que permitirá superar el reto con una mayor facilidad.

- Zonificación y uso del suelo. El desarrollador privado debe prestar especial atención a las restricciones asociadas con la zonificación y uso del suelo en el POT local, en particular, al momento de definir la ubicación de la central térmica. Se está trabajando en estandarizar qué tipo de edificación, bajo los usos permitidos del suelo, es la más apropiada para clasificar como una central térmica, de manera que no exista ambigüedad sobre su emplazamiento durante la fase de planeación.
- Un desarrollador privado, en particular si se trata de una empresa de tamaño pequeño o mediano (por ejemplo, una empresa de servicios de energía), podrá encontrar dificultades comerciales para vincular clientes a 30 o 40 años, pues su marca no goza de la misma solidez y estabilidad que la de una empresa multinacional o de una empresa prestadora de servicios públicos ni cuenta con el respaldo directo de la autoridad local. Ante ello, el desarrollador deberá buscar la manera de establecer garantías con los clientes finales, sus proveedores y su fuente de financiación, que le permitan proyectarse como una empresa confiable y que ha planeado para múltiples escenarios. Así mismo, realizar sesiones de socialización del proyecto con la comunidad y los clientes le permitirá robustecer su imagen ante ellos.



Pregunta 4: *¿Debe esperarse primero a tener una regulación completamente desarrollada y un esquema normativo y de incentivos favorables a la tecnología, antes de pensar en conceptualizar o invertir en un distrito térmico?*

- La experiencia nacional y las lecciones aprendidas de otros sectores indican que en Colombia los proyectos piloto y la demanda por un cambio tecnológico anteceden a la aparición de regulación, incentivos y un marco normativo completo. Proyectos como el distrito térmico La Alpujarra y

el distrito térmico Serena del Mar están abriendo la senda hacia el desarrollo orgánico del mercado; los vacíos normativos que existen empiezan a ser saldados por estos proyectos pioneros que sientan un precedente sobre la estructuración del negocio.

Pregunta 5: *¿Qué otros sectores deben ser explorados con mayor profundidad y sensibilizados sobre los distritos térmicos?*

- La academia (en particular, las instituciones de orden superior) es

tos y soluciones financieras a la medida de la tecnología. Como se ha descrito en esta guía, los distritos térmicos son inversiones intensivas en capital inicial, con largos periodos de retorno y flujos de caja en función del número de clientes que puedan conectarse a los mismos, con riesgos a nivel de gestión comercial y proyección de ingresos. No obstante, la banca de primer piso debe convertirse en un aliado para los desarrolladores y gestores de estos proyectos, quienes serán los primeros llamados a dinamizar el mercado y, en muchos casos, necesitarán acceso a crédito en condiciones preferentes para lograr la viabilidad económica de la inversión. Así mismo, los usuarios finales también podrán requerir el apoyo de la banca para realizar inversiones en adecuaciones y recambio tecnológico, necesarios para su conexión como usuarios.

- Los estudios de proyectos de distritos térmicos conceptuales desarrollados en siete ciudades colombianas no consideraron en su primera fase la incorporación del sector residencial como usuario potencial. No obstante, la experiencia internacional en el desarrollo de los distritos térmicos demuestra que si bien los clientes oficiales, comerciales e industriales son los primeros que se vinculan a ellos y viabilizan la inversión para el desarrollador, los usuarios residenciales tienden por inercia del mercado a ser integrados a los sistemas

en fases posteriores de madurez de los proyectos. En el país, la viabilidad normativa y las características de una hipotética propuesta de valor para un usuario residencial conectado a un distrito térmico aún es difusa, pero deben explorarse a medida que los proyectos de distritos térmicos en el país alcancen una fase de maduración.

Pregunta 6: *¿Deberían los nuevos desarrollos urbanos, ya sean públicos o privados, tener la obligación de contar con un distrito térmico desde su concepción?*

- Para los nuevos desarrollos urbanos (múltiples edificaciones en zonas de desarrollo) liderados por un privado, la creación de un mecanismo obligatorio para la concepción de un distrito térmico debe analizarse con cuidado, pues un mecanismo mal diseñado puede llegar a ser un obstáculo o un desincentivo para el sector constructor. No obstante, ejemplos precursores como el de Serena del mar demuestran que en Colombia desarrollar un macroproyecto que desde su diseño incorpore esta tecnología es posible y rentable.
- Para proyectos de carácter público (por ejemplo, la Ciudad CAN en Bogotá o el gran malecón en Barranquilla), el hecho de diseñarlos junto con un distrito térmico que los acompañe enviaría una señal de mercado muy positiva para el sector constructor y de aire acondicionado privado,

dada la exposición mediática de proyectos como estos que muestran el compromiso de las entidades públicas con tecnologías sostenibles. En ese sentido, se ve como una buena opción diseñar un instrumento normativo que exija que para todo nuevo macroproyecto urbano público se considere, como mínimo, el diseño y la eventual implementación de un distrito térmico.

Pregunta 7: *¿Cuáles son los retos adicionales identificados?*

- En los análisis financieros de proyectos de energía a través de distritos térmicos, así como en las sesiones de sensibilización en ruedas de negocio y en las interacciones con actores de los sectores público y privado interesados en desarrollar e invertir en los distritos térmicos en Colombia, se puso en evidencia que gravar el servicio de energía térmica con el IVA resulta en unas condiciones comerciales desfavorables, tanto para el usuario final como para el desarrollador. El hecho de eliminar el IVA sobre ese servicio derivaría en un incremento, en promedio, de tres a seis puntos básicos de rentabilidad del proyecto, lo cual facilitaría su cierre financiero y permitiría ofrecerle al cliente una mejor tarifa. Será un trabajo institucional por abordar, el elaborar la hoja de ruta que permita considerar el servicio de energía térmica en la misma categoría que el de energía eléctrica y, por tanto, servicio no gravado.

- La estandarización de prácticas de diseño de sistemas de acondicionamiento y refrigeración, incluyendo tanto soluciones individuales como los distritos térmicos, se está regulando mediante un reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas (RETSIT), liderado principalmente por el Ministerio de Minas y Energía. La existencia y entrada en vigor de este nuevo reglamento desincentivará las prácticas de diseño poco eficientes de soluciones convencionales, mejorará la competitividad de los distritos térmicos y los hará más atractivos para diseñadores, contratistas y constructores.
- Se han realizado estimaciones de las posibles tarifas para los estudios de proyectos de los distritos térmicos mencionados anteriormente, que buscan ofrecer al cliente final un costo total de propiedad competitivo con sistemas centralizados preexistentes en las ciudades colombianas. No obstante, queda aún por emprender un acercamiento comercial con usuarios finales y ejecutar encuestas de percepción para determinar si realmente estas tarifas pueden ser o no atractivas, en función de sus expectativas de ahorro comparadas con los cobeneficios de conectarse a un distrito térmico.





Todo lo que debe saber sobre modelos de negocio y contratos

Es clave tener en cuenta que la operación y comercialización de un distrito térmico puede encajar en uno de los tres modelos de negocio propios del proyecto, dependiendo de la participación patrimonial: público, privado o mixto. A continuación se presenta la naturaleza de cada uno de estos modelos, así como su régimen de contratación y la participación de los actores involucrados.

En general, un modelo administrativo genérico para el desarrollo de un distrito térmico obedece a la estructura mostrada en la figura de la página siguiente.

Los actores que intervienen en el ciclo de vida de un proyecto de un distrito térmico se pueden clasificar en siete subgrupos:

- **Propiedad:** se trata de la entidad o entidades dueñas del proyecto.

- **Financiamiento:** entidad que apalanca económicamente el proyecto.
- **Construcción:** grupo de entidades o empresas proveedoras de tecnología y constructoras del proyecto.
- **Proveedores:** entidades externas al desarrollo del proyecto que proveen servicios requeridos para su construcción y operación.
- **Operación y comercialización:** entidades que adquieren la figura de operador del sistema y comercializador de la energía térmica.
- **Agentes públicos:** entidades públicas de carácter local o nacional que tienen roles de regulación, control, veeduría u otros transversales al desarrollo del proyecto a lo largo de su vida útil.
- **Cliente final:** son los usuarios finales (edificaciones) del proyecto.

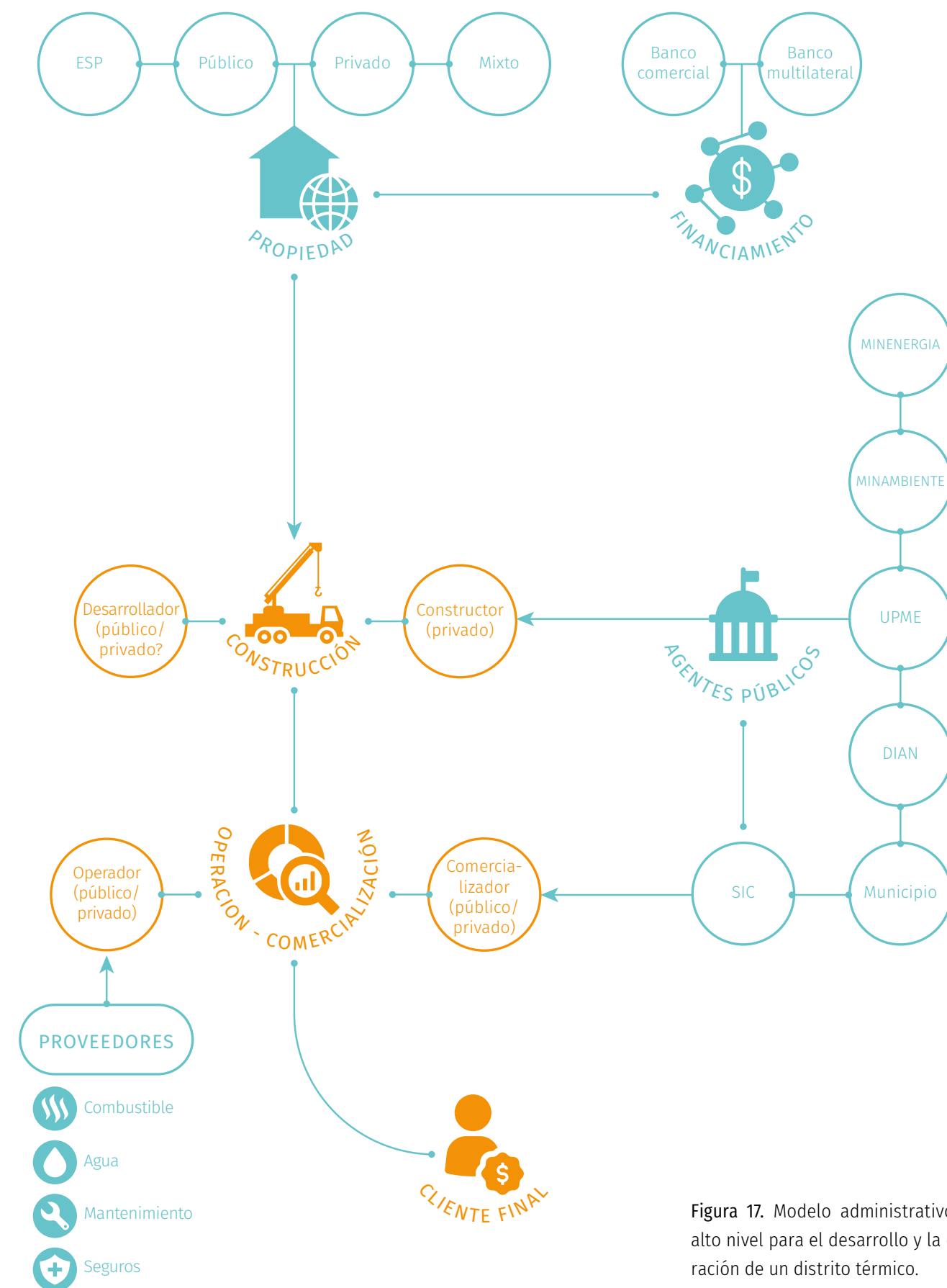


Figura 17. Modelo administrativo de alto nivel para el desarrollo y la operación de un distrito térmico.

5.1. Modelos de negocio

5.1.1. Totalmente privado

En un modelo totalmente privado, una empresa o grupo de empresas de carácter privado financia, desarrolla y opera el distrito térmico. Los usuarios finales pueden ser edificaciones de los sectores público o privado, lo cual no afecta el carácter del modelo de negocio.

En este modelo el sector público cumple un rol auxiliar, mas no interviene directamente en el desarrollo del proyecto. Las entidades públicas pueden participar como promotores, facilitadores y entes de regulación y control del bienestar público, y velan por los mejores intereses de la ciudad o el centro de desarrollo.

En Colombia los contratos o actos mercantiles de las empresas cuya propiedad está en cabeza de particulares se rigen por el derecho privado y, en consecuencia, se les aplican en principio las normas consagradas en el Código de Comercio colombiano.

Dentro de los posibles esquemas contractuales, la figura del contrato de suministro encaja de manera adecuada para los distritos térmicos privados, en cuyo caso el proveedor del servicio de energía térmica se obliga a suministrarle al usuario o cliente final una cantidad determinada convenida de calor o frío, dentro de un plazo definido y de manera continua o periódica.

El inversionista del proyecto se selecciona bajo los criterios que aplican para cualquier proyecto de inversión. Se le presenta el proyecto, sus estimados de flujo de caja, sus riesgos y retornos, y la estructura de capital, tras lo cual el inversionista aplica un modelo financiero para determinar si el proyecto es compatible con sus expectativas de rentabilidad interna y aversión al riesgo.

La banca comercial es una entidad financiera con perfil adecuado para financiar los distritos térmicos priva-

dos en Colombia, normalmente por medio de la concesión de créditos al desarrollador.

El desarrollador de un proyecto privado es idealmente una empresa prestadora de servicios públicos o una empresa de servicios de energía, que tienen fácil acceso a los clientes potenciales, poseen la capacidad financiera para impulsar los proyectos y son lo suficientemente robustas para asumir el riesgo de proyectos a largo plazo y tener credibilidad frente a los usuarios.



Figura 18. Modelo de negocio totalmente privado.

5.1.2. Totalmente público

En 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.

En Colombia los contratos o actos mercantiles de las empresas cuya propiedad está en cabeza del Estado tienen un régimen propio de contratación, sujeto a las reglas contenidas en la Ley 80 de 1993. Esta ley aplica para las siguientes entidades estatales:

- La nación.
- Las regiones.
- Los departamentos.
- Las provincias.
- El distrito capital y los distritos especiales.
- Las áreas metropolitanas.
- Las asociaciones de municipios.
- Los territorios indígenas y los municipios.
- Los establecimientos públicos.
- Las empresas industriales y comerciales del Estado.
- Las sociedades de economía mixta en las que el Estado tenga participación superior al cincuenta por ciento (50 %).



Figura 19. Modelo de negocio totalmente público.

- Las entidades descentralizadas indirectas y las demás personas jurídicas en las que exista participación pública mayoritaria, cualquiera sea la denominación que ellas adopten, en todos los órdenes y niveles.

A nivel contractual, la Ley 80 de 1993 les otorga un tratamiento especial a las empresas de economía mixta y a las empresas industriales y comerciales del Estado. Este consiste en

que podrán celebrar directamente los contratos que tengan por objeto las actividades comerciales e industriales que les son propias, sin sujeción a la regla general que dispone la convocatoria de licitación o concurso públicos. Estos tienen como excepción los contratos de que trata el artículo 32 de la misma ley, esto es, los contratos de obra, concesión, consultoría, prestación de servicios, encargo fiduciario y fiducia pública, que quedan sometidos al régimen ordinario.

Para el contrato de venta de servicio de energía térmica en los modelos público y totalmente privado se recomienda emplear el modelo de contrato de suministro.

En cuanto a la selección de un inversionista para un proyecto de carácter público, la entidad idónea dependerá de cuál es la entidad pública promotora del proyecto. En experiencias internacionales, cuando la municipalidad o alcaldía financia el proyecto, lo hace con patrimonio público.

La selección de un desarrollador para un proyecto totalmente público debe responder a criterios de solidez financiera, buena credibilidad y, sobre todo, capacidad técnica para diseñar y ejecutar un proyecto de infraestructura de gran envergadura. Las municipalidades normalmente carecen de una entidad con estas características, por lo cual, en general, en Colombia se da prelación al modelo mixto para el desarrollo de grandes obras de infraestructura (vías, aeropuertos y transporte público, entre otras). Si bien no hay antecedentes de que en el país las administraciones públicas encabezen este tipo de iniciativas de vanguardia y articulación urbana entre varios actores, su participación puede ser especialmente determinante en la promoción y respaldo a estos proyectos.



5.1.3. Mixto (público-privado)

En un modelo público-privado, como su nombre lo indica, intervienen empresas de ambos ámbitos en las fases de financiamiento, construcción y operación del proyecto.

En cuanto a los modelos mixtos, son comunes tres modalidades:

- La empresa que desarrolla el proyecto y lo opera es una sociedad mixta de capital público-privado, lo que convierte el proyecto en un híbrido. El proyecto distrito térmico La Alpujarra, de Medellín, es un ejemplo de este esquema, porque las Empresas Públicas de Medellín (EPM) tienen una composición mixta.
- Conformar un Joint-Venture en la cual ambas partes invierten en la constitución de una empresa de energía distrital o en la que los sectores público y privado financian diferentes activos del sistema.
- Un modelo tipo concesión, en el que la entidad pública normalmente desarrolla un estudio de factibilidad del proyecto y luego licita su construcción y operación por un privado, convirtiendo así al ente público en propietario y al privado en operador. La operación se concesiona al privado por un periodo fijo.

Cuando las empresas que construyen y operan los proyectos están constituidas como de economía mixta, en las que el Estado tiene una participación menor al 50 %, el régimen contractual estaría enmarcado dentro del derecho privado y sería igual al de un proyecto de carácter netamente privado. Si, por el contrario, las sociedades tienen una participación pública superior al 50%, el marco aplicable sería el descrito en la Ley 80 de 1993.

Existe un caso especial, ajustable a empresas de servicios públicos (ESP)

de carácter mixto o público que participen en el desarrollo de proyectos de distritos térmicos. De acuerdo con lo establecido en la Ley 142 de 1994, los actos y contratos de las empresas de servicios públicos domiciliarios que son regulados por esa ley se rigen por el derecho privado. En este sentido, las empresas de servicios públicos que ejecuten contratos para el desarrollo de distritos térmicos en Colombia, independiente de su naturaleza jurídica, se rigen por el derecho privado (caso EPM).



Figura 20. Modelo de negocio mixto (público-privado).

5.2. Los contratos de suministro

Como se describió anteriormente para los tres modelos de negocio posibles, los contratos que se suscriban entre los operadores de los distritos y sus usuarios finales deben estructurarse como contratos de suministro,

y contener como mínimo las estipulaciones presentadas en la siguiente tabla. Lo anterior con independencia de si los comercializadores de los distritos térmicos son o no entidades de derecho público o privado.

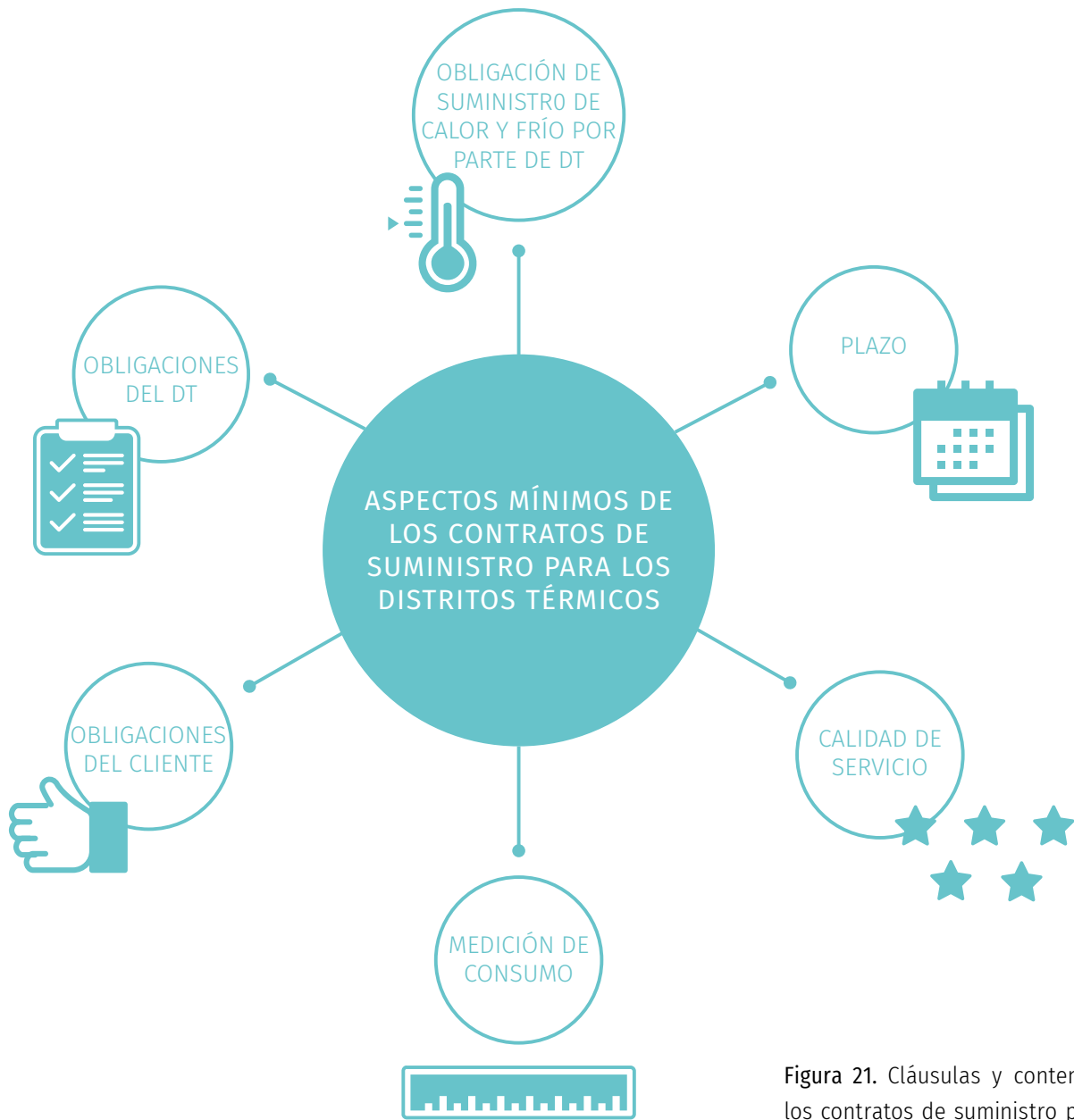


Figura 21. Cláusulas y contenido de los contratos de suministro para los distritos térmicos.

Tabla 8. Estipulaciones mínimas contempladas en los contratos de suministro para los distritos térmicos. Fuente: Hincio-Tractebel (2017 B)

Cláusula del contrato de suministro	Contenido
Obligación de suministro de calor y frío por parte del distrito térmico	<ul style="list-style-type: none">• Obligación del distrito térmico de suministrar calor, frío o agua caliente sanitaria• Potencia• Temperatura / medición de la temperatura• Cambios en la potencia• Cambios en la temperatura
Plazo	<ul style="list-style-type: none">• Fecha de inicio del contrato• Fecha del inicio del suministro (si es diferente)• Fecha de terminación del suministro• Fecha de terminación del contrato (si es diferente)
Precio	<ul style="list-style-type: none">• Tarifa de la conexión (componentes: capacidad, consumo y conexión)• Precio de la energía (componente fijo y variable)• Precio de otros cargos (por ejemplo: reconexión)• Esquema de revisión de precios
Medidores y consumos	<ul style="list-style-type: none">• Obligación de proveer el medidor (generalmente lo provee el distrito térmico)• Identificación de las propiedades del medidor• Frecuencia y método de la medición• Acceso del cliente a la información del medidor (consumo)• Responsabilidad por falla del medidor• Responsabilidad por la disputa sobre la propiedad del medidor
Facturación y pago	<ul style="list-style-type: none">• Periodicidad de la facturación• Contenido de la factura• Método de pago• Fecha de pago• Mora en el pago• Procedimiento en caso de errores en la facturación• Prevención de riesgo de pago: establecimiento de garantías de pago como prepago y garantías adicionales
Obligaciones del distrito térmico	<ul style="list-style-type: none">• Suministro del calor, frío o agua caliente sanitaria en las condiciones de potencia y temperatura pactadas• Cumplir con la fecha de puesta en servicio• Mantener la disponibilidad del servicio• Conservación y mantenimiento de la red• Reglas de mantenimiento e interrupciones de la red• Lectura del medidor• Facturación• Contestar oportunamente las peticiones y reclamos de los clientes
Obligaciones del cliente	<ul style="list-style-type: none">• Pagar el precio pactado por la energía• Pagar el precio del derecho de conexión• Mantenimiento de sus instalaciones• Procedimiento en caso de fraude en la medición del servicio (si aplica por tecnología de los medidores)
Calidad del servicio	<ul style="list-style-type: none">• Establecer la temperatura del calor o frío a ser suministrado y las variaciones permitidas, junto con la indicación del procedimiento aplicable• Forma de reportar el cumplimiento/incumplimiento• Sanciones por el incumplimiento

06.

Evaluación financiera y beneficios tributarios



6.1. Costos de inversión

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, a saber:

- **Costo de desarrollo:** incluye el costo del terreno para la construcción de la central térmica, los permisos necesarios para la cons-

trucción y los estudios y servicios de ingeniería para el proyecto.

- **Costos directos:** cubren los costos de la central térmica, del sistema de distribución y del sistema de conexión con el cliente.
 - **Costos de la central de producción térmica:** incluyen el 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.

- **Costos de la red de distribución:** comprenden 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.
- **Costos del sistema de conexión:** abarcan los costos de equipos y tubería secundaria desde el sistema de distribución hasta el cliente y la mano de obra de construcción.

- **Costos indirectos:** contienen los costos de obras temporales para la construcción, los costos de importación y nacionalización de equipos y transporte, y los seguros y garantías. En estos costos se recomienda integrar una reserva para contingencias e imprevistos.

Con base en estudios de factibilidad técnica y económica realizados por consultores expertos para el contexto de Colombia, los costos de inversión en redes urbanas de enfriamiento se estiman en los rangos mostrados en la tabla.

Los costos de inversión de un distrito térmico dependen principalmente de la distancia de la tubería principal (densidad de clientes) y de la capacidad instalada de la planta.

Tabla 9. Costos de inversión estimados en un diseño particular de distrito de enfriamiento urbano en Colombia. Fuente: Hincio Tractebel (2018 B, C, D, E, F)

	Central de enfriamiento	Sistema de distribución	Sistema de conexión
Unidades	USD/TR	USD/m	USD/TR
Bogotá	1300 - 1600	1200 - 4800	150 - 1100
Bucaramanga	1300 - 1500	1600 - 4000	66 - 580
Cali	1300 - 1600	1600 - 4000	190 - 1500
Cartagena	1300 - 1600	1600 - 4000	150 - 1200
Medellín	1100 - 1200	1850 - 3125	60 - 200
Villavicencio	1500 - 2500	1.500 - 3500	1000 - 1.200
Montería	1600 - 1700	1500 - 3800	500 - 700

6.2. Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento de un distrito térmico abarcan los costos anuales de mantenimiento de la central térmica y del sistema de distribución y de las estaciones de transferencia. Además, se suman los costos de los insumos y energéticos primarios requeridos para la operación: agua, electricidad y gas natural son los más comunes. Por último, se suman los costos de administración de la planta (seguros, administración, costos comerciales, etc.).

En una etapa de estimación de factibilidad económica, los costos de operación y mantenimiento se pueden aproximar como un porcentaje sobre el valor de inversión del proyecto. Una figura calibrada para el caso colombiano es la siguiente:

Para proyectar los flujos de caja durante la fase operativa es aconsejable modelar el incremento anual en los costos de operación y mantenimiento. Una buena práctica es indexarlos al incremento del IPC nacional.

Tabla 10. Costos de operación y mantenimiento de un distrito térmico.
Fuente: Hincio Tractebel (2018 B, C, D, E, F)

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

6.3. Tarifa para la prestación del servicio de energía térmica

Con base en experiencias internacionales es usual que la tarifa para la prestación del servicio de energía térmica se divida en tres componentes: tarifa de conexión inicial, tarifa de consumo y tarifa de capacidad.

La tarifa final, compuesta por los tres componentes, se calcula de manera que cubra los costos de inversión (Capex) y de operación (Opex) del distrito, así como dejar un margen de rentabilidad para el operador. Los tres componentes tarifarios se definen así:



Figura 22. Componentes de la tarifa compuesta de la prestación del servicio.

Con base en estudios de factibilidad técnica y económica realizados para Colombia, las tarifas para distritos térmicos esquematizados para siete ciudades fueron los siguientes:

Tabla 11. Tarifas estimadas para la prestación de servicio de energía térmica en un diseño particular de distrito de enfriamiento urbano en Colombia. Fuente: Hincio Tractebel (2018 B, C, D, E, F)

	Tarifa de conexión	Tarifa de consumo	Tarifa de capacidad
Unidades	USD/TR	USD/TRH	USD/TR
Bogotá	786	0,11	550
Bucaramanga	721	0,12	765
Cali	883	0,13	550
Cartagena	727	0,11	710
Medellín	580	0,11	635
Villavicencio	1226	0,12	1088
Montería	1491	0,06	687

6.4. Análisis financiero y económico

Es recomendable que el desarrollador del proyecto cuente en su equipo con un experto en modelación financiera y evaluación de proyectos de inversión, pues el desempeño económico de un distrito térmico se evalúa con las mismas herramientas financieras que las de cualquier otro proyecto de infraestructura.

El modelo financiero se construye con base en la estructura tarifaria determinada, así como en un análisis económico preliminar que permite estimar el tamaño óptimo de la central y la red de distribución. La metodología recomendada para realizar esta estimación es la siguiente:

- Con base en la ingeniería conceptual se construye un modelo con el cual se puede calcular el valor final de una unidad energética (tonelada de refrigeración o kW térmico) para toda la vida útil del proyecto. Este cálculo es análogo al de calcular el costo total de propiedad del proyecto en USD/TR, USD/kW, COP/TR, USD/kW.



- Se analiza la variación del costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés) ante un cambio en la longitud de la red de distribución o en la capacidad de la central térmica.
- Se grafican los resultados en forma tabular, lo que permite visualizar el TCO de distintos tamaños de distritos térmicos de una misma ciudad.
- Se comparan los costos totales de propiedad contra el TCO de

un sistema centralizado para esa ciudad (se calcula sumando los costos de inversión y operación y mantenimiento de un sistema convencional). El TCO de un sistema convencional se calcula considerando los costos de mantener operativo un sistema de aire acondicionado centralizado de una edificación a lo largo de su vida útil, sumando su costo de adquisición, de mantenimiento y de energía eléctrica consumida

Si se realiza este procedimiento, es posible lograr un resultado gráfico como el que se muestra en la siguiente figura:

Tabla 12. Ejemplo de costo total de propiedad (TCO) en 30 años [USD/TR] del distrito térmico en Cartagena, en función de distancia de tubería y tamaño de la planta. **Fuente:** Inicio-Tractebel (2018 E)

Distancia total de tubería principal (m)											
Capacidad de la central térmica (Mwt)		TR	400	600	800	100	1200	1400	1600	1800	2000
	5	1433	16038	16554	17102	17618	18167	18682	19231	19747	20295
	10	2866	12390	12685	13013	13309	13604	13933	14228	14524	14852
	15	4299	11226	11532	11804	12077	12382	12655	12928	13233	13506
	20	5732	10576	10795	11047	11266	11485	11737	11956	12175	12427
	25	7165	10188	10373	10591	10775	10960	11144	11956	11547	11731
	30	8598	9902	10061	10219	10410	10568	10726	10885	11075	11234
	40	11464	9559	9691	9855	9987	10118	10250	10414	10546	10678
	50	14330	9446	9594	9741	9889	10069	10217	10365	10513	10660

Para este ejemplo, en Cartagena se determinó que el TCO a 30 años de un sistema centralizado convencional es de 17,619 USD/TR. Para facilidad de su visualización, las configuraciones de un distrito térmico con un TCO mayor a este valor se muestran en rojo y las

que resultan en un TCO más bajo se muestran en verde.

Usando esta herramienta, el desarrollador del proyecto puede fácilmente visualizar cuáles distritos térmicos (en función de su configuración de capaci-

dad de la central y densidad de clientes) resultarán económicamente viables y elegir un tamaño óptimo para el proyecto, en función de la zona analizada.

El modelo financiero para evaluar un distrito térmico se construye

planeando los flujos de caja futuros del proyecto, para así calcular la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN), el EBITDA y el EBIT. No se presenta en detalle la metodología para construir este modelo financiero, pues no difiere de una evaluación de un proyecto de infraestructura convencional, integrando las inversiones e ingresos ya descritos en capítulos previos.

Es usual que en los primeros dos a cinco años de operación de un distrito térmico, los flujos de caja sean negativos, con lo cual es posible estimar el capital de trabajo requerido para poner el proyecto en marcha. Una gran parte de la inversión inicial se financia directamente con el componente de tarifa de conexión inicial. A medida que se estabiliza la operación, el modelo financiero debería revelar flujos estables y constantes aumentando en el tiempo, alineados con la indexación de las tarifas y de los costos al índice de precios al consumidor (IPC) u otros parámetros de variación incorporados.

Análisis de sensibilidad

Posteriormente a que el equipo de análisis financiero del proyecto construya el modelo, es conveniente realizar un análisis de sensibilidad con el fin de identificar las variables que más afectan la tasa interna de retorno del proyecto y cuantificarlas. Como recomendación, el análisis de sensibilidad debería cuantificar el efecto sobre la tasa

interna de retorno de las siguientes variables:

- Aumento/reducción en la tarifa del servicio y sus tres componentes: conexión, capacidad y consumo.
- Variación en los costos de inversión del distrito térmico.
- Sensibilidad ante el número de clientes conectados con relación a los previstos en la ingeniería conceptual (éxito comercial).
- Variación de precios de los insumos (principalmente electricidad y gas).

- Duración del contrato de venta de energía térmica.

Los resultados del análisis de sensibilidad pueden ser visualizados y analizados gráficamente, con el fin de identificar las variables críticas para lograr el rendimiento financiero deseado para el proyecto y contener los riesgos que estas representan.

A manera de guía, a continuación se presentan algunos ejemplos de un análisis de sensibilidad gráfico de un distrito térmico de enfriamiento ubicado en Bogotá:

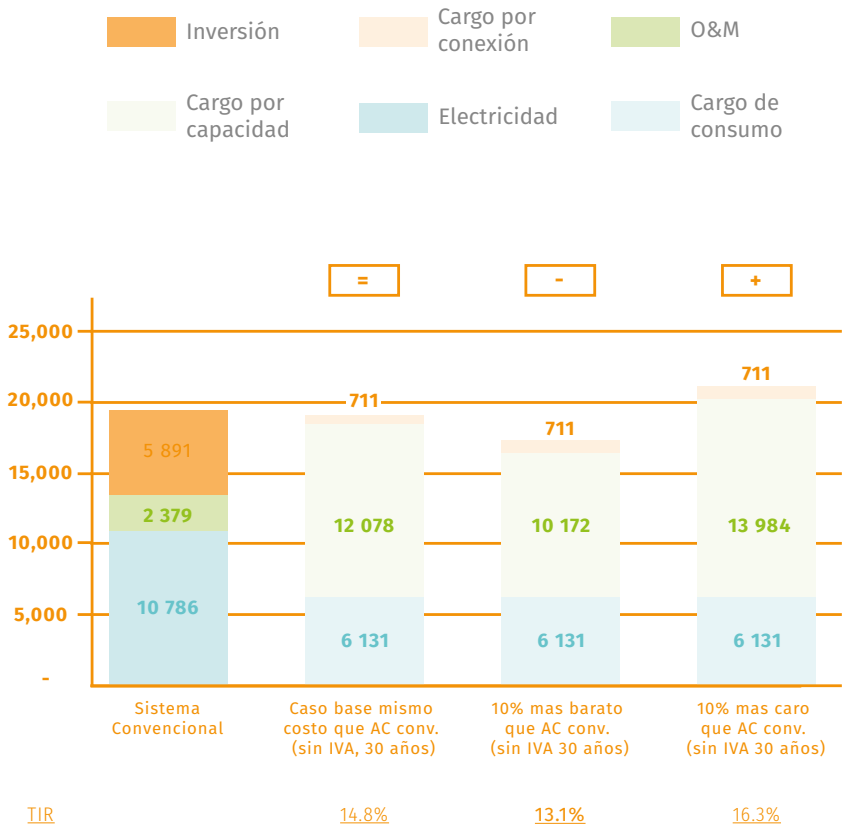


Figura 23. Ejemplo de un análisis de sensibilidad al reducir la tarifa de prestación del servicio frente a costos de un sistema convencional y su impacto en la TIR [USD/TR] en una vida útil de 30 años. Fuente: Inicio-Tractebel (2018 E)

6.5. Marco normativo

Desde hace más de 15 años Colombia ha transitado un largo camino en busca de la eficiencia energética. Este proceso se ve reflejado en la evolución de la Ley 697 de 2001, que establece el uso racional y eficiente de la energía como una de las principales metas de interés social. Esta ley busca, además de sentar un precedente jurídico, generar un impacto positivo en la visión de desarrollo de la sociedad colombiana, mediante la promoción del uso racional y eficiente de la energía con características de sostenibilidad.

Debido a esto, desde el establecimiento de esta ley, el Estado colombiano ha pretendido incentivar y reglamentar el uso más eficiente de la energía. Este esfuerzo se ha materializado en una estructura normativa aplicable a proyectos que impliquen el uso de energía. Este escenario ha sido esencial para el desarrollo y el crecimiento de los distritos térmicos en el país, puesto que se han posicionado como una solución efectiva de doble vía: en materia de eficiencia energética y como herramienta clave en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible.

Es importante resaltar algunas de las normativas con mayor impacto en el uso de la energía, que promueven el desarrollo sostenible en Colombia y son antecedentes de esta nueva visión urbana.

Leyes relevantes



Figura 24. Normas relevantes del uso de la energía y que promueven el desarrollo sostenible.

El Programa de uso racional y eficiente de energía (PROURE), que nació con la Ley 697 de 2001, se ha convertido en una hoja de ruta para el país. Esta herramienta ha permitido la configuración de procesos sostenibles dentro de los proyectos y también ha establecido a los distritos térmicos como una medida de eficiencia energética, además de ser

una alternativa valiosa en materia de sostenibilidad ambiental, específicamente por la eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono y por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este programa funciona por medio del plan de acción indicativo (PAI), puesto que esta es la herramienta del

Estado para promocionar e incentivar el desarrollo de proyectos eficientes. Adicionalmente, este plan también le permite al Gobierno estructurar la forma cómo se va a realizar la distribución de tareas entre las entidades públicas y las diferentes formas de financiamiento de los proyectos.

Normativa referente a la autogeneración y cogeneración

En Colombia toda actividad relacionada con la generación de energía eléctrica y su distribución tiene que estar regulada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. A raíz de esto, los distritos térmicos que tienen componentes de generación eléctrica deben cumplir con ciertas normativas específicas.

Autogeneración

Según la Ley 1715 de 2014, la autogeneración se define como la actividad de generación de energía eléctrica para su propio consumo por parte de personas naturales o jurídicas. Por su parte, la Resolución CREG 030 de 2018 define la autogeneración como aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica, principalmente, para atender sus propias necesidades. Esto quiere decir

que cualquier persona o compañía que tenga la capacidad de generar energía eléctrica se puede amparar en esta norma, solo si el destino de su generación es para su propio consumo. Las principales características de la autorregulación son las siguientes:

- La energía puede ser producida por personas naturales o jurídicas.
- La producción de energía es principalmente para la atención de las propias necesidades.
- La energía, por tanto, se consume en el mismo inmueble en el que se genera.
- Su objeto es el autoconsumo de la energía y no su comercialización a terceros.
- No hace uso de la red de distribución o transporte para destinar la energía a otros usuarios finales.
- Se permite la comercialización de los excedentes de energía según la Resolución CREG 030 de 2018.
- Esta regulación involucra a los distritos térmicos, en la medida

en que, para su funcionamiento, necesitan de una planta generadora de energía ubicada dentro de la central. Esto quiere decir que los sistemas generan la energía que consumen, convirtiéndolos en autogeneradores. Del mismo modo, según la CREG, la energía que se genere y que no sea consumida puede comercializarse de acuerdo con los lineamientos establecidos.

Cogeneración

Según la Resolución CREG 005 de 2010, la cogeneración es el proceso de producción combinada de energía eléctrica y térmica. En este caso, el proceso de generación puede responder al autoconsumo o a la comercialización de la energía, mediante procesos comerciales o industriales. Del mismo modo, como en el caso de la autogeneración, los excedentes en la generación de energía, según el artículo 10 de la Resolución CREG 005, pueden ser comercializados. Dentro de esta misma regulación se establecen los límites mínimos que deben presentarse para que puedan considerarse un proceso de cogeneración.

Normatividad sobre redes de distribución

En la actualidad, debido a la reciente llegada de los distritos térmicos a Colombia, el país no dispone de una normativa específica respecto a la construcción de dichas redes en los entornos urbanos, que consisten en obras en espacios

privados y públicos, por lo que son necesarios los correspondientes permisos.

La normativa que rige la construcción de un distrito térmico es la misma que aplica para cualquier otro proyecto de construcción, por lo que se

debe justificar a partir de la revisión de los POT municipales, las normas referentes a los planes viales, zonas viales de uso público, usos urbanos, expedición de licencias y permisos de urbanización y construcción, y normas de sismorresistencia, entre otras.

Reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas

El Ministerio de Minas y Energía, dando respuesta por su rol como regulador y atendiendo al mandato de ley, así como a lo establecido en su agenda regulatoria, viene desarrollando la fomulación de una propuesta de reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas (RETSIT).

El proceso en curso pretende dar una mejor respuesta a las iniciativas asociadas con los proyectos de Reglamento de instalaciones térmicas en edificaciones (RITE), de reglamento técnico de calderas (RTC) y los posibles servicios de los distritos térmicos.

Se considerarán como aspectos básicos y relevantes para la regula-

ción, principalmente, la seguridad, el desempeño energético, la protección del medio ambiente y el aseguramiento de los requerimientos de los servicios del sistema o instalación. En el mismo sentido se observarán las fases de diseño, construcción, operación, mantenimiento, uso, inspección y disposición final, así como la vigilancia y control de los sistemas e instalaciones térmicas destinados a servicios como ventilación y acondicionamiento de aire, agua caliente sanitaria, para usos humanos, refrigeración y producción de vapor para procesos comerciales e industriales.

La reglamentación tendrá influencia sobre los sistemas, las instalaciones

térmicas y los productos asociados, así como en la labor de profesionales y técnicos en la prestación de servicios térmicos.

Los reglamentos técnicos cuentan con el respaldo de entidades u organismos encargados de procesos de evaluación de conformidad, metrología y acreditación, así como de vigilancia y control. En Colombia, este esquema interinstitucional es denominado SICAL o Subsistema Nacional de la Calidad.

La información sobre el desarrollo del reglamento puede consultarse en www.minenergia.gov.co sección de Energía eléctrica y reglamentos.

6.6. Beneficios tributarios

Además de la normativa que Colombia ha desarrollado para promover el uso más eficiente de la energía, también se han creado una serie de beneficios tributarios que busca incentivar la priorización de la eficiencia energética dentro de la planificación de los proyectos de desarrollo urbano.

Uno beneficio clave es la eliminación del IVA para la compra o importación de cualquier tipo de maquinaria y equipo que vaya dirigido a la realización de proyectos en los que se promueva el uso eficiente de la energía. Estas medidas son impulsadas y verificadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Minas y Energía. La razón por la que ambos ministerios están a cargo de esta tarea es debido a que se analiza si el proyecto le aporta al uso eficiente de la energía en Colombia y, además, si es sostenible ambientalmente.

Estas iniciativas están sustentadas en el artículo 428, literal f, del Estatuto Tributario, así como en el Decreto 1625 de 2016 y el Decreto 1564 de 2017, expedidos por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público; la Resolución 200 de 2017 y el Decreto 1303 de 2018, del Mi-

nisterio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y las Resoluciones 585 de 2017 y 463 de 2018, de la Unidad de Planeación Minero Energética.

Así mismo, “los servicios públicos de energía, la energía y los servicios públicos de energía a base de gas u otros insumos” se encuentran dentro de los servicios excluidos del IVA. Este beneficio está incluido en el artículo 10 de la Ley 1943 de Financiamiento, aprobada en 2018 por el Congreso de la República.

De acuerdo con la Ley 1715 de 2015, reglamentada por el Decreto 2143 de 2015, los inversionistas públicos, privados o mixtos que monten un distrito térmico cuentan con los siguientes beneficios:

- En renta, deducción hasta del 50% del valor de las inversiones, sin que el valor anual para deducir sea superior al 50% de la renta líquida.
- Exclusión del impuesto al valor agregado (IVA) a la compraventa o importación de maquinaria y equipos destinados al desarrollo de proyectos o actividades en el Registro Nacional de Reducción de Gases de Efecto Invernadero.





Oportunidades y futuro de los distritos térmicos en Colombia

Los distritos térmicos se perfilan como la punta de lanza de una nueva concepción de sistemas energéticos urbanos, alineados con nuevos criterios de responsabilidad ambiental que se imponen entre empresarios, inversionistas, academia, sector público y ciudadanos del común.

Para el caso de Colombia son una estrategia clave para el nuevo modelo de economía circular que impulsa el Gobierno nacional, como respuesta a las exigencias cada vez más intensas del calentamiento global.

Hoy entendemos mejor que nunca que las ciudades tienen su propio “metabolismo urbano”. Y los distritos térmicos abren paso a un reaprovechamiento de esfuerzos y energía crucial para un futuro sostenible en nuestras ciudades. Al permitir el agrupamiento de múltiples usuarios bajo

una misma red de distribución, con sensores de monitoreo inteligente que reducen costos de operación y mantenimiento, representan la manera más eficiente de reemplazar viejos equipos de climatización altamente contaminantes. El potencial de crecimiento y las oportunidades de transformación que tiene Colombia son enormes.

La clave para dar este salto de paradigma está en las decisiones conscientes de cada uno a la hora de consumir o emprender proyectos de inversión. El verdadero impacto de los distritos térmicos está directamente ligado al nivel de penetración que tenga en las ciudades colombianas, para lo cual es necesario el involucramiento de todos los actores.

Para concluir, presentamos siete claves imprescindibles para el futuro de los distritos térmicos en Colombia:

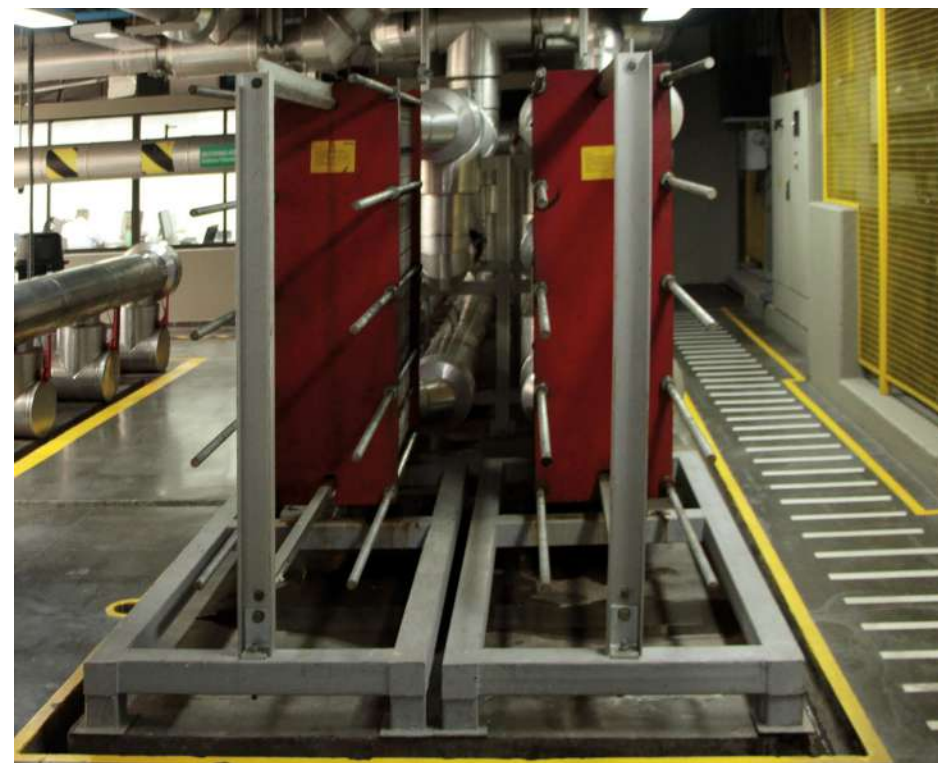
1. Por su tamaño y potencial de crecimiento, el mercado del aire acondicionado en Colombia ofrece enormes posibilidades para una transformación que deje una huella significativa en la reducción de las emisiones de GEI.
2. Al impactar directamente este mercado, los distritos térmicos son engranajes de transformación que cumplen un doble propósito: son más rentables y permiten tener mayor eficiencia energética y ahorrar, al tiempo que contribuyen de forma tangible a la conservación del medio ambiente.
3. Se proyecta que a 2030 habrá un crecimiento promedio de 3,05% anual en el consumo de energía eléctrica en Colombia, según la Unidad de Planeación Minero Energética. El 42% del consumo

total corresponde al sector residencial y el entorno urbano, el 28% al sector terciario y un 27% al sector industrial. La suma de todos los sectores que consumen aire acondicionado indica que, en Colombia, el 8% de la electricidad que se consume se destina exclusivamente a este servicio. El porcentaje de participación del uso de energía eléctrica para el acondicionamiento de aire llegaría hasta un 17,61% en 2030, según estudios desarrollados para la formulación de una acción nacionalmente apropiada de mitigación (NAMA, por su siglas en inglés) para los sectores de aire acondicionado y refrigeración.

4. Los niveles de consumo de energía por cuenta de la climatización y el confort hacen de este un campo prioritario para apostar por la sostenibilidad.

5. De mantenerse las tasas de crecimiento y las condiciones actuales, las emisiones de GEI alcanzarán 7.2 millones de TonCO₂eq en 2030 en el sector de energía eléctrica y 1.6 millones de TonCO₂eq por uso de refrigerantes.
6. Los distritos térmicos abren una oportunidad sin igual para el desarrollo de ciudades y modelos de negocios sostenibles: sirven para reconfigurar las ciudades y renovar la planificación urbana, empleando la eficiencia energética y la protección del medio ambiente como plataforma de partida. Son una respuesta a las crecientes presiones globales que plantea el cambio climático, alineada con el compromiso del país de reducir el 20% de las emisiones de GEI hacia 2030.

7. Los beneficios de los distritos térmicos para Colombia aún están por potenciar y todavía es largo el camino por recorrer. Pero sus exitosas implementaciones en otros países, así como las experiencias pioneras, permiten contar con la certeza de que su impacto produciría un innegable cambio positivo, cuyo alcance todavía está por calcularse. Se puede concluir que de lograrse una alta penetración en el país, los principales ganadores serán los ciudadanos, los usuarios, las empresas y, más importante que todo, el planeta cuando más lo necesita.





Referencias bibliográficas

CAIA Ingeniería. (2016). Documento de análisis de barreras técnicas, financieras, institucionales, comerciales, y normativas para la promoción e implementación de proyectos de distritos térmicos en Colombia. Bogotá.

CAIA Ingeniería. (2016). Procedimiento para la obtención de incentivos tributarios - IVA.

Colombia, Comisión de Regulación de Energía y Gas (2018). Resolución No. 030 de 2018.

Colombia, Congreso de la República. (2014). Ley 1715 de 2014.

Corporación Ambiental Empresarial. (2016). Inventario de consumo y uso de SAO y sustancias alternativas a las SAO en Colombia (Metodología “Top-down”), como mínimo para el periodo 2008 - 2015 y su distribución en los diferentes sectores/subsectores. Bogotá.

EBP. (2018). Manual de desarrollo e implementación de calefacción distrital a partir de energías renovables. Santiago de Chile.

First Climate AG. (2015). Proyectos de refrigeración urbana en Europa y Suiza - Lecciones Útiles para Colombia. Zúrich.

Hinicio - Tractebel. (2017 A). Informe de caracterización de ciudades y selección de las zonas prioritarias para implementación de distritos térmicos. Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2017 B). Identificación de características jurídicas y regulatrias particulares del servicio de energía térmica. Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2017 C). Informe de ruedas de negocio distritos térmicos en Colombia. Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2018 A). Actualización del inventario top-down de chillers en Colombia. Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2018 B). Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2018 C). Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Bucaramanga.

Hinicio-Tractebel. (2018 D). Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Cali.

Hinicio-Tractebel. (2018 E). Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Cartagena.

Hinicio-Tractebel. (2018 F). Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Medellín.

Hinicio-Tractebel. (2018 G). Informe Final de Gestión - Distritos Térmicos Colombia. Bogotá.

Hinicio-Tractebel. (2019 A). Informe Técnico Económico - Montería.

Hinicio-Tractebel. (2019 B). Informe Técnico Económico - Villavicencio.

Hinicio-CAEM. (2018). Ciclo de talleres: Construcción reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas - RETSIT. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 A). Elaboración, Consulta Pública y Apoyo a los Trámites de adopción del reglamento técnico de sistemas e instalaciones térmicas - RETSIT. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 B). Estrategia de Comunicación y Plan Táctico. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 C). Evaluación de la viabilidad jurídica y estimación de impactos asociados a la no causación del impuesto de valor agregado sobre la prestación de energía térmica. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 D). Informe de Resultados del II Congreso Internacional por la Capa de Ozono y el Clima: Distritos Térmicos. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 E). Informe de taller - Distritos Térmicos: ¿Cómo alinear expectativas de la banca, promotores, e inversionistas? Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 F). Lineamientos para viabilizar la implementación de mapas energéticos - Documento de lineamientos base. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 G). Lineamientos para viabilizar la implementación de mapas energéticos - Revisión de experiencias internacionales. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 H). Mecanismos financieros existentes y adaptación de modelo financiero para presentación a la banca comercial. Bogotá.

Hinicio-CAEM. (2019 I). Modelo para la estimación de impactos ambientales y energéticos asociados a la adopción de distritos térmicos en Colombia . MODELO PARA LA ESTIMACIÓN DE.

Hinicio-CAEM. (2019 J). Resultados de la Estrategia de Divulgación. Bogotá.

MGM Innova Group. (2017 A). Formulación de una NAMA para el sector de Aire Acondicionado en Colombia - Análisis del Marco Normativo e Institucional. Medellín.

MGM Innova Group. (2017 B). Formulación de una NAMA para el sector de Aire Acondicionado en Colombia - Estructuración de las áreas de intervención de la NAMA. Medellín.

MGM Innova Group. (2017 C). Formulación de una NAMA para el sector de Aire Acondicionado en Colombia - Identificación y análisis de barreras y retos para la implementación de las acciones, proyectos identificados así como sus soluciones a corto, mediano y largo plazo. Medellín.

MGM Innova Group. (2017 D). Formulación de una NAMA para el sector de Aire Acondicionado en Colombia - Planteamiento de las mejores tecnologías disponibles y acciones para la

eliminación de las Sustancias Agotadoras de la capa de ozono y la reducción de emisiones de GEI. Medellín.

Ministerio de Minas y Energía - Republica de Colombia (2018). Reporte de cobertura nacional de gas natural, primer trimestre de 2018. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética. - Republica de Colombia (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. Bogotá.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - Republica de Colombia (2017). Informe de Diagnóstico de la calidad de servicio de la energía eléctrica en Colombia, mayo 2017. Bogotá.

Unidad de Planeación Minero Energética - Republica de Colombia (2015). Resolución 281 de 2015.

Unidad Técnica de Ozono - Republica de Colombia (2017). Inventario nacional de equipos de refrigeración y aire acondicionado que se importan, producen e instalan en el país, y de las sustancias refrigerantes contenidas en estos. Bogotá.

Universidad Nacional de Colombia. (2016). Caracterizar la oferta y la demanda de servicios de energía térmica en Colombia, y evaluar las opciones técnicas y económicas de sustitución desde la perspectiva de implementación de proyectos de distritos térmicos. Medellín.

World Energy Council. (2013). World Energy Resources: 2013 Survey.



Anexos

9.1. Glosario

- **Autogeneración:** aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica, principalmente, para atender sus propias necesidades. (*Resolución de la CREG 030 de 2018, art. 3*).
- **Autogenerador:** usuario que realiza la actividad de autogeneración. Puede ser o no propietario de los activos de autogeneración. (*Resolución de la CREG 030 de 2018, art. 3*).
- **Autogenerador a gran escala:** autogenerador con potencia instalada superior al límite definido en el artículo primero de la Resolución de la UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya (*Resolución de la CREG 030 de 2018, art. 3*).
- **Cambio climático:** según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables.
- **Cogeneración:** producción combinada de energía eléctrica y térmica que hace parte integrante de una actividad productiva (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).
- **Desarrollo sostenible:** aquel desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, por lo menos en las mismas condiciones de las actuales (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).
- **Eficiencia energética:** es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada por medio de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de

combustibles. Con la eficiencia energética se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normativa vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).

- **Excedente de energía:** es la energía sobrante una vez cubiertas las necesidades de consumo propias, producto de una actividad de autogeneración o cogeneración (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).
- **Fuentes convencionales de energía:** son aquellos recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).
- **Fuentes no convencionales de energía (FNCE):** son aquellos 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. Se consideran fuentes no convencionales de energía a la energía nuclear o atómica y las fuentes no convencionales de energías renovables. Otras fuentes podrán ser consideradas como fuentes no convencionales

de energía, según lo determine la UPME (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).

- **Fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER):** son aquellos 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. Se consideran FNCER a la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER, según lo determine la UPME (*Ley 1715 de 2014, art. 5*).
- **Gases de efecto invernadero (GEI):** son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja (Decreto 926/2017, art. 1.5.5.2.). Los principales GEI son: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃) y vapor de agua.
- **Plan de negocio:** documento escrito que describe en detalle cómo un nuevo negocio va a lograr sus objetivos.
- **Project finance:** consiste en la financiación de proyectos de infraestructura, industriales y de servicios públicos a largo plazo, en el que los créditos o recursos propios usados para financiar el proyecto se pagan a partir del flujo de caja generado.

- **Servicios energéticos:** son todos los servicios técnicos y comerciales que buscan optimizar o mejorar la eficiencia energética de los usuarios finales. Incluirá, entre otros, diseño, estructuración, financiamiento, inversión, operación, mantenimiento y control necesarios para lograr una mejora de la eficiencia energética verificable y medible (*Minenergía, 2016*).
- **TR:** tonelada de refrigeración. Unidad nominal de potencia para medir la demanda o capacidad de enfriamiento.
- **Trigeneración:** uso de un sistema térmico-eléctrico por medio del cual es posible generar tres formas finales de energía: eléctrica, calor (en forma de vapor, aire caliente o agua caliente) y frío.

9.2. Tablas de conversión

Tabla de conversión de unidades de energía

BTU	kWh	MWh	J
1	$2,9 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-7}$	1055,55
3.412,14	1	0,001	3.600.000
3.412.141,48	1000	1	3600.000.000
0,00095	$2,77 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-10}$	1

Tabla de conversión de unidades de potencia

BTU/h	W	HP	TR
1	0,293	$3,9 \times 10^{-4}$	$8,33 \times 10^{-5}$
3,41	1	$1,34 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-4}$
2.546,1	746	1	0,2121
12.000	3516,85	4,714	1





El ambiente
es de todos

Minambiente



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Colombia
Cooperación Económica y Desarrollo (SECO)