

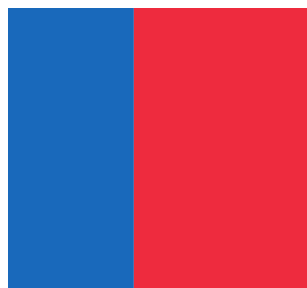
SNI

Sistema Nacional de Inversiones

METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA DISTRITAL

Documento elaborado por la **División de Evaluación Social de Inversiones**

DICIEMBRE, 2025





Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Energía Distrital

División de Evaluación Social de Inversiones.
Subsecretaría de Evaluación Social.
Ministerio de Desarrollo Social y Familia.
Gobierno de Chile.

Documento desarrollado por el Departamento de Metodologías, con la colaboración de la División de Evaluación Social de Inversiones, las Áreas de Inversiones de las Secretarías Regionales Ministeriales de Desarrollo Social y Familia, la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía y la División de Calidad del Aire del Ministerio de Medio Ambiente.

Los contenidos de este documento pueden ser reproducidos en cualquier medio, citando la fuente: Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2025). Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Energía Distrital.



Se debe citar al autor (BY)

Uso no comercial (NC)

No permite derivados o adaptaciones (ND)

Este trabajo está bajo licencia CC BY-NC-ND 4.0. Una copia de esta licencia está disponible en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





FICHA RESUMEN

Nombre Metodología	PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA DISTRITAL		
Sector	Energía		
Subsector	Energía Térmica		
Resumen	La metodología de Proyectos de Energía Distrital (ED) guía la formulación y la evaluación social de iniciativas de infraestructura térmica, dadas su complejidad y su rol en la descontaminación y la eficiencia. El proceso comienza con la identificación del problema de calidad deficiente y/o baja cobertura de soluciones térmicas limpias. La etapa de Formulación requiere la caracterización de la demanda térmica ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{año}$) y la identificación de Clientes Ancla para asegurar la viabilidad del sistema. La Evaluación Social se realiza mediante el Análisis Costo-Beneficio Social. Esta evaluación se centra en la cuantificación y valoración de los beneficios y costos a precios sociales. Los beneficios clave radican en las Externalidades Positivas, principalmente la reducción de las emisiones contaminantes (material particulado, impactando en salud pública) y la disminución del impacto ambiental (gases de efecto invernadero), además de los Costos Evitados por operación y mantenimiento de sistemas individuales. La metodología asegura que el proyecto se justifique por el beneficio neto social, con el criterio de decisión basado en el VAN Social no negativo (≥ 0).		
Proyectos a los que aplica	Proyectos de implementación territorial de Sistemas de Energía Distrital (ED), que corresponden a infraestructuras integradas de generación, distribución y entrega de energía térmica (calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento).		
Marco Regulatorio	- Política Energética Nacional 2050 - Planificación Energética de Largo Plazo - Plan Nacional de Eficiencia Energética - Ley Marco de Cambio Climático (Ley N.º 21.455) - Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA).		
Fuentes de los Principales Datos	- Censo de Población y Vivienda - Encuestas CASEN - Catastros municipales - Mapas de demanda térmica o de calor - Registros administrativos sectoriales (salud, educación, comercio) - Estudios o levantamientos específicos disponibles.		
Principales Beneficios	- Reducción de emisiones contaminantes (Material Particulado - MP) y Gases de Efecto Invernadero (GEI). - Mejoras en la salud pública y Reducción de la pobreza energética. - Ahorro en el gasto energético de los hogares y Ahorro de costos de operación y mantenimiento de sistemas individuales. - Ahorro de espacio por almacenamiento de combustible y sistemas propios de generación.		
Método Valorización Beneficios	Costo Social de la Contaminación Evitada (MP y GEI) y Precios Sociales de Insumos/Costos Operacionales Evitados.	Horizonte de Evaluación (años)	30
Tipo de Análisis	Costo Beneficio		
Indicador 1	Nombre Indicador	Valor Actual Neto Social (VANs)	
	Criterio de Decisión	Alternativa de Mayor Valor Actual Neto Social	
Indicador 2	Nombre Indicador	Tasa Interna de Retorno Social (TIRs)	
	Criterio de Decisión	Tasa Interna de Retorno Social > Tasa Social de Descuento	



I. INTRODUCCIÓN

La presente metodología específica tiene por objetivo guiar la formulación y evaluación social de proyectos de Energía Distrital, en adelante ED, y su presentación al Sistema Nacional de Inversiones (SNI), conforme a la Metodología General para la Preparación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública (versión 2025) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF).

La ED, que contempla los conceptos de calefacción distrital y enfriamiento distrital, en el marco de la presente metodología se entenderá como la generación de energía térmica de manera centralizada y su distribución por medio de tuberías subterráneas para abastecer a decenas o cientos de edificaciones con el servicio de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento, en un área determinada o un distrito, incluyendo en este sistema energías limpias, sostenibles en el tiempo y a precios competitivos.

Este módulo complementario a la Metodología General, que llamaremos Metodología de Energía Distrital, busca entregar detalles técnicos, económicos, sociales para una correcta valorización y evaluación de este tipo de iniciativas. Esta adaptación resulta necesaria dada la complejidad técnica, económica, social y normativa que caracteriza a este tipo de iniciativas, cuyo desarrollo en Chile es aún incipiente, pero altamente prioritario por sus implicancias en salud pública, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental y energética, así como por el potencial que presentan diversas regiones del país, especialmente aquellas con climas fríos, alta concentración urbana y problemas de calidad del aire asociados.

El impulso a la Energía Distrital se sustenta en una serie de políticas públicas e instrumentos normativos que respaldan su pertinencia y urgencia. Entre los principales instrumentos que respaldan esta línea de acción se encuentran:

- La Política Energética Nacional 2050 y la Planificación Energética de Largo Plazo, que proponen la implementación de proyectos para alcanzar al menos 500.000 viviendas o establecimientos conectados a redes de energía distrital al año 2050.
- El Plan Nacional de Eficiencia Energética, que plantea avanzar en la regulación e implementación de proyectos piloto.
- La Agenda de Energía 2022–2026, que promueve soluciones de calefacción limpia y resiliente, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad energética.
- La Estrategia de Calor y Frío, que aborda la problemática del sector de calefacción, climatización y enfriamiento en edificaciones.
- La Ley Marco de Cambio Climático (Ley N.º 21.455), que establece la meta de carbono neutralidad al año 2050, incluyendo la transición térmica en el sector residencial como uno de sus ejes estratégicos.
- Los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), aplicados en diversas ciudades y zonas del centro-sur del país, que buscan disminuir el uso de leña y fomentar el reemplazo por alternativas térmicas más limpias.



- El Plan Nacional y los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en Ciudades, que promueven infraestructura urbana sostenible, con énfasis en la eficiencia energética.
- La normativa sectorial y urbanística vigente, que viabiliza jurídicamente estos proyectos mediante asociaciones público-privadas, permite el uso de bienes nacionales de uso público y compatibiliza los proyectos con los instrumentos de planificación territorial, entre otros.

El camino de promover la energía distrital a través de las distintas políticas públicas asociadas al ámbito energético, ambiental y de cambio climático, se fundamenta por los extensos beneficios que ha demostrado esta alternativa tecnológica en diferentes países, donde ya da cuenta de miles de proyectos en operación en sus más de 150 años de desarrollo, donde incluso ciudades completas están conectadas a redes de energía distrital. Así, es posible reconocer beneficios como un aumento de la eficiencia energética global, por el reemplazo de artefactos o equipos individuales con equipos modernos que tienen una operación optimizada, lo que hace tener menos consumos energéticos para el conjunto de personas usuarias. Mientras la producción térmica en este tipo de sistemas opere con energías renovables, reemplazando el uso de combustibles fósiles y otros combustibles que pueden ser contaminantes por su mal uso, y debido a que la misma planta térmica posee equipos de control de emisiones, se produce una disminución de las emisiones de contaminantes locales y también de Gases de Efecto Invernadero. Además, el uso de energías renovables puede propiciar el uso de recursos energéticos locales, dinamizando otros mercados. Asimismo, es posible contribuir a la superación de la pobreza energética dada la provisión de calor o frío de manera constante, con altas condiciones de confort térmico y comodidad, así como precios competitivos en comparación con los sustitutos, lo que facilita el acceso a energía de calidad. Finalmente, producto de los impactos ambientales, incluso visuales, de la contaminación local o la presión sobre los recursos naturales para la producción de combustibles para calefacción, la energía distrital permite mejorar estas condiciones al limpiar las ciudades y eliminar la presión sobre el bosque, en particular el caso de las zonas con altos consumos de leña.

En este contexto, resulta clave incluir la posibilidad de desarrollar proyectos que incluyan, no solo al sector residencial, sino también a grandes consumidores como hospitales, escuelas, universidades, centros comerciales u otros que, por su alta y constante demanda térmica, pueden desempeñar el rol de clientes ancla, aportando a la viabilidad técnica y económica de los sistemas, especialmente en sus fases iniciales.

Por ello, los proyectos de Energía Distrital requieren una metodología de evaluación social que reconozca y valore estos atributos en los procesos de toma de decisiones sobre inversión pública.



1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR ENERGÍA DISTRITAL

La Energía Distrital (ED) corresponde a la generación de energía térmica de manera centralizada y su distribución por medio de tuberías subterráneas para abastecer a decenas o cientos de edificaciones con el servicio de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento, en un área determinada o un distrito. Este tipo de sistemas, ampliamente difundido en Europa, Asia y algunos países de América del Norte, incluso en países del Caribe y América Latina ha demostrado ser una solución eficiente, escalable y ambientalmente responsable frente a las tecnologías individuales de calefacción residencial.

En el marco de esta metodología, se utilizan tres conceptos clave:

- **Sistema ED:** la infraestructura integrada de generación, distribución y transferencia de energía térmica, para el abastecimiento de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento a un conjunto de edificaciones.
- **Proyecto ED:** la iniciativa específica que planifica, diseña e implementa un Sistema ED en un territorio determinado.
- **Institucionalidad ED:** el conjunto de actores, regulaciones, políticas públicas y tecnologías involucradas en el desarrollo de este tipo de soluciones energéticas.

En el caso chileno, la ED se presenta como una alternativa integral a múltiples desafíos estructurales: los altos niveles de contaminación atmosférica en ciudades del sur del país —derivados principalmente del uso intensivo de leña para calefacción—, la necesidad de mejorar la eficiencia energética en el sector residencial, comercial, público y productivo y el compromiso con la descarbonización progresiva del sistema energético. Adicionalmente, los proyectos de ED permiten diversificar la matriz energética a través de fuentes como biomasa, electricidad, geotermia, energía solar o calor residual, lo que otorga al sistema una alta flexibilidad técnica y resiliencia frente a variaciones de precios o condiciones regulatorias.

Un sistema de energía distrital se compone de cuatro elementos principales:

1.1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA

Corresponde al proceso para producir energía térmica que suele darse en una central térmica o planta térmica que puede operar con diversas fuentes de energía como biomasa, gas natural, energía solar, electricidad (mediante bombas de calor), geotermia o calor residual de procesos industriales, entre otros. Esta componente incluye, entre otros elementos técnicos, los siguientes equipos:

- Equipos de generación térmica como calderas o bombas de calor.
- Intercambiadores de calor.
- Sistemas de control o abatimiento de emisiones.
- Chimeneas, estanques de inercia, silos de almacenamiento.
- Válvulas, bombas y sistemas de control.





1.1.2. DISTRIBUCIÓN

La energía térmica generada es transportada y distribuida mediante tuberías preaisladas soterradas desde la central térmica hasta las edificaciones finales, donde circula por ellas agua caliente o agua fría, según el servicio que se esté brindando. Las tuberías se despliegan en la ciudad atravesando calles, aceras, parques y en general Bienes Nacionales de Uso Público, según se defina el trazado subterráneo. Este componente incluye, entre otros elementos técnicos, los siguientes equipos:

- Tuberías que conforman la red de energía distrital, las que dependiendo de la cantidad de energía que transportan, se dividen en red primaria de distribución (ida y retorno), redes secundarias o terciarias.
- Bombas de circulación.
- Válvulas y sensores de control.
- Cámaras de chequeo, control y mantenimiento.
- Elementos para expansión futura del sistema.

1.1.3. INSTALACIONES PARA LA CONEXIÓN DE USUARIAS Y USUARIOS

La energía térmica que circula por la red de energía distrital es captada por diferentes edificaciones a través de un proceso de transferencia de energía que se da en una estación de transferencia, donde se aprovecha la energía térmica desde la red de energía distrital en terreno público hasta la red interna de distribución al interior de cada edificación. Las edificaciones que se conectan a la red obtienen la entrega del servicio de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento. Este componente incluye, entre otros elementos técnicos, los siguientes equipos:

- Intercambiadores de calor para agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y/o enfriamiento.
- Medidores de energía térmica.

1.1.4. INSTALACIONES AL INTERIOR DE LA EDIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DISTRITAL

- Tuberías internas en el edificio que distribuyen la energía térmica a los diferentes espacios que se quieren acondicionar.
- Equipos terminales (radiadores, losa radiante, fan coils, reguladores de temperatura, termostatos, entre otros).



1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

La evaluación social de proyectos tiene por finalidad determinar la conveniencia de asignar recursos públicos a una determinada iniciativa de inversión, en función de su rentabilidad social, con independencia de su modalidad de ejecución —ya sea pública, privada o a través de esquemas de concesión—. En el marco del Sistema Nacional de Inversiones de Chile, se emplea el análisis costo-beneficio social, que contempla los efectos económicos, sociales y ambientales del proyecto sobre el bienestar de la sociedad en su conjunto.

En el caso de los proyectos de ED, la evaluación debe incorporar beneficios y/o externalidades positivas como la reducción de emisiones contaminantes, mejoras en la salud pública, ahorro en el gasto energético de los hogares, aumento en la disponibilidad de espacios domésticos, entre otros, que no suelen ser considerados en decisiones de mercado. Asimismo, es necesario estimar de forma adecuada los costos de inversión (o reinversión), operación y mantenimiento de infraestructuras complejas, como las redes térmicas urbanas y las plantas generadoras de energía térmica.

1.3. OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA PRESENTE METODOLOGÍA

La presente metodología tiene como objetivo entregar lineamientos técnicos y económicos para la formulación y evaluación social de iniciativas de energía distrital. Está orientada a apoyar a quienes formulan y evalúan proyectos dentro del Sistema Nacional de Inversiones en la incorporación de este tipo de sistemas, garantizando una adecuada evaluación de alternativas y una valoración completa de sus impactos.

Entre sus características principales, esta metodología:

- Considera los beneficios directos, los beneficios indirectos y las externalidades asociados a un Proyecto de ED.
- Propone métodos de cuantificación y valorización adecuados al contexto chileno.
- Establece lineamientos para caracterizar la demanda energética, seleccionar tecnologías y definir la situación base.
- Incluye orientaciones para el uso de precios sociales y herramientas de cálculo estandarizadas.

Con esta metodología se busca fomentar una evaluación rigurosa y coherente con los principios de eficiencia y equidad en el uso de recursos públicos, habilitando así el desarrollo de soluciones energéticas urbanas sostenibles y de alto impacto social.



1.4. PARTICULARIDADES DEL CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS DE ENERGÍA DISTRITAL

Los proyectos de Energía Distrital (ED) presentan un ciclo de vida estructurado, al igual que otros tipos de proyectos presentados al Sistema Nacional de Inversiones, en tres fases: Preinversión, Inversión y Operación. No obstante, su implementación incorpora particularidades relevantes, tales como la alta intensidad de inversión, una estructura modular de desarrollo, la incorporación progresiva de viviendas, edificaciones o establecimientos y la necesidad de varios años de operación para recuperar el capital inicial.

Este ciclo se compone de las siguientes fases principales:

1.4.1. FASE DE PREINVERSIÓN

Comprende los estudios de perfil, prefactibilidad y factibilidad, en los que se realiza el levantamiento de la demanda térmica, el análisis de alternativas tecnológicas, fuentes energéticas disponibles, el diseño del trazado de red y una evaluación financiera preliminar para determinar su viabilidad económica. La coordinación entre instituciones públicas, potenciales usuarios y usuarias, y otros actores relevantes —como municipios, servicios públicos y entidades privadas— es fundamental para definir el modelo de administración, entendido como la gobernanza o alianzas público-privadas que se puedan generar, así como el marco regulatorio que permite el desarrollo de la actividad. Asimismo, se debe definir el modelo de negocios, el cual contiene las condiciones de venta y estructura tarifaria a las cuales se ofrecerá el servicio.

1.4.2. FASE DE INVERSIÓN

Incluye el diseño de ingeniería de detalle, la estructuración de contratos para construcción y operación, y la definición de mecanismos de financiamiento, que pueden ser públicos, concesionales o mixtos. Posteriormente, se ejecuta la construcción de la central térmica, el tendido de redes soterradas, las estaciones de transferencia y las conexiones domiciliarias. Esta fase requiere una inversión significativa y una planificación secuencial, priorizando sectores con alta densidad de demanda térmica —es decir, una elevada concentración de viviendas y establecimientos conectados y altos consumos de energía— para maximizar la eficiencia y reducir los costos por persona usuaria.

1.4.3. FASE DE OPERACIÓN

Una vez en funcionamiento, el sistema permite la incorporación progresiva de nuevos y nuevas usuarias. Esta etapa exige una gestión técnica eficiente, mantenimiento continuo y una estructura tarifaria sostenible, equitativa y competitiva frente a los sistemas individuales existentes y los sustitutos. Además, contempla el monitoreo de indicadores técnicos, económicos y ambientales, así como posibles mejoras tecnológicas, expansiones del sistema y la eventual renovación de componentes al final de su vida útil.



Una característica distintiva de los proyectos de ED es su larga vida útil, que puede variar entre 30 y 50 años. Esto exige decisiones de inversión con visión de largo plazo, considerando los efectos acumulativos en salud, emisiones y ahorro energético. Asimismo, su flexibilidad tecnológica permite incorporar nuevas fuentes de calor a medida que el sistema evoluciona o a raíz de exigencias medioambientales, lo que exige concebir estos proyectos como plataformas dinámicas y adaptativas.

II. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROYECTADA

2.1. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Los proyectos de Energía Distrital abordan un conjunto de problemas complejos vinculados a la provisión de energía térmica en zonas urbanas. La identificación del problema se debe realizar considerando las características locales del territorio, pero respetando una estructura lógica que permita reconocer la necesidad de intervención pública.

Esta intervención puede surgir tanto de la necesidad de resolver una situación problemática actual, como de la existencia de una oportunidad de mejora que permita generar beneficios sociales netos. En el primer caso, el foco está en mitigar efectos negativos ya existentes; en el segundo, en aprovechar condiciones favorables para implementar soluciones más eficientes, equitativas y sostenibles, incluso cuando el estado actual no sea crítico. Para estos fines, el diagnóstico debe realizarse con un mandato de equidad social y de género, asegurando que el problema, las causas y los efectos visibilicen las brechas asociadas al uso y acceso a la energía térmica (pobreza energética, exposición a contaminantes y carga de trabajo no remunerado). La formulación debe identificar los siguientes elementos:

- **Problema central:** situación negativa actual que enfrentan las personas en relación con el acceso, calidad, costo o impactos derivados de las soluciones térmicas actualmente disponibles para calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria. Es posible asociar el problema a elementos como: aprovechamiento de una tecnología sustentable para calefacción y enfriamiento del ambiente al interior de las edificaciones; reducir la contaminación ambiental; desarrollar ciudades con servicios integrados a precios competitivos y sustentables versus servicios individuales de cada edificación, entre otros.
- **Causas directas e indirectas:** factores que originan o contribuyen al problema, como la dependencia de combustibles fósiles, uso de tecnologías contaminantes, patrones de uso y tecnologías insuficientes, alta disponibilidad de combustibles de baja calidad, escasez de combustibles limpios, barreras económicas para acceder a soluciones limpias, o falta de planificación energética integrada. También se incluyen dificultades de articulación entre instrumentos territoriales y planificación energética, así como la falta de infraestructura habilitante para sistemas térmicos colectivos.



- **Efectos:** consecuencias del problema sobre la salud de la población, el medioambiente, el gasto público, los altos costos para la comunidad por concepto de calefacción y refrigeración, o la calidad de vida urbana.

A través de esta estructura lógica de análisis del problema —que considera el problema central, sus causas y efectos— se debe visualizar cómo un sistema de ED podría responder a problemas como:

- Mala calidad del aire en una localidad específica, entre cuyas causas podría estar el uso intensivo y en malas condiciones de leña para satisfacer las necesidades de calefacción.
- Alta contaminación intradomiciliaria posiblemente derivada del uso de leña, gas o kerosene.
- Alta emisión de gases de efecto invernadero debido posiblemente al uso de combustibles fósiles.
- Costos energéticos elevados cuando entre sus causas estén la ineficiencia y falta de regulación.
- Brechas sociales en el acceso a soluciones térmicas modernas, manifestadas en desigualdades según nivel socioeconómico, localización o tipo de vivienda.

La aplicación de este análisis causa - efecto permite justificar la intervención pública y orientar la formulación del proyecto hacia una solución coherente con los principios de eficiencia, equidad y sustentabilidad que rigen el Sistema Nacional de Inversiones.

2.2. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ÁREA DE INFLUENCIA

En el marco del análisis de un problema de acceso, calidad o impacto de la provisión y uso de energía térmica con fines de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento, la delimitación del área de estudio constituye un paso esencial para comprender la magnitud, distribución y características del fenómeno diagnosticado.

El **área de estudio** se define como el territorio en el cual se manifiestan las principales condiciones que dan origen al problema o brecha identificada, y donde residen los grupos sociales potencialmente afectados por sus causas y consecuencias. Esta delimitación permite contextualizar el diagnóstico, establecer relaciones causales, dimensionar su impacto y orientar el análisis de soluciones pertinentes.

Para su identificación se debe considerar variables técnicas, sociales, territoriales y normativas, tales como:

- Variables climáticas como temperatura, radiación solar, precipitación, entre otras, que permiten determinar los niveles de demanda de energía térmica para calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria, de diferentes usuarios y usuarias residenciales y no residenciales.





- Niveles y patrones de consumo de los combustibles y energéticos usados para calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria.
- Disponibilidad y accesibilidad de fuentes energéticas locales para satisfacer la demanda de energía térmica.
- Niveles de contaminación atmosférica local de contaminantes relacionados con el uso de energía térmica, así como la existencia de planes de descontaminación atmosférica u ordenanzas locales pertinentes.
- Composición demográfica y distribución de la población.
- Tipología de vivienda y nivel de desempeño energético del parque construido.
- Uso del suelo, zonificación e instrumentos de planificación territorial vigentes.
- Existencia y estado de la infraestructura urbana relevante.
- Factores de vulnerabilidad social, incluyendo pobreza energética y exclusión territorial.
- Caracterización de edificaciones no residenciales con alta demanda térmica, como hospitales, universidades u otros equipamientos urbanos de escala, y su nivel de desempeño energético, demanda energética y consumo de combustibles y energéticos.

El levantamiento de esta información puede, en algunos casos, permitir una redefinición del problema originalmente planteado, ya que el diagnóstico territorial ofrece evidencia empírica más detallada sobre sus causas, magnitud o población afectada. Por ello, se reconoce que existe una relación iterativa entre la identificación del problema y la caracterización del área de estudio.

Se debe incorporar información desagregada por sexo, edad, tipo de hogar y tipo de usuario (residencial, servicios públicos, comercio, etc.), u otras variables que permitan captar diferencias en las condiciones de acceso y exposición a la problemática energética, así como en las capacidades de respuesta de la población. Esta perspectiva contribuirá a visibilizar brechas en las condiciones de acceso, la exposición a la problemática energética y los patrones de uso de energía asociados a roles de género.

Asimismo, se debe considerar la identificación de potenciales clientes ancla, es decir, usuarios o usuarias institucionales con consumo de energía térmica significativa y estable, cuya participación podría aportar viabilidad técnica y económica a los sistemas de Energía Distrital desde sus etapas iniciales.

La descripción del área de estudio debe presentarse mediante insumos gráficos y estadísticos —como mapas temáticos, perfiles socio-demográficos, indicadores de calidad del aire, entre otros— que respalden la caracterización realizada y faciliten su utilización en las etapas posteriores del análisis.

Este ejercicio constituye la base empírica para validar o ajustar la definición del problema y, posteriormente, para analizar alternativas que respondan de manera eficaz y pertinente al contexto identificado.



Complementariamente, el **área de influencia** de cada alternativa de proyecto, el territorio o espacio geográfico en el cual se producen los impactos esperados de la intervención, tanto positivos como negativos. En los proyectos de ED, esta área puede incluir:

- Las zonas directamente beneficiadas con el suministro térmico.
- Sectores donde se espera una reducción en la contaminación ambiental.
- Áreas con impactos económicos asociados, como empleo local o dinamización del mercado energético.
- Ámbitos institucionales o territoriales donde se modifican las dinámicas de planificación energética o regulatoria.

El Área de Influencia puede coincidir con, o ser un subconjunto del Área de Estudio, y su identificación es clave para el análisis de beneficios y costos sociales del proyecto, así como para la evaluación ambiental y de riesgos. Este enfoque territorial, coherente con la Metodología General del Sistema Nacional de Inversiones (2025), permite reconocer y valorar adecuadamente los efectos esperados del proyecto más allá del perímetro de intervención directa.

2.3. ANÁLISIS DE POBLACIÓN

En el contexto de proyectos de Energía Distrital, es fundamental distinguir entre usuarios residenciales y no residenciales, ya que su caracterización, necesidades energéticas e impactos asociados difieren significativamente. No obstante, es necesario tener a la vista la clasificación de población de la metodología general, para una mejor caracterización.

Usuarios o usuarias residenciales: corresponden a la población que habita en viviendas particulares, tanto unifamiliares como colectivas. Su análisis requiere integrar aspectos cuantitativos y cualitativos, tales como:

- Tamaño y distribución de la población en el área de influencia.
- Características demográficas como edad, sexo, composición de hogares.
- Condiciones socioeconómicas como el nivel de ingresos, ocupación, tenencia de la vivienda.
- Condiciones de habitabilidad y vulnerabilidad energética como el tipo de construcción, aislamiento térmico, medios de calefacción o enfriamiento actuales.
- Acceso a servicios básicos y exposición a contaminación intradomiciliaria y atmosférica.
- Patrones de uso de la energía: como los horarios de uso de sistemas de calefacción, enfriamiento o agua caliente sanitaria, de tal forma de obtener un perfil de la persona usuaria.
- Consumo y demanda de energía diferenciada por energéticos y combustibles, para calefacción, agua caliente sanitaria y enfriamiento.



Usuarios no residenciales: incluyen edificios y establecimientos con alta demanda térmica, como hospitales, centros de salud, establecimientos educacionales, edificios públicos, comercio, servicios y otros equipamientos urbanos. Su inclusión es clave para evaluar la viabilidad técnica y económica del Sistema de Energía Distrital. Su caracterización debe considerar indicadores como:

- Tipología y uso del establecimiento.
- Superficie construida y requerimientos energéticos térmicos (calefacción, ACS, climatización).
- Tamaño de la población usuaria (ej. número de pacientes atendidos, matrícula escolar, volumen de atención al público).
- Programa de uso del recinto (horarios de atención o de funcionamiento, tipo de población por horarios, tipo de atención, etc.).
- Potencial de funcionamiento como cliente ancla por su demanda constante y significativa.
- Patrones de uso de la energía: como los horarios de uso de sistemas de calefacción, enfriamiento o agua caliente sanitaria, de tal forma de obtener un perfil de usuario.
- Sistemas actuales para suplir la necesidad de calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria, equipos de generación y de distribución.

Para ambos tipos de usuarios, se recomienda el uso de datos provenientes del Censo de Población y Vivienda, encuestas CASEN, catastros municipales, mapas de demanda térmica o de calor, registros administrativos sectoriales (salud, educación, comercio), y otros estudios o levantamientos específicos disponibles, con el mayor nivel de actualización posible. La información debe estar desagregada territorialmente y, cuando sea posible, por sexo, edad y otras variables que permitan identificar desigualdades relevantes. Se debe indicar explícitamente los documentos consultados y a qué año corresponden.

Este análisis también debe identificar la presencia de grupos que enfrentan barreras adicionales para acceder a soluciones energéticas adecuadas, como personas mayores, mujeres cuidadoras principales, personas en situación de discapacidad o pertenecientes a pueblos originarios.

El objetivo de analizar la población no es solo cuantificarla, sino comprender cómo las condiciones energéticas actuales afectan su calidad de vida, salud, gasto familiar o desempeño institucional. Esta perspectiva permite sustentar con mayor solidez la relevancia social del proyecto y orientar el diseño de soluciones equitativas e inclusivas.

Finalmente, este análisis debe entenderse como parte de un proceso iterativo, donde los hallazgos pueden aportar nuevos elementos para redefinir el problema, ajustar la delimitación territorial o precisar los grupos beneficiarios del proyecto.



2.4. ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

La estimación de la demanda térmica constituye un componente esencial en la formulación de proyectos de Energía Distrital (ED), pues permite dimensionar adecuadamente la producción de energía térmica, las redes y en general el funcionamiento completo del sistema, así como evaluar su viabilidad técnico-económica y definir estrategias de implementación progresiva. Este ejercicio busca cuantificar, de forma espacial y temporalmente desagregada, los requerimientos energéticos asociados a calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y eventualmente enfriamiento, en el área de estudio definida.

2.4.1. OBJETIVO DE LA ESTIMACIÓN DE DEMANDA

El objetivo principal es determinar la demanda de energía térmica para satisfacer necesidades de calor o frío en el área de estudio, según los requerimientos de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento de un conjunto de usuarias y usuarios finales.

Para ello, se deberá estimar la magnitud expresada en kWh/año, el perfil temporal de uso y la distribución territorial de la demanda térmica dentro del área de estudio expresada en unidades como kWh/m²-año, distinguiendo además los distintos usos finales (calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento) y tipos de usuarios (residenciales y no residenciales).

Es necesario considerar una proyección de la demanda para el horizonte de evaluación del proyecto, por lo que se deberá tener en consideración, principalmente, factores como las variables demográficas, el crecimiento de las viviendas y edificaciones y factores climáticos, entre otros.

2.4.2. VARIABLES RELEVANTES PARA LA ESTIMACIÓN

La estimación de demanda debe considerar al menos los siguientes elementos:

- Variables climáticas locales: temperatura, humedad relativa u otras, con un nivel de desagregación que permitan ser utilizadas para usar herramientas o metodologías para el cálculo de demanda térmica.
- Características del parque edificado: tipo de construcción, año de edificación, superficie habitable, nivel de aislamiento térmico y tipo de sistema de calefacción, agua caliente sanitaria y enfriamiento existente.
- Energéticos y combustibles: tipos de combustibles o energéticos usados actualmente en calefacción, agua caliente sanitaria y enfriamiento acorde a las tecnologías usadas.
- Densidad y distribución de población: diferenciando entre zonas de alta, media y baja densidad urbana.
- Comportamiento de las personas usuarias: hábitos de calefacción, horarios de uso, percepciones sobre confort térmico, etc.
- Variables económicas: catastro de precios actuales de los energéticos y combustibles usados para satisfacer la demanda térmica actual. Evolución de los precios y



comparaciones de los sustitutos. Impacto de los gastos en calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento en el presupuesto familiar.

La estimación de la demanda térmica deberá considerar brechas de género y otras desigualdades estructurales, integrando datos desagregados por sexo, edad, composición del hogar y situación de discapacidad cuando estén disponibles. Esta perspectiva permite identificar diferencias en el acceso y uso de la energía, así como impactos diferenciados en la salud, el gasto energético y las condiciones de confort térmico, especialmente en hogares liderados por mujeres, personas mayores, cuidadoras principales o personas en situación de vulnerabilidad.

2.4.3. METODOLOGÍAS RECOMENDADAS

Se sugiere emplear metodologías híbridas, que integren enfoques bottom-up (uso de información detallada sobre edificaciones y hogares) y top-down (a partir de consumos agregados, encuestas nacionales u otras fuentes macro). Entre ellas:

- Modelos termo-constructivos por tipología de vivienda (simulación energética).
- Estimaciones por coeficientes de demanda térmica específicos ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$).
- Cálculo de carga térmica puntual para edificaciones institucionales.
- Uso de herramientas de georreferenciación y sistemas de información territorial (SIG).
- Encuestas de consumos energéticos.

Es recomendable cotejar la información de modelaciones y simulaciones energéticas con datos de consumos reales para ajustar los modelos y contar con información más precisa.

2.4.4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

La proyección de la demanda debe contemplar:

- Crecimiento demográfico y expansión urbana proyectada.
- Normativas futuras de eficiencia energética y evolución del parque construido.
- Transformaciones en los hábitos de consumo energético.
- Cambios en la cobertura y calidad de servicios públicos urbanos.
- Evolución de los precios.

El horizonte de proyección de la demanda debe considerar los mismos años de evaluación del proyecto. Se recomienda modelar escenarios alternativos (conservador, intermedio y optimista), especialmente en contextos urbanos dinámicos o con alta incertidumbre sobre la evolución de la demanda.

2.4.5. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados de este análisis pueden presentarse mediante mapas de calor (heat maps), curvas de demanda horaria y estacional, y descripciones detalladas de los patrones de consumo térmico, diferenciados según tipo de uso (residencial, institucional, comercial, entre otros) y



características de las personas usuarias. Se recomienda expresar la demanda en unidades como kWh/m²·año, lo cual permitirá compararla directamente con la oferta térmica del sistema.

Asimismo, se deben identificar zonas con alta concentración de demanda térmica, que puedan ser priorizadas en las fases iniciales del sistema, especialmente aquellas donde existan instituciones capaces de operar como clientes ancla.

2.5. ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA OFERTA

El análisis de la oferta de energía térmica en el área de estudio tiene por objetivo identificar las fuentes energéticas actualmente disponibles para la provisión de calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria, caracterizar sus condiciones técnicas, económicas y ambientales, y proyectar su evolución esperada en ausencia de una intervención pública o privada. Esta etapa es clave para evaluar la pertinencia del proyecto, cuantificar su impacto y construir la situación base optimizada.

2.5.1. OBJETIVO DEL ANÁLISIS DE OFERTA

La estimación de la oferta de energía térmica tiene por objetivo identificar las fuentes energéticas o combustibles actualmente disponibles para satisfacer las necesidades de calor o frío en el área de estudio, según los requerimientos de calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento.

Busca establecer cuánta energía térmica es actualmente provista, por qué medios, a qué costos y con qué niveles de cobertura, eficiencia y emisiones, con especial énfasis si la oferta de combustibles es fósil. Además, permite identificar barreras o restricciones en la expansión o sostenibilidad de las fuentes existentes, y anticipar la evolución probable del sistema energético local si no se implementa una solución de Energía Distrital.

2.5.2. COMPONENTES A CONSIDERAR

La estimación de la oferta debe incluir al menos los siguientes elementos:

- Fuentes de energía utilizadas: leña, gas licuado, gas natural, electricidad, kerosene, biomasa procesada, entre otros.
- Mercado de energéticos: proveedores de los diferentes combustibles que se usan.
- Caracterización de equipamiento presente: estufas, calefactores, calderas individuales, termos eléctricos, sistemas solares térmicos, bombas de calor, etc.
- Condiciones de acceso y cobertura: proporción de viviendas y edificaciones con acceso efectivo a servicios térmicos, incluyendo costos económicos y barreras físicas.
- Eficiencia energética: desempeño de los sistemas existentes en términos de consumo por unidad de servicio térmico entregado.



- Emisiones: niveles de emisiones contaminantes locales, globales (Gases de Efecto Invernadero) e intradomiciliarias, según tecnologías específicas.
- Aspectos sociales y de equidad: diferencias en el acceso, calidad del servicio y gasto energético según tipo de hogar, condición socioeconómica, género u otros factores relevantes, como el cultural.
- Normativa y subsidios existentes: restricciones de uso, programas estatales de recambio tecnológico, bonificaciones a energéticos como el gas, leña o electricidad, entre otros.
- Variables económicas: catastro de precios actuales de los energéticos y combustibles usados para satisfacer la demanda térmica actual. Evolución de los precios.

2.5.3. PROYECCIÓN DE LA OFERTA SIN INTERVENCIÓN

Se debe proyectar la evolución esperada de esta oferta en el horizonte de evaluación, considerando:

- Tendencias en la sustitución de tecnologías y combustibles.
- Evolución de los precios de los combustibles y energéticos.
- Cambios normativos o en subsidios que podrían modificar la estructura de costos o incentivos.
- Evolución del parque habitacional y condiciones de aislamiento térmico.
- Cambios en el comportamiento de las personas usuarias ante aumentos de precio o disponibilidad energética.
- Externalidades persistentes, como contaminación, gasto energético excesivo o efectos en mortalidad y morbilidad de la población.

Esta proyección permite construir la situación sin proyecto (*baseline*), contra la cual se evaluarán los costos y beneficios de la implementación de un sistema de Energía Distrital.

2.5.4. RESULTADOS ESPERADOS

El análisis debe culminar con una descripción clara y sustentada de la oferta térmica actual y su proyección, pudiendo incluir:

- Mapas de oferta de energéticos y combustibles.
- Caracterización de equipos y tecnologías para calefacción, agua caliente sanitaria y/o enfriamiento.
- Indicadores de cobertura, costo promedio, intensidad de uso y emisiones por fuente, expresados en unidades como kWh/m²-año, costo promedio por kWh, o toneladas de CO₂ equivalente, según corresponda.
- Gráficos comparativos de evolución proyectada en distintos escenarios (tendencial, normativo, subsidios).





Este diagnóstico será esencial para determinar el déficit y diseñar una solución que lo aborde eficientemente.

2.6. ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DEL DÉFICIT

La estimación del déficit constituye una etapa clave en el diagnóstico de problemas públicos. De acuerdo con los lineamientos establecidos en las metodologías oficiales del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), esta etapa corresponde a la identificación de la brecha existente entre la demanda proyectada y la oferta efectiva de servicios, en este caso, de energía térmica. El déficit puede expresarse en unidades de energía (por ejemplo, kWh/año) o como proporción de población o edificaciones cuya demanda no está siendo cubierta adecuadamente.

En este contexto, el déficit puede definirse como la porción de la demanda térmica que no es cubierta de manera adecuada por los sistemas existentes, considerando criterios de eficiencia energética, asequibilidad, sostenibilidad ambiental y cobertura universal.

2.6.1. COMPARACIÓN ENTRE DEMANDA Y OFERTA

A partir de la estimación de la demanda térmica, descrita en capítulos anteriores, se debe identificar la capacidad de los sistemas o energéticos actuales (oferta) para satisfacer dicha demanda. Esto incluye la cobertura efectiva de los sistemas individuales (por ejemplo, calefacción con leña, electricidad o gas), o sistemas centralizados (por ejemplo, aquellos ineficientes o con uso de combustibles fósiles), y su grado de cumplimiento de estándares de calidad, eficiencia y control de emisiones.

2.6.2. CLASIFICACIÓN DEL DÉFICIT

El análisis debe permitir identificar y caracterizar distintos tipos de déficit, tales como:

- **Déficit de cobertura:** población, hogares o edificaciones que no acceden a ningún sistema de calefacción, refrigeración y/o ACS funcional. Este tipo de déficit puede expresarse como porcentaje de viviendas o personas sin acceso, o como volumen energético no cubierto (kWh/año).
- **Déficit de calidad:** utilización de tecnologías contaminantes, ineficientes o inadecuadas desde el punto de vista técnico, económico, ambiental o sanitario.
- **Déficit de asequibilidad:** personas que, por razones económicas, no acceden o no pueden mantener sistemas térmicos modernos, lo que conlleva situaciones de pobreza energética.

2.6.3. ENFOQUE DE EQUIDAD Y GÉNERO

Es fundamental que esta estimación del déficit incorpore una perspectiva de género y de equidad territorial, identificando cómo la brecha térmica afecta de manera diferenciada a distintos grupos sociales. Se recomienda el uso de datos desagregados por sexo, edad, tipo de



hogar y nivel de ingresos, con el fin de visibilizar las desigualdades existentes en el acceso a soluciones térmicas adecuadas, y de orientar el diseño del proyecto hacia una solución equitativa y pertinente en el contexto local.

2.6.4. PROYECCIÓN DEL DÉFICIT EN EL TIEMPO

Con base en tendencias de crecimiento poblacional, urbanización y cambios tecnológicos o regulatorios, se debe proyectar la evolución de esta brecha en un escenario tendencial (sin proyecto). Esta proyección permite dimensionar el tamaño de la intervención y con ello estimar correctamente los beneficios esperados de la implementación de un sistema de Energía Distrital.

2.6.5. ROL DE LA ESTIMACIÓN DEL DÉFICIT EN LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO

La identificación de la brecha térmica constituye la línea base del problema público a resolver. Su adecuada estimación permite justificar la intervención, establecer objetivos específicos, definir áreas prioritarias de implementación, y delimitar la población beneficiaria esperada. Asimismo, es una base fundamental para la evaluación de beneficios en el marco del análisis costo-beneficio social exigido por el SNI.

III. SITUACIÓN BASE OPTIMIZADA

La Situación Base Optimizada (SBO) representa el estado más eficiente y realista que puede alcanzar el sistema de abastecimiento térmico en ausencia del proyecto de Energía Distrital (ED), incorporando todas las medidas técnicas, operativas, regulatorias y de gestión factibles bajo el marco institucional vigente. Este escenario no contempla la implementación de un sistema de ED, pero sí considera la adopción progresiva de iniciativas públicas y privadas de mejora aplicables a los distintos tipos de edificaciones presentes en el área de estudio, incluyendo viviendas, establecimientos educacionales, centros de salud, infraestructura pública y eventualmente comercio o servicios.

Este enfoque permite definir un escenario de referencia técnicamente riguroso y coherente con la realidad del territorio, a partir del cual es posible estimar con mayor precisión los beneficios adicionales que generaría el proyecto, en concordancia con los principios de eficiencia, sostenibilidad e inclusión establecidos por la Metodología General de Inversión Pública.



3.1. MEDIDAS DE OPTIMIZACIÓN

Las medidas consideradas en la SBO deben contar con respaldo técnico, demostrar factibilidad de implementación en contextos similares y estar alineadas con las políticas públicas vigentes. Estas pueden agruparse en tres dimensiones:

3.1.1. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES:

- Reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios públicos mediante, por ejemplo:
 - Cambios de ventanas por termopanel
 - Uso de elementos de mejora de infiltraciones
 - Mejoras en la envolvente por adición de material aislante
- Implementación de estándares mínimos de eficiencia térmica para nuevas edificaciones, según normativa vigente.

3.1.2. SUSTITUCIÓN DE TECNOLOGÍAS Y/O COMBUSTIBLES CONTAMINANTES:

- Recambio de artefactos de calefacción individuales a leña por tecnologías menos contaminantes y más eficientes, como bombas de calor, calefactores eléctricos de alto rendimiento, calderas o estufas a pellet o calderas o estufas a gas.
- Recambio de equipos de baja eficiencia o equipos en base a combustibles fósiles por tecnologías más eficientes y/o en base a energéticos menos contaminantes.
- En edificios no residenciales o anclas, migración a sistemas más eficientes o con combustibles o energéticos menos contaminantes.
- Restricciones al uso de tecnología a través de normativas.
- Mejoramiento proyectado de la calidad de los combustibles, en especial disponibilidad de leña seca.

3.1.3. GESTIÓN Y GOBERNANZA ENERGÉTICA LOCAL:

- Campañas de concientización para un uso eficiente de la energía térmica.
- Fortalecimiento de capacidades institucionales para la fiscalización de estándares ambientales y de eficiencia energética.

3.2. CORRECCIÓN DEL DÉFICIT Y SU PROYECCIÓN

A pesar de la implementación de medidas de optimización, se espera que subsista un déficit estructural de cobertura térmica adecuada, especialmente en contextos urbanos con alta demanda energética y población vulnerable. Este déficit se define como la diferencia entre la demanda térmica proyectada (considerando criterios de eficiencia energética, asequibilidad, sostenibilidad ambiental y cobertura universal) y la oferta energética efectiva bajo la situación optimizada.



La estimación de este déficit debe considerar:

- Proyección de la demanda térmica por tipo de edificación, estacionalidad, y evolución de factores demográficos y climáticos.
- Capacidad de adopción de medidas optimizadas, considerando barreras económicas, institucionales, tecnológicas y sociales.
- Persistencia de inequidades en el acceso a soluciones térmicas adecuadas, que puede acentuarse sin intervención estructural.

El análisis del déficit permitirá caracterizar los beneficiarios potenciales del proyecto ED, así como cuantificar los beneficios sociales, incluyendo reducción de contaminación, mejora de la salud pública, desempeño escolar o laboral, y ahorro económico, entre otros. Este ejercicio será particularmente relevante para justificar el proyecto en escenarios donde los impactos sociales trascienden los estrictamente energéticos.

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En esta sección, quien formula debe identificar las distintas alternativas de solución al problema público diagnosticado, en coherencia con el análisis de la situación actual y la situación base optimizada. Las alternativas deben ser formuladas conforme a los principios del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), garantizando que sean:

- **Mutuamente excluyentes**, es decir, no ejecutables simultáneamente.
- **Comparables**, para efectos de la evaluación social.
- **Pertinentes**, es decir, que contribuyan directa y efectivamente a resolver el problema público identificado.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la identificación de alternativas se deberán considerar las dimensiones de la metodología general, además de algunas específicas para proyectos de energía distrital, ya que las alternativas derivan de decisiones técnicas que afectan la localización, escala y configuración tecnológica del sistema. Las principales dimensiones desde las cuales pueden estructurarse alternativas son la localización de la infraestructura, el tamaño o escala del sistema y tecnología, y la configuración técnica. Se describen a continuación:

4.1.1. LOCALIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

La ubicación de los componentes principales del sistema (planta de generación y trazado de red) puede originar configuraciones con distinto impacto territorial, logístico, ambiental y normativo. Por ejemplo:



- Cercanía a la demanda de energía o edificaciones a servir.
- Localización en zonas industriales, periurbanas o de reconversión urbana.
- Variantes de trazado de red según densidad de usuarios o restricciones urbanas.

4.1.2. TAMAÑO O ESCALA DEL SISTEMA

La cobertura geográfica y poblacional prevista en el diseño del proyecto determina el alcance técnico y financiero de la intervención. Se pueden definir alternativas con:

- Cobertura acotada a un polígono prioritario o sector piloto.
- Ampliación progresiva en etapas sucesivas.
- Cobertura integral desde la etapa inicial.
- Mayor o menor proporción de usuarios y usuarias residenciales.

4.1.3. TECNOLOGÍA Y CONFIGURACIÓN TÉCNICA

Las alternativas pueden diferenciarse por el tipo de fuente energética utilizada, el sistema de generación térmica, y la configuración de red. Esto incluye decisiones como:

- Tipo de combustible (biomasa, electricidad, geotermia, entre otros).
- Tecnología de generación (caldera convencional, cogeneración, bomba de calor).
- Integración con infraestructura térmica existente.
- Impactos ambientales y restricciones sobre emisiones u otras variables ambientales.

Estas dimensiones deben ser consideradas de forma combinada para generar alternativas mutuamente excluyentes, que representen configuraciones factibles y diferenciables del proyecto. La elección de estas configuraciones debe estar sustentada en un análisis técnico, territorial y normativo.

4.2. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

Cada alternativa definida debe ser descrita de manera estructurada, permitiendo su análisis comparativo durante la evaluación social del proyecto. La descripción debe reflejar las decisiones adoptadas en las dimensiones de localización, escala y tecnología, detallando los elementos sustantivos que permiten identificar su alcance, costos, impactos y requisitos de implementación.

A continuación, se presentan los elementos mínimos que deben incluirse para cada alternativa formulada:



4.2.1. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LA SOLUCIÓN

Referida a cómo podrían variar los elementos y componentes técnicos y de diseño de la alternativa, como, por ejemplo:

- Diseño arquitectónico de la planta térmica.
- Componentes principales para: planta de generación térmica, red de distribución, estaciones de transferencia.
- Tipo de fuente energética utilizada.
- Tecnología de generación térmica implementada (caldera, cogeneración, bomba de calor, etc.).
- Nivel de integración con redes o instalaciones existentes, si corresponde.

4.2.2. LOCALIZACIÓN

Referida a los cambios en el emplazamiento territorial de los componentes del sistema, así como las variaciones de diseño para aumentar o disminuir cobertura en el área de servicio. Por ejemplo:

- Ubicación georreferenciada de la planta de generación.
- Descripción del trazado de la red de distribución.
- Identificación de zonas de cobertura y usuarios objetivo.
- Consideraciones de integración urbanística asociadas a la localización.

4.2.3. ESCALA Y COBERTURA

Referida a las variaciones que puede haber en cuanto a alcance o tamaño del proyecto. Por ejemplo, en variables como:

- Número de edificaciones o metros cuadrados de superficie calefaccionada o refrigerada previstos.
- Tipología de usuarios atendidos (residenciales, públicos, comerciales).
- Porcentaje de cobertura respecto del área de estudio definida.
- Fases de implementación, si corresponde.
- Identificación de consumidores ancla.
- Proporción de usuarias y usuarios residenciales y no residenciales.
- Si el proyecto (o parte de él) será para un proyecto inmobiliario nuevo o barrio existente.

4.2.4. MODELO INSTITUCIONAL Y DE GESTIÓN

Referida a los temas administrativos y de gobernanza del proyecto, que dictaminan las vías legales e identifican a las organizaciones clave dentro del desarrollo. Por ejemplo:





- Entidad responsable de la ejecución y operación del sistema (con experiencia en el diseño y operación de sistemas de energía distrital).
- Vehículo administrativo para la construcción y operación del proyecto.
- Esquema de gobernanza propuesto (público, privado, mixto).
- Mecanismos previstos para la relación con los usuarios y usuarias (contratos, tarifas, regulaciones).

4.2.5. ESTIMACIONES DE COSTOS E IMPACTOS PRELIMINARES

Referida a los costos e impactos esperados del proyecto. Por ejemplo:

- Costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Costos de reinversión.
- Impactos esperados en términos de emisiones, salud, eficiencia energética y calidad de vida, incluyendo el potencial de la alternativa para reducir la carga de trabajo no remunerado.

4.2.6. CONDICIONANTES NORMATIVAS Y DE FACTIBILIDAD

Referida a las condiciones del marco regulatorio actual y que impactan en la viabilidad de ejecución del proyecto. Por ejemplo:

- Identificación de permisos críticos y posibles barreras regulatorias.
- Requerimientos de suelo, permisos e infraestructura habilitante.
- Compatibilidad con instrumentos de planificación territorial.
- Requerimientos específicos según el marco institucional vigente.

Esta estructura debe aplicarse tanto para la Situación Base Optimizada (sin proyecto) como para cada alternativa con intervención. En el caso de la SBO, la descripción debe incluir una proyección realista de la evolución del problema público bajo condiciones de inacción, considerando costos sociales y ambientales actuales y futuros.

V. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

5.1. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE COSTOS

La formulación y evaluación de un proyecto de Energía Distrital (ED) requiere de una correcta identificación y estimación de los costos que se incurrirán a lo largo de su ciclo de vida, ya que estos son clave para determinar la rentabilidad social y económica de la inversión. Los costos se deben desglosar en las fases de preinversión, inversión y operación. A diferencia de la evaluación privada, en la evaluación social se deben utilizar precios sociales para reflejar el verdadero costo de oportunidad para la sociedad.



El proceso de estimación de costos debe ser coherente con la fase y etapa del ciclo de vida en que se encuentre la iniciativa de inversión, ya que esto determina el nivel de detalle y precisión de la información requerida. El ciclo de vida comprende las fases de Preinversión (con sus etapas de perfil, prefactibilidad y factibilidad), la fase de Inversión (con sus etapas de diseño y ejecución) y la fase de Operación.

Para orientar este proceso, se debe considerar lo establecido en la **Metodología General**, específicamente en su Capítulo 5, sección 5.1.1, donde se detalla el grado de precisión exigido para la estimación de costos en cada etapa, conforme a las **Normas, Instrucciones y Procedimientos (NIP) del Sistema Nacional de Inversiones (SNI)**.

5.1.1. COSTOS DE LA FASE DE PREINVERSIÓN

La fase de Preinversión incluye todos los costos asociados a los estudios necesarios para analizar y evaluar alternativas de solución, y justificar su viabilidad técnica, económica, social y ambiental, hasta obtener la recomendación satisfactoria (RS) que habilita el paso a la fase de inversión.

Identificación y cuantificación: Para estimar los costos de la ingeniería en esta fase de preinversión, se pueden utilizar datos históricos de proyectos similares. La fuente de esta información puede ser la base de datos del mercado público nacional.

Valorización: Estos costos deben ser valorizados a precios de mercado en la etapa de formulación. Sin embargo, para la evaluación social, se deben considerar como costos hundidos (no recuperables) si ya fueron incurridos, por lo que no influyen en la decisión de si ejecutar o no el proyecto.

5.1.2. COSTOS DE LA FASE DE INVERSIÓN

Corresponden a todos los gastos en que se incurre para materializar la alternativa de solución seleccionada. Esta fase se compone de dos etapas: la etapa de Diseño, en la cual se realizan los estudios de ingeniería de detalle y de las especialidades, y la etapa de Ejecución, que abarca la construcción física de las obras y su puesta en marcha.

Estos costos se pueden clasificar en:

Planta de Generación:

- **Identificación y cuantificación:** Se deben identificar los costos de todos los equipos principales y auxiliares de la planta de generación, así como la infraestructura o edificio que los alberga y el terreno necesario para su instalación, de ser necesario. Los equipos principales pueden incluir, entre otros, calderas (de biomasa, gas natural), bombas de calor (geotérmicas, aerotérmicas), sistemas de cogeneración (CHP) y captadores solares térmicos. La cuantificación se basa en la potencia térmica total instalada (kW o MW), la cual corresponde a la suma de las capacidades del total de unidades requeridas (ej.



número de calderas, número de bombas de calor, etc.). Sus costos pueden estimarse a partir de cotizaciones, proyectos previos o bases de datos de costos.

- **Valorización:** Se utilizan los precios de mercado de los equipos e insumos, ajustados por factores de corrección social para descontar impuestos y aranceles. La mano de obra de construcción se valora aplicando los factores de corrección correspondientes a mano de obra calificada, semi-calificada y no calificada. Los factores de corrección para la valorización de equipos, insumos y mano de obra se encuentran en el “Informe de Precios Sociales”, publicado anualmente en el sitio web del Sistema Nacional de Inversiones (SNI). El costo del terreno se valora a precios de mercado, ya que se asume que no genera distorsiones económicas que justifiquen la aplicación de factores de corrección.

Red de Distribución:

- **Identificación y cuantificación:** Comprende las tuberías preaisladas, bombas de circulación, válvulas, sensores y los trabajos de instalación (excavación, relleno, rotura y reposición de pavimentos, aceras y baldosas), entre otros. La cuantificación se realiza en función de la longitud del trazado (metros lineales) y del diámetro de las tuberías. Los costos pueden variar según la forma de implementación de la red (enterrada, con carcasa o en túneles).
- **Valorización:** Al igual que en la planta, se aplican precios de mercado a los materiales y la mano de obra, corrigiendo con los factores sociales correspondientes. El costo del terreno para el trazado, si bien existe, no es un costo de oportunidad si la red se instala en bienes nacionales de uso público.

Conexiones a Usuarios y Usuarías:

- **Identificación y cuantificación:** Incluye las subestaciones de transferencia de energía, los medidores de consumo, y los equipos terminales de cada usuario (radiadores, losa radiante, fan coils, etc.). Un aspecto crucial es la necesidad de adaptar las instalaciones internas de las edificaciones existentes. La cuantificación se basa en el número de conexiones y el tipo de equipos a instalar.
- **Valorización:** Se utilizan precios de mercado de los equipos, ajustados por los factores de corrección social.

Costos de Reinversión:

- **Identificación y cuantificación:** Son los costos de reposición de componentes y equipos cuya vida útil es inferior al horizonte de evaluación del proyecto, como ciertos equipos



de la planta o de las subestaciones. La cuantificación se realiza en los años específicos en que se proyecta su reemplazo.

- **Valorización:** Se utilizan los precios sociales correspondientes a los componentes a reponer.

5.1.3. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)

Estos costos son recurrentes y se asocian al funcionamiento del sistema durante toda la vida útil del proyecto.

Identificación y cuantificación:

- **Costos fijos:** No dependen del nivel de producción energética de la planta. Incluyen salarios del personal de operación y administración, seguros, gastos de gestión y otros gastos generales.
- **Costos variables:** Dependen del nivel de producción de la planta. Incluyen el costo del combustible/energía primaria, materiales operativos, eliminación de residuos (cenizas) y el consumo de energía auxiliar (electricidad).
- **Mantenimiento:** Se considera para la periodicidad del mantenimiento preventivo y correctivo. Se suele considerar el mantenimiento rutinario, así como mantenimientos mayores que se proyectan en años específicos de la vida útil del proyecto.

Valorización:

Mano de obra: Se aplica la metodología del SNI que utiliza el factor de corrección social sobre el salario bruto. Las categorías de mano de obra (calificada, semi-calificada y no calificada) tienen diferentes factores de corrección social que deben ser aplicados.

Combustible/Energía: El costo de combustibles como la biomasa, el gas o la electricidad se debe corregir para reflejar su verdadero costo para la sociedad. Esta corrección, o bien se encuentra en el Informe de Precios Sociales (SNI) o debe calcularse siguiendo los lineamientos de la Metodología General (MDSF).

La elección del combustible influye directamente en los costos operativos y las externalidades del proyecto.

Otros insumos: Los materiales e insumos operativos se valorizan a precios de mercado, ajustados con los factores de corrección social para insumos transables o no transables, según corresponda.



5.2. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE BENEFICIOS

La evaluación social de un proyecto de Energía Distrital (ED) debe identificar y valorar todos sus efectos e impactos positivos sobre el bienestar de la sociedad. Para lograr un análisis claro, robusto y alineado con las mejores prácticas del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), los beneficios se agrupan en dos categorías principales:

1. **Beneficios Sociales Directos por Liberación de Recursos:** Impactos cuantitativos que representan un uso más eficiente de los recursos de la sociedad.
2. **Beneficios por Externalidades Positivas:** Impactos positivos sobre la comunidad en su conjunto, que no están reflejados en los precios de mercado y que constituyen la principal justificación social para la inversión pública.

5.2.1. BENEFICIOS SOCIALES DIRECTOS POR LIBERACIÓN DE RECURSOS

Estos beneficios corresponden a la liberación de recursos reales (energía, dinero, tiempo, espacio) que la sociedad puede destinar a otros fines productivos gracias a la mayor eficiencia del proyecto de ED. Estos se identifican al comparar la situación con proyecto frente a la situación base optimizada. Se caracterizan por ser medibles y directamente monetizables a precios sociales.

a. Ahorro de recursos energéticos

Identificación: Un sistema de ED, por su escala y tecnología avanzada, es más eficiente que la suma de los equipos de calefacción individuales a los que reemplaza. Para producir la misma cantidad de energía térmica útil, la sociedad consume una menor cantidad de recursos energéticos (biomasa, gas, etc.).

Cuantificación: Se debe calcular el ahorro físico anual de cada tipo de combustible, comparando el consumo en la situación base optimizada versus el consumo en la situación con proyecto.

Valorización: El ahorro físico de cada combustible se valoriza utilizando su precio de mercado, corregido a precio social (eliminando el IVA).

b. Ahorro por liberación de activos

Identificación: Este beneficio se identifica como la liberación del capital social previamente inmovilizado en la adquisición, mantenimiento y futura reposición de los sistemas individuales de calefacción y/o enfriamiento de los usuarios o usuarias (ej. estufas, calderas, equipos terminales). El sistema de Energía Distrital vuelve innecesaria esta inversión, liberando los activos existentes para otros usos en la economía (Valor de Rescate) y evitando los costos de reemplazo futuro (Inversión Evitada). La información



para su análisis se extrae del inventario de equipos individuales de la situación base y de la proyección de su vida útil remanente.

Cuantificación: La cuantificación de este ahorro social abarca el valor de los activos liberados a lo largo de todo el horizonte de evaluación. Esto se calcula mediante la estimación del valor social residual de los equipos que son retirados en el momento de la conexión (Año 0), sumado al valor de la reposición evitada de esos mismos activos en todos los años futuros en que, en la situación sin proyecto, habrían requerido ser reemplazados por las personas usuarias debido a su obsolescencia.

Valorización: El valor total del capital liberado se debe valorar a su Precio Social correspondiente. Tanto el valor de rescate de los equipos existentes (Año 0) como el valor de las reinversiones evitadas (años futuros) deben ser ajustados mediante los factores de corrección social aplicables a la categoría del activo (equipo/bien) sobre su precio de mercado, y deben ser incorporados en los años respectivos del flujo de beneficios netos.

c. Ahorro de costos de Operación y Mantenimiento (O&M)

Identificación: Un sistema de Energía Distrital genera un ahorro en los costos de operación y mantenimiento, que consiste en la liberación de recursos que, sin el proyecto, las personas y entidades usuarias destinarían a la mantención, reparación y reemplazo de sus equipos de calefacción individual. Aunque el nuevo sistema de ED tiene sus propios costos de O&M, la centralización y la mayor eficiencia a escala se traducen en un ahorro neto para la sociedad.

Cuantificación: Se estima el costo anual promedio de O&M de los equipos existentes en la situación sin proyecto, considerando la frecuencia de mantenciones y la vida útil de los equipos.

Valorización: El costo de O&M evitado se valoriza a precios sociales, aplicando los factores de corrección correspondientes a los componentes de mano de obra e insumos.

d. Ahorro de tiempo y costos asociados a la gestión de combustible

Identificación: Corresponde al ahorro de tiempo de las personas que gestionan los combustibles o energéticos para uso en las viviendas o edificaciones, tanto para usuarios residenciales como no residenciales. El ahorro en tiempo correspondería por evitar realizar acciones como compra, transporte, almacenamiento y/o carga del combustible, incluido el tiempo en actividad física y logística.

Cuantificación: El tiempo se cuantifica en horas ahorradas por establecimiento al año. Los costos de transporte se cuantifican estimando los kilómetros y costos operativos evitados. La cuantificación del tiempo ahorrado debe ser desagregada por sexo, para visibilizar la contribución del proyecto a la reducción de la carga de trabajo no remunerado.



Valorización: El tiempo ahorrado se valoriza utilizando el precio social de VTO, que puede ser extraído del Informe de Precios Sociales, publicado en el sitio del SNI y actualizado anualmente. Los costos de transporte evitados se valorizan a precios sociales.

e. Liberación de espacio físico en la vivienda o edificación

Identificación: Al retirar los equipos de calefacción y las zonas de almacenamiento de combustible, se libera espacio físico, un recurso escaso y valioso.

Cuantificación: Se debe estimar el número de metros cuadrados (m^2) que se liberan por vivienda o edificio.

Valorización: El espacio liberado se valoriza utilizando el precio social del metro cuadrado (basado en el valor de arriendo) para la comuna o zona del proyecto. Se asume que el Precio Social no difiere del Precio de Mercado, para el caso de los arriendos.

5.2.2. BENEFICIOS POR EXTERNALIDADES POSITIVAS

Los proyectos de Energía Distrital (ED) generan importantes beneficios sociales que van más allá del ahorro directo en el consumo energético de las personas usuarias. Estos beneficios se concentran en la reducción de emisiones contaminantes, las cuales se clasifican en dos grandes grupos para su evaluación: contaminantes locales (principalmente Material Particulado) y contaminantes globales (Gases de Efecto Invernadero).

a. Beneficios por Reducción de Emisiones de Contaminantes Locales (Material Particulado $MP_{2,5}$)

Los contaminantes locales son las externalidades más relevantes en el corto plazo para la salud de la población. Entre ellos se encuentran los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), material particulado (MP_{10} y $MP_{2,5}$), entre otros gases. Estos son emitidos por diferentes fuentes, siendo la quema de leña en el sector residencial en la zona centro sur del país el principal problema de contaminación del aire en Chile. Producto de esta relevancia en el sector de calefacción, dentro de la presente metodología se abordarán los beneficios por reducción de Emisiones de Material Particulado $MP_{2,5}$.

Como es sabido, con la implementación de un sistema de energía distrital ocurre la sustitución de múltiples fuentes de combustión ineficientes y contaminantes (como calderas individuales o estufas) por una planta centralizada más eficiente y equipada con tecnologías de control de emisiones, lo que reduce drásticamente las emisiones en el área de influencia del proyecto, principalmente de Material Particulado fino ($MP_{2,5}$) incluso disminuye la contaminación al interior de las edificaciones. Esto se traduce en un beneficio directo para la comunidad a través de un aire más limpio y, por lo tanto, una menor carga sobre el sistema de salud por una disminución de casos de morbilidad y mortalidad.



Identificación: El beneficio se asocia a la reducción de la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y a la disminución de muertes prematuras, admisiones hospitalarias y días de trabajo perdidos, entre otros efectos sobre la salud, producto de la mejora en la calidad del aire. El análisis debe considerar la mayor exposición de mujeres, niñas y personas mayores a la contaminación intradomiciliaria, traduciéndose en una mayor morbilidad evitada para estos grupos de población.

Cuantificación: La cuantificación de este beneficio se realiza en dos etapas, siguiendo los lineamientos del Ministerio de Medio Ambiente:

- **Cuantificación de la reducción de emisiones:** Se debe cuantificar la reducción física de cada contaminante (i), como el $MP_{2,5}$, en toneladas por año (ΔE_i), al comparar la Situación con Proyecto con la Situación Base Optimizada.
- **Cuantificación de los efectos en salud (ΔH_j):** Con base en la reducción de contaminantes y el área geográfica de impacto, se deben estimar los efectos físicos sobre la salud que se logran evitar. Esto se realiza en dos pasos:

Paso 1: Conversión Emisión-Concentración

En primer lugar, la reducción de emisiones (ΔE_i) se transforma en una variación de la concentración atmosférica (ΔC_i) utilizando el **Factor de Emisión-Concentración** (FEC). Este factor es específico para cada contaminante y zona geográfica, y se obtiene a partir de modelos de dispersión atmosférica, realizados por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) a través de los Análisis Generales de Impacto Económico y Social (AGIES).

Ecuación FEC:

$$\Delta C_i = FEC_i \times \Delta E_i$$

Donde:

ΔC_i : Reducción de la concentración del contaminante i (en $\mu g/m^3$).

FEC_i : Factor de Emisión-Concentración del contaminante i para el área de estudio. Si el área de estudio cuenta con un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) es posible obtener este dato del mismo AGIES, disponible en el expediente de cada PDA en la página oficial del Ministerio del Medio Ambiente. Si la zona no cuenta con PDA, es posible estimarlo realizando un inventario de emisiones para conocer la cantidad total de emisiones de la ciudad o cuenta atmosférica y las concentraciones de $MP_{2,5}$ en el área proveniente de estaciones de monitoreo de calidad del aire oficiales del Ministerio del Medio Ambiente.

ΔE_i : Reducción de las emisiones del contaminante i (en toneladas/año).



Paso 2: Cálculo de Efectos Evitados (ΔH_j)

La reducción de concentración (ΔC_i) se utiliza para estimar la cantidad de efectos adversos en la salud que se evitan (ΔH_j), mediante las **funciones concentración-respuesta**. Estas funciones utilizan coeficientes de riesgo unitario (β_{kj}) y datos de población expuesta (P_j) y tasas de incidencia (IR_{kj}) específicos de la zona.

Ecuación para Cuantificación Física:

$$\Delta H_{kj} = \beta_{kj} \times \Delta C_i \times P_j \times IR_{kj}$$

Donde:

ΔH_{kj} : Cuantificación física de los efectos evitados k en la población j .

β_{kj} : Coeficiente de riesgo unitario (función concentración-respuesta) del efecto k en la población j (según AGIES/MMA).

P_j : Población expuesta del grupo j en el área de influencia (según grupos etarios y de exposición definidos en el AGIES).

IR_{kj} : Tasa de incidencia del efecto k en la población j .

Valorización: La valoración monetaria se obtiene multiplicando los efectos físicos evitados (ΔH_j) por su respectivo precio social (PS_j), lo que genera el beneficio social total por reducción de contaminantes (B emisiones).

Ecuación de Valoración Social:

$$B \text{ emisiones} = \sum_j (\Delta H_j \times PS_j)$$

Donde:

- ΔH_j : Cuantificación física de los efectos evitados en la salud para la categoría j (muertes prematuras evitadas, admisiones hospitalarias evitadas, etc.).
- PS_j : Es el **precio social unitario** del efecto en salud de la categoría j , según los valores oficiales establecidos por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF) y los anexos del AGIES.
 - Mortalidad: Para la valoración de la reducción del riesgo de mortalidad, se debe utilizar el Valor de la Vida Estadística (VVE) oficial del MDSF.
 - Morbilidad: Los demás efectos (admisiones, días perdidos) se valoran mediante la lista de precios sociales para morbilidad (costos médicos y productividad) provistos por el MDSF/MMA.



Nota para quien formula: Es fundamental que todos los coeficientes de riesgo (β_{kj}), las tasas de incidencia (IR_{kj}) y los precios sociales (PS_j) utilizados sean los públicos y oficiales más recientes, según lo que estipulen la Guía Metodológica AGIES del MMA y sus anexos o actualizaciones, y el Informe de Precios Sociales del MDSF/SNI.

b. Beneficios por Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los Gases de Efecto Invernadero son compuestos atmosféricos que atrapan el calor y calientan la Tierra, provocando efectos globales. Su concentración excesiva producto de actividades humanas provoca el calentamiento global. Los principales GEI incluyen el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el vapor de agua y los gases fluorados como los hidrofluorocarbonos (HFC).

En la materia de la presente metodología, serán considerados los GEI que se produzcan por la combustión de combustibles fósiles para los procesos de producción de calor y frío para calefacción, enfriamiento y agua caliente sanitaria.

Identificación: El proyecto contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), principalmente CO_2 , CH_4 y N_2O , al utilizar fuentes de energía más limpias y eficientes en comparación con la situación base.

Cuantificación: Se debe cuantificar la reducción neta de emisiones de GEI anualmente, expresada en toneladas de CO_2 equivalente (tCO_2e), comparando el sistema de ED seleccionado con la Situación Base Optimizada. Para el cálculo de tCO_2e , se deben usar los Potenciales de Calentamiento Global (PCG) proporcionados por el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), según las indicaciones oficiales.

Valorización: La reducción neta anual de GEI se valora multiplicándola por el Precio Social del Carbono (PSC). Este precio refleja el costo marginal social del daño de una tonelada de CO_2e y es un valor creciente en el tiempo, reflejando la estrategia país de alcanzar la *carbono neutralidad* al 2050.

Metodología y Fuente: El estudio de preinversión debe utilizar la serie anual y actualizada de Precios Sociales del Carbono publicada en el Informe de Precios Sociales (IPS) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF) para el horizonte de evaluación del proyecto.



5.3. FLUJO DE BENEFICIOS NETOS

Una vez identificados y valorizados todos los costos y beneficios sociales directos e indirectos, así como las externalidades, la evaluación del proyecto se materializa mediante la construcción del flujo de beneficios netos. Este flujo es la diferencia entre los beneficios sociales totales y los costos sociales totales para cada año del horizonte de evaluación del proyecto.

El horizonte de evaluación de un proyecto de Energía Distrital (ED) debe ser suficientemente largo para capturar todos los costos y beneficios relevantes a lo largo de su vida útil, lo que incluye la inversión inicial, la operación, el mantenimiento y las reinversiones necesarias. La Metodología General recomienda un horizonte de evaluación de 30 años, el cual es adecuado para proyectos de infraestructura de este tipo. En casos específicos, si la tecnología o el modelo de negocio lo justifican, este horizonte podría ajustarse.

La estructura del flujo de beneficios netos es la siguiente:

Beneficios Sociales Totales (BT):

- Beneficios Directos: Valoración de la liberación de recursos reales para las usuarias y usuarios finales, lo que incluye ahorros en la compra de energéticos, equipos de calefacción, mantenimiento y operación.
- Externalidades Positivas: Valoración de las externalidades positivas, principalmente la mejora en la calidad del aire y la salud pública, así como cualquier otro beneficio social identificado y valorizado.

Costos Sociales Totales (CT):

- Costos de Inversión: Adquisición de terrenos, obras civiles, equipos, construcción de la planta de generación y la red de distribución, costos de diseño, y otros gastos.
- Costos de Operación y Mantenimiento: Insumos energéticos, mano de obra, mantenimiento regular de la planta y la red.
- Costos de Reinversión: Inversiones programadas para reemplazar o modernizar equipos al final de su vida útil.

El flujo de beneficios netos anual (FBN_t) se calcula como:

$$FBN_t = BT_t - CT_t$$

Donde:

FBN_t : Flujo de Beneficios Netos en el año t.

BT_t : Beneficios Sociales Totales del año t.



CT_t : Costos Sociales Totales del año t .

Es fundamental presentar este flujo de manera clara y ordenada, preferiblemente en una tabla, donde cada componente sea fácilmente identificable para cada año del horizonte de evaluación.

5.4. CÁLCULO DE INDICADORES DE RENTABILIDAD SOCIAL

La evaluación final de un proyecto de ED se basa en el cálculo y análisis de indicadores de rentabilidad social, los cuales permiten determinar si la inversión es socialmente rentable. De acuerdo con la Metodología General del SNI, los principales indicadores son el Valor Actual Neto Social (VANs) y la Tasa Interna de Retorno Social (TIRs). Para el cálculo se utiliza la tasa social de descuento vigente, la cual debe ser obtenida de la fuente oficial del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

Valor Actual Neto Social (VANs): El VANs mide el valor presente de los beneficios netos del proyecto, es decir, el valor monetario que se agrega a la sociedad al realizar la inversión. Un proyecto será socialmente rentable si su VANs es mayor o igual a cero.

$$VANs = \sum_{t=0}^n \frac{FBN_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

FBN_t : Flujo de Beneficios Netos en el año t .

i : Tasa Social de Descuento.

n : Horizonte de evaluación del proyecto.

Tasa Interna de Retorno Social (TIRs): La TIRs representa la tasa de descuento que hace que el VANs sea igual a cero. Es la rentabilidad que el proyecto genera para la sociedad. Un proyecto será socialmente rentable si su TIRs es mayor o igual a la tasa social de descuento.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FBN_t}{(1+TIRs)^t}$$

Donde:

FBN_t : Flujo de Beneficios Netos en el año t .

$TIRs$: Tasa Interna de Retorno Social.

n : Horizonte de evaluación del proyecto.



Cuando se presentan proyectos mutuamente excluyentes, el criterio de selección principal es el VANs. Se deberá elegir la alternativa que tenga el VANs más alto, siempre y cuando sea positivo.

5.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Dado que la evaluación de proyectos de ED se basa en estimaciones y supuestos, es crucial realizar un análisis de sensibilidad para entender cómo la rentabilidad social podría verse afectada por cambios en las variables clave. Esto permite identificar los factores de riesgo más importantes y fortalecer la toma de decisiones, asegurando la solidez de la iniciativa.

Se recomienda analizar la sensibilidad de los indicadores (VANs y TIRs) a variaciones en las siguientes variables:

Costos de inversión: La inversión inicial en la planta de generación y la red de distribución.

Costos de operación y mantenimiento: Particularmente, el precio de los combustibles o energéticos de la planta térmica.

Cantidad de usuarios y usuarias conectados: Este factor influye directamente en los beneficios sociales ya que estos sistemas tienen mejor desempeño privado y social en la medida que una mayor cantidad de usuarios permanece conectada.

Tasa de crecimiento de la demanda: Cómo evoluciona la cantidad de usuarios y usuarias conectadas o el consumo de energía térmica a lo largo de los años, desde el punto de vista de la emisión de contaminantes locales y GEI.

Precios sociales de los contaminantes: Dada la importancia de las externalidades en la rentabilidad, es vital probar diferentes valores para el costo social de los contaminantes locales ($MP_{2,5}$) y de los GEI.

Para cada variable, se debe estimar el "punto de quiebre" o el valor en el que el VANs del proyecto se vuelve cero, lo que proporcionará una medida de la robustez de la iniciativa.

Adicionalmente, se puede realizar un análisis de escenarios (optimista, probable y pesimista) que combine variaciones en varias de las variables críticas de forma simultánea. Este análisis es fundamental para evaluar la vulnerabilidad del proyecto ante la incertidumbre del mercado y la tasa de adopción por parte de las personas usuarias.



5.6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN

La selección de la mejor alternativa de proyecto debe basarse en un análisis integral que considere tanto los indicadores cuantitativos de rentabilidad social (VANs, TIRs) como los factores cualitativos que no pudieron ser valorizados monetariamente.

Criterios Cuantitativos:

- Se descartan las alternativas que no cumplan con la condición de rentabilidad social (VANs < 0).
- Entre las alternativas socialmente rentables, se debe seleccionar aquella que presente el mayor VANs.

Criterios Cualitativos:

- Impacto en la Calidad de Vida: Reducción de la contaminación intradomiciliaria, mayor confort térmico, reducción de la pobreza energética y menor riesgo de enfermedades respiratorias.
- Sostenibilidad y Resiliencia: Capacidad del sistema para adaptarse a cambios futuros en la demanda o los precios de la energía, y su contribución a los objetivos de sostenibilidad y carbono neutralidad del país.
- Viabilidad Técnica y de Gestión: Facilidad de implementación, disponibilidad de tecnologías probadas, y la capacidad de la entidad responsable para gestionar el proyecto.
- Aceptación Social: Grado de apoyo de la comunidad, las personas usuarias y los grupos de interés.

La decisión final debe reflejar un equilibrio entre la rentabilidad social demostrada y el cumplimiento de los objetivos de política pública. La rentabilidad social es un requisito necesario, pero los factores cualitativos son clave para la selección de la alternativa óptima que maximice el bienestar social.

VI. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO

6.1. DEFINICIONES DE OBJETIVOS Y ALCANCE

Una vez seleccionada la alternativa de proyecto más rentable socialmente y que mejor se alinea con los objetivos de la política pública, el siguiente paso es detallar sus objetivos y alcances. Este subcapítulo debe describir de manera precisa el propósito del proyecto seleccionado, así como los límites y condiciones bajo los cuales se desarrollará. Esto permitirá una correcta ejecución y posterior evaluación ex-post.



El proyecto de Energía Distrital seleccionado debe responder directamente al problema público identificado en el Capítulo II, es decir, al déficit energético y a sus efectos sociales y ambientales negativos. Por lo tanto, sus objetivos deben ser coherentes con la solución propuesta y con los resultados esperados de la inversión social.

6.1.1. OBJETIVOS

Los objetivos de la iniciativa de inversión deben ser claros, medibles, alcanzables, relevantes y definidos en el tiempo. Se deben formular a dos niveles:

- **Objetivo General o Central:** Corresponde al fin último de la inversión. Debe expresar la contribución del proyecto a la solución del problema público principal identificado en el diagnóstico. En el caso de los proyectos de Energía Distrital, el objetivo general se podría definir como **"la provisión eficiente y sostenible de energía térmica para calefacción, enfriamiento y/o agua caliente sanitaria a un distrito específico, mejorando la calidad de vida de la población y mitigando los impactos ambientales asociados al consumo energético actual"**.
- **Objetivos Específicos:** Son los resultados concretos y cuantificables que se espera obtener con la implementación del proyecto. Estos objetivos deben ser consistentes con el objetivo general y se pueden relacionar con los componentes de la solución. Ejemplos de objetivos específicos pueden ser:
 - Reducir el consumo de leña o combustibles fósiles en un X% en el área de estudio.
 - Incrementar la eficiencia energética del distrito en un Y%.
 - Disminuir las emisiones de material particulado y otros contaminantes en un Z%.
 - Proveer de un servicio de calefacción de calidad y a precios competitivos a N° de personas usuarias.
 - Reducir el tiempo promedio destinado a la gestión de energía térmica o combustibles por parte de personas del sexo femenino en la población objetivo en un W% al año de operación.

6.1.2. ALCANCE

El alcance del proyecto define con exactitud lo que se hará y lo que no se hará. Debe incluir los siguientes elementos:

- **Alcance geográfico:** Se debe delimitar el área física donde se implementará el proyecto, incluyendo la ubicación de la planta de generación, el trazado de las redes de distribución y la ubicación de los usuarios y usuarias finales. Este alcance debe ser consistente con la definición del área de influencia del diagnóstico.
- **Alcance poblacional:** Se debe especificar el número y tipo de personas usuarias que serán beneficiadas por el proyecto (ej. hogares, género, edificios públicos, comercios, industrias,



etc). Es crucial detallar si se trata de población residencial, no residencial, o una combinación, y si hay planes de expansión futura.

- **Alcance Tecnológico:** Se debe describir la tecnología específica seleccionada para la planta de generación (ej. caldera de biomasa, bomba de calor, cogeneración), las características de la red de distribución (ej. tipo de tuberías, aislamiento) y las tecnologías de conexión del usuario o usuaria con el sistema distrital.
- **Alcance del Servicio:** Se debe definir claramente qué servicio se entregará (calefacción, agua caliente sanitaria, enfriamiento) y con qué calidad (ej. Temperatura, continuidad del servicio, horas disponibles del servicio al día).

El alcance debe ser una descripción detallada que permita entender con claridad el tamaño, la capacidad y los límites del proyecto, sirviendo como base para la siguiente etapa de definición de costos y cronograma.

6.2. DETALLE DE COSTOS

En este subcapítulo, se debe presentar un desglose detallado de los costos del proyecto de Energía Distrital seleccionado.

El detalle de los costos debe ser coherente con la fase de Inversión y con un nivel de precisión de detalle, lo que significa que al momento de la ejecución las estimaciones deben estar basadas en una ingeniería más avanzada. Los costos deben ser presentados en una tabla de resumen que facilite su análisis y comparación, y deben ser categorizados de la siguiente manera:

6.2.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Estos son los costos únicos necesarios para la construcción y puesta en marcha del proyecto. Se deben desglosar en los siguientes componentes principales:

- **Planta de Generación Térmica:** Incluye la adquisición, instalación y montaje de las calderas (ej. de biomasa, gas natural), bombas de calor, equipos de cogeneración u otras tecnologías seleccionadas. También se deben considerar los costos de los edificios o estructuras que albergan la planta, chimeneas, y sistemas de control.
- **Red de Distribución:** Son los costos asociados a la instalación de las tuberías preaisladas subterráneas, válvulas, cámaras de inspección, y toda la infraestructura necesaria para transportar la energía térmica desde la planta a las personas usuarias. Los costos deben detallarse por longitud de tubería y diámetro, y por tipo de instalación (ej. urbana, rural).
- **Conexiones de Usuario:** Corresponden a los costos de instalación de las subestaciones o intercambiadores de calor en las viviendas o edificios, medidores de energía, y el cableado o tuberías que conectan la red de distribución con el interior de cada propiedad.



- **Costos Habilitantes y de Gestión:** Son los costos asociados a la obtención de permisos, estudios de ingeniería de detalle, gestión ambiental, supervisión de la construcción, y otros gastos administrativos necesarios para la ejecución del proyecto.
- **Costos de Adquisición de Terrenos y Obras Civiles Complementarias:** Si aplica, se deben incluir los costos de los terrenos donde se ubicará la planta y otras infraestructuras, así como los costos de obras civiles como cimientos, pavimentación y cierres perimetrales.

6.2.2. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)

Estos son los costos recurrentes que se incurrirán a lo largo de toda la vida útil del proyecto. Deben ser estimados en forma anual y proyectados en el flujo de caja.

- **Costos de Combustible:** Representan el principal costo de operación. Se debe detallar la cantidad de combustible (ej. metros cúbicos de gas, toneladas de pellet, etc.) y su precio social por unidad. El precio social se determinará a partir de su precio de mercado, eliminando el IVA.
- **Costos de Electricidad:** Se refieren al consumo de electricidad de las bombas, ventiladores y otros equipos auxiliares de la planta y la red.
- **Costos de Personal:** Son los costos de los sueldos y salarios del personal técnico y administrativo necesario para operar y mantener el sistema.
- **Costos de Mantenimiento:** Incluyen los costos de mantención preventiva y correctiva de los equipos, reparaciones, y el reemplazo de componentes menores.
- **Costos de Reinversión:** Son los costos de reemplazo de equipos o componentes mayores del sistema que no duran el total de la vida útil del proyecto (ej. una caldera que se debe reemplazar a los 20 años en un proyecto con horizonte de 30 años).

6.3. CRONOGRAMA

Un cronograma de proyecto detallado es una herramienta fundamental para la gestión de la inversión. Este subcapítulo debe presentar la planificación temporal de las actividades clave del proyecto de Energía Distrital seleccionado, desde la fase de diseño hasta la puesta en marcha y operación. Debe reflejar la secuencia lógica de las tareas, la duración estimada de cada una y los hitos importantes.

El cronograma debe considerar las siguientes etapas y actividades:

- **Estudios de ingeniería de detalle:** Incluye la definición final de la tecnología, el trazado exacto de las redes, el diseño de la planta y las conexiones de usuario.
- **Obtención de permisos y aprobaciones:** Esto puede ser un proceso largo y complejo, que incluye permisos ambientales, de construcción, eléctricos, de uso de suelo, y otros permisos sectoriales.
- **Licitación y contratación:** Proceso de selección de los proveedores y contratistas para la construcción de la planta y la red.



- **Obras civiles:** Preparación del terreno, construcción de la planta de generación, instalación de los cimientos y otros trabajos de infraestructura.
- **Adquisición e instalación de equipos:** Compra de los equipos de generación, bombas, tuberías y demás componentes del sistema.
- **Instalación de la red de distribución:** Excavación de zanjas, colocación de tuberías, y relleno.
- **Conexiones de usuario:** Proceso de conexión de cada edificio o vivienda a la red de distribución.
- **Pruebas y puesta en marcha:** Verificación del correcto funcionamiento de todo el sistema antes de iniciar la operación comercial.

El cronograma debe presentarse en un formato de fácil lectura, como una carta Gantt, que muestre claramente la duración de cada actividad, las dependencias entre ellas y la duración total del proyecto hasta su operación.

VII. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Este capítulo de la Metodología establece los contenidos y la estructura que debe adoptar la sección final de todo Estudio de Preinversión para Proyectos de Energía Distrital (ED). Su propósito es sintetizar los hallazgos esenciales del proceso de formulación y evaluación social, proporcionando una visión consolidada que sustente la decisión de aprobación o rechazo de la inversión por parte del Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

7.1. JUSTIFICACIÓN Y PERTINENCIA DEL PROYECTO

Esta sección debe presentar la conclusión del estudio respecto a la validez de la iniciativa, aseverando lo siguiente:

- **Problema Público:** Se debe confirmar que el problema público central abordado (ej. déficit en el suministro térmico eficiente, contaminación atmosférica) está claramente definido y que las externalidades negativas (salud, costos energéticos, calidad de vida) han sido correctamente identificadas.
- **Alineación Estratégica:** El estudio deberá demostrar explícitamente la pertinencia del proyecto de Energía Distrital seleccionado en el contexto de las políticas públicas vigentes, tales como la Política Energética Nacional 2050 y los compromisos de descontaminación ambiental.
- **Alternativa Óptima:** Se debe justificar que la alternativa de inversión seleccionada (el diseño específico del sistema de ED) constituye la solución más eficiente y eficaz entre las alternativas evaluadas para resolver el problema público identificado.



7.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SOCIAL

El estudio deberá concluir la viabilidad económica de la alternativa seleccionada mediante la presentación clara de los indicadores de Rentabilidad Social y la respectiva decisión de inversión, conforme a la Metodología General para la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública (SNI 2025).

7.2.1. INDICADORES CLAVE DE RENTABILIDAD

El estudio debe presentar y analizar los siguientes indicadores clave, los cuales son la base para la toma de decisión por parte del Sistema Nacional de Inversiones (SNI):

- **Valor Actual Neto Social (VANs):** Indicador principal que mide la rentabilidad del proyecto para la sociedad en su conjunto.
- **Tasa Interna de Retorno Social (TIRs):** Indicador de referencia para la comparación con la Tasa Social de Descuento (TSD) vigente. Una Tasa Interna de Retorno Social (TIRs) superior a la Tasa Social de Descuento (TSD), valida su viabilidad y lo posiciona como una inversión atractiva para el Estado, superando el costo de oportunidad de los recursos públicos.
- **Valor Actual Neto Privado (VANp) Complementario:** Se deberá presentar el VAN Privado (VANp) en aquellos casos en que la alternativa seleccionada dependa de la participación de un inversionista privado para su ejecución y exista la opción legal de ser financiada mediante subsidio o aporte estatal.
 - Objeto: El cálculo del VANp es fundamental para determinar la viabilidad financiera del proyecto desde la perspectiva del inversionista o entidad ejecutora.
 - Uso en la Decisión: Si el proyecto es Socialmente Rentable ($VANs > 0$) pero Financieramente No Rentable ($VANp < 0$), la diferencia negativa en el flujo privado indica el monto mínimo de apoyo o subsidio requerido para hacer que la inversión sea atractiva ($VANp \geq 0$) y, por lo tanto, ejecutarse.
 - Metodología: El VANp deberá calcularse de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Capítulo V (Evaluación de Alternativas) y la Metodología General del SNI, utilizando los flujos de caja pertinentes (ingresos por tarifas, costos de inversión y operación, impuestos, financiamiento, y la inclusión del subsidio/aporte estatal como un ingreso).

7.2.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y DE RIESGOS

El estudio deberá concluir sobre la solidez de los resultados de rentabilidad social y el nivel de riesgo asociado a la inversión.

- **Robustez:** Se deben indicar las variables críticas (ej. costo de inversión, demanda térmica proyectada, valorización de externalidades) que fueron sometidas al Análisis de



Sensibilidad. La conclusión debe especificar si la rentabilidad social se mantiene robusta (es decir, el VANs no se vuelve negativo) frente a variaciones razonables de estas variables, o si, por el contrario, el proyecto es altamente sensible a dichas variaciones.

- **Riesgo Cualitativo:** Se debe resumir el resultado del análisis cualitativo de riesgos no monetizables (ej. riesgos regulatorios, de aceptación social o de gestión) y las estrategias de mitigación propuestas. El estudio debe concluir si el nivel de riesgo global del proyecto es **aceptable o inaceptable** para la inversión pública, demostrando la resiliencia del proyecto a cambios en las condiciones del entorno.

7.2.3. APORTES A LA POLÍTICA PÚBLICA Y CONSIDERACIONES FINALES

Independientemente del resultado de la rentabilidad social, el estudio debe concluir la contribución potencial del proyecto a objetivos de política pública no totalmente monetizables:

- **Impacto Ambiental y Sanitario:** Conclusión sobre la magnitud de la reducción de emisiones (material particulado, GEI) y el consecuente impacto positivo en la salud pública.
- **Eficiencia y Ahorro:** Conclusión sobre la mejora en la eficiencia energética y el potencial de ahorro económico para los usuarios y usuarias finales.
- **Innovación y Replicabilidad:** Conclusión sobre cómo el proyecto impulsa la adopción de tecnologías limpias en el país y si sienta un precedente replicable para futuros proyectos de Energía Distrital.
- **Equidad y Género:** Conclusión sobre el impacto neto del proyecto en la reducción de las brechas de género identificadas, cuantificando la disminución de la carga de trabajo no remunerado y la mejora en las condiciones de salud y acceso para mujeres y niñas.

7.2.4. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS

El estudio deberá finalizar con un resumen ejecutivo de los resultados de los distintos estudios que lo respaldan, considerando las conclusiones de rentabilidad, riesgo y alineación estratégica. Deberán indicarse todos aquellos factores externos al proyecto y supuestos que condicionan los resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada, tamaño óptimo, tamaño del mercado del producto e insumo, estacionalidades, economías y deseconomías externas etc.).