

Contenido

7.	Resultados de los indicadores y opciones en Lagos de Torca.....	2
7.1.	Ecología urbana.....	5
7.1.1.	Indicadores línea base	5
7.1.2.	Línea base de emisiones.....	25
7.1.3.	Medidas de mitigación, adaptación y de mejora	26
7.2.	Manejo integrado del agua	28
7.2.1.	Evaluación de indicadores.....	28
7.2.2.	Análisis del manejo de la escorrentía	36
7.2.3.	Análisis de la implementación de SUDS	39
7.2.4.	Comparación entre los casos de estudio: Lagos de Torca y Ciudad Verde.....	57
7.3.	Suministro y uso de energía	61
7.3.1.	Medidas de mejora y curvas de abatimiento	61
7.3.2.	Sistemas térmicos e integración energética.....	69
7.4.	Gestión de residuos	70
7.4.1.	Estimación de generación de residuos, aprovechamiento y disposición final.....	70
7.4.2.	Línea base de emisiones.....	72
7.4.3.	Medidas de mitigación y mejora	75
7.4.4.	Recomendaciones.....	83
7.5.	Movilidad sostenible	84
7.5.1.	Crecimiento de la huella urbana de Bogotá.....	85
7.5.2.	Estimación de población y número de viajes	90
7.5.3.	Reparto modal	93
7.5.4.	Escenarios por población	97
7.5.5.	Indicadores para Lagos de Torca.....	98
7.6.	Edificaciones e infraestructura urbana	100
7.6.1.	Línea base de emisiones de edificaciones residenciales.....	100
7.6.2.	Medidas de mitigación y mejora	121
7.6.3.	Limitaciones y recomendaciones para trabajos futuros.....	148
	Referencias.....	149
	Anexo 13. Escenarios para estimación de indicadores – Ecología urbana.....	154
	Anexo 14. Objetivos y metodología - Manejo integrado del agua.....	161
	Anexo 15. Indicadores Análisis de Ciclo de Vida – Gestión de residuos	163

7. Resultados de los indicadores y opciones en Lagos de Torca

El análisis sectorial de Lagos de Torca presentó un enfoque diferente al empleado para el caso de estudio Ciudad Verde debido a la disponibilidad y detalle de información y que algunas de las medidas e indicadores planteadas para Ciudad Verde dependían de las condiciones de operación luego de habitadas las viviendas. Información de la micro-ciudad relacionada con la distribución de las viviendas dentro de los diferentes planes parciales, la configuración de las entradas de los conjuntos residenciales y equipamientos, usos del suelo en los diferentes planes parciales, etc., sería útil para refinar los análisis de este caso de estudio. La evaluación del proyecto urbano Lagos de Torca se elaboró sectorialmente teniendo en cuenta los supuestos que se presentan a continuación.

Para la evaluación del caso de estudio de Lagos de Torca se construyó un escenario de desarrollo de vivienda para el periodo 2023-2050, con el objetivo de distribuir la entrega de las 134,998 unidades planeadas. En la actualidad existe un total de 12 planes parciales, con diferente grado de maduración, que contemplan la construcción de 92,209 unidades residenciales. Se proyecta igualmente la construcción de 42,789 unidades para completar el total planeado.

En los documentos técnicos de soporte de los 12 planes parciales, se encuentran valores estimados del tiempo de ejecución [1]–[12]. De esta forma, al conocer la cantidad de viviendas planeadas para cada plan parcial, el estado de avance de la propuesta y la duración estimada de ejecución, se estableció un flujo de entregas para los planes parciales. Por otro lado, en el caso de las viviendas que aún no están asociadas a una propuesta de plan parcial, se definió un escenario de desarrollo a partir de 2030 utilizando la duración máxima entre los planes parciales existentes. La Figura 1 presenta el escenario de desarrollo para Lagos de Torca, diferenciando los tipos de vivienda. La información puede consultarse de igual forma en la Tabla 1.

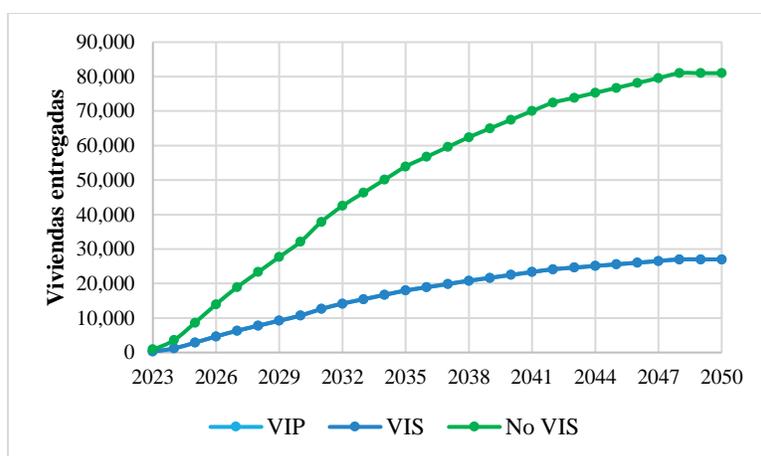


Figura 1. Escenario de desarrollo de vivienda en Lagos de Torca

Tabla 1. Escenario de desarrollo de vivienda en Lagos de Torca

Año	VIP	VIS	No VIS	Total
2023	323	323	969	1,615
2024	1,196	1,196	3,589	5,981
2025	2,879	2,879	8,639	14,397
2026	4,662	4,662	13,987	23,311
2027	6,318	6,318	18,956	31,592
2028	7,777	7,777	23,333	38,887

Año	VIP	VIS	No VIS	Total
2029	9,236	9,236	27,710	46,182
2030	10,695	10,695	32,087	53,477
2031	12,630	12,630	37,889	63,149
2032	14,177	14,177	42,530	70,884
2033	15,444	15,444	46,332	77,220
2034	16,711	16,711	50,131	83,553
2035	17,977	17,977	53,932	89,886
2036	18,921	18,921	56,765	94,607
2037	19,865	19,865	59,595	99,325
2038	20,808	20,808	62,426	104,042
2039	21,652	21,652	64,958	108,262
2040	22,496	22,496	67,490	112,482
2041	23,340	23,340	70,022	116,702
2042	24,146	24,146	72,438	120,730
2043	24,622	24,622	73,866	123,110
2044	25,097	25,097	75,293	125,487
2045	25,573	25,573	76,718	127,864
2046	26,048	26,048	78,145	130,241
2047	26,524	26,524	79,570	132,618
2048	26,999	26,999	80,997	134,995
2049	27,000	27,000	80,998	134,998
2050	27,000	27,000	80,998	134,998

Una vez establecido el escenario de desarrollo de vivienda para Lagos de Torca, se definió el escenario de tamaño de hogar probable a utilizar en el cálculo de indicadores y medidas de mitigación y mejora. En primer lugar, se estableció un escenario mínimo con base en las proyecciones de tamaño de hogar empleadas por el sector de Transporte en sus modelos de demanda. Se parte de un tamaño de 3.04 habitantes/ hogar en 2023 para evolucionar a 1.96 habitante/hogar en 2050. El escenario moderado contempla la evolución de 3.04 habitantes/ hogar en 2023 a 2.61 habitantes/hogar en 2050 multiplicando las nuevas viviendas por la proyección del tamaño promedio de hogar año a año. Por último, se tomó el tamaño promedio de hogar previsto en el Decreto 088 [13] (3.20 habitantes/hogar) para definir el escenario de saturación. Los tres escenarios de evolución del tamaño de hogar pueden observarse en la Figura 2. Se presenta igualmente una estimación de la población habitante de Lagos de Torca con base en estos escenarios (ver Figura 3 y Tabla 2).

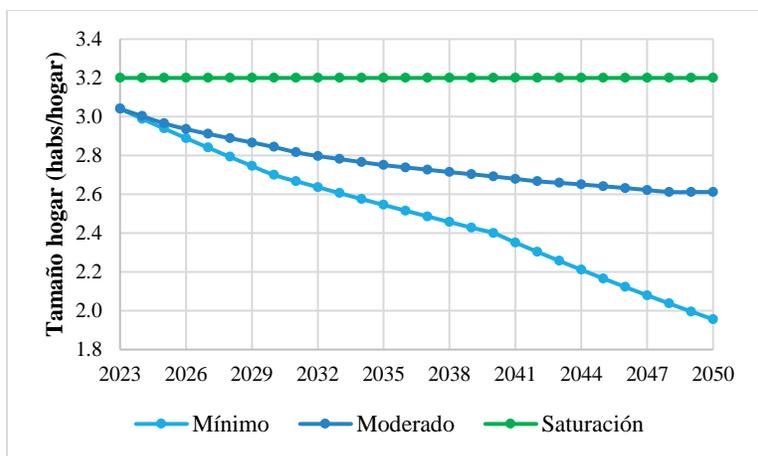


Figura 2. Escenarios de evolución del tamaño de hogar promedio

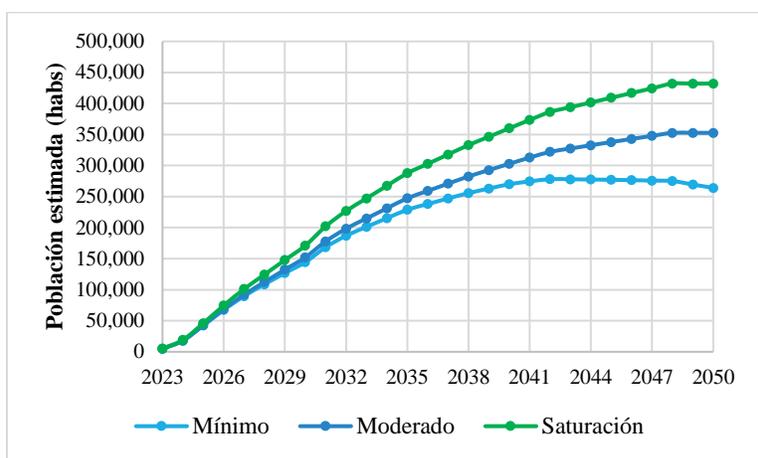


Figura 3. Evolución de la población estimada según escenario de tamaño de hogar

Tabla 2. Evolución del tamaño de hogar promedio y población estimada

Año	Tamaño del hogar (habs/hogar)			Población estimada (habs)		
	Mínimo	Moderado	Saturación	Mínimo	Moderado	Saturación
2023	3.04	3.04	3.20	4,911	4,911	5,168
2024	2.99	3.00	3.20	17,882	17,964	19,139
2025	2.94	2.97	3.20	42,318	42,702	46,070
2026	2.89	2.94	3.20	67,366	68,462	74,595
2027	2.84	2.91	3.20	89,759	91,990	101,094
2028	2.79	2.89	3.20	108,624	112,367	124,438
2029	2.75	2.87	3.20	126,828	132,401	147,782
2030	2.70	2.84	3.20	144,388	152,098	171,126
2031	2.67	2.82	3.20	168,506	177,907	202,077
2032	2.64	2.80	3.20	186,931	198,305	226,829
2033	2.61	2.78	3.20	201,256	214,818	247,104
2034	2.58	2.77	3.20	215,211	231,130	267,370
2035	2.55	2.75	3.20	228,812	247,251	287,635
2036	2.52	2.74	3.20	238,010	259,128	302,742
2037	2.49	2.73	3.20	246,954	270,858	317,840
2038	2.46	2.71	3.20	255,653	282,449	332,934
2039	2.43	2.70	3.20	262,907	292,697	346,438

Año	Tamaño del hogar (habs/hogar)			Población estimada (habs)		
	Mínimo	Moderado	Saturación	Mínimo	Moderado	Saturación
2040	2.40	2.69	3.20	269,957	302,825	359,942
2041	2.35	2.68	3.20	274,409	312,748	373,446
2042	2.30	2.67	3.20	278,127	322,027	386,336
2043	2.26	2.66	3.20	277,863	327,399	393,952
2044	2.21	2.65	3.20	277,488	332,655	401,558
2045	2.17	2.64	3.20	277,015	337,805	409,165
2046	2.12	2.63	3.20	276,446	342,850	416,771
2047	2.08	2.62	3.20	275,787	347,793	424,378
2048	2.04	2.61	3.20	275,042	352,636	431,984
2049	2.00	2.61	3.20	269,474	352,642	431,994
2050	1.96	2.61	3.20	264,013	352,642	431,994

7.1. Ecología urbana

7.1.1. Indicadores línea base

Plan de Ordenamiento Zonal

Para la ponderación y análisis de indicadores en el estudio de caso Lagos de Torca se realizaron mediciones a nivel del Plan Zonal y a nivel local, a través de dos planes parciales: El Bosque y Tibabita. Si bien el análisis se refiere exclusivamente al proyecto Lagos de Torca, considera las relaciones espaciales con el entorno en particular en lo referente a conectividad ecológica. Asimismo, los indicadores podrían ser utilizados y complementados posteriormente para adelantar análisis de otros desarrollos, a otras escalas y en mayor detalle, especialmente en lo que se refiere a indicadores cualitativos. Si bien el perímetro del Plan Zonal Lagos de Torca aprobado mediante Decreto 088 de 2017 abarca un área total de 18'029.185 m² (1802 has), para efectos de la ponderación de indicadores de ecología urbana se incluyó exclusivamente el área correspondiente a nuevos desarrollos, equivalente a 134 has. Por la misma razón, no se contabilizan las áreas verdes ni la población total de desarrollos existentes. Las ponderaciones de disponibilidad de áreas verdes públicas, tanto zonal como locales, se hicieron para tres escenarios probables de población. El primer escenario es una población de 432.000 de acuerdo con el Decreto 088. El segundo escenario es una población menor, 352.643 que es el resultado de multiplicar las nuevas viviendas por la proyección del tamaño promedio de hogar año a año. Finalmente, el tercer escenario es el más reducido, 269.474, que resulta del modelamiento de Metronamica. Adicionalmente, para cada escenario se hicieron ponderaciones para la población total estimada, la cual incluye no solo los habitantes sino la población flotante.

En la Tabla 3 se presenta el resumen de los indicadores del componente Ecología Urbana para este estudio de caso en el escenario 1, a continuación, se incluye el marco de referencia existente así como el cálculo de indicadores para los otros escenarios:

Indicador	Valor Lagos de Torca	Marco de referencia
Área verde pública total por habitante	10,67 m ² / habitante	10-15 m ² /habitante
Área verde protegida (EEP)	38.02%	NA
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante	5,15 m ² / habitante	4-10 m ² / habitante
Área Espacios verdes privados	4'315.341,25	NA

Accesibilidad Social	Parques zonales	23,86%	Parques zonales	100% <= 300 m
	Parques Metropolitanos	79,33%	Parques Metropolitanos	100% <=2 km
Conectividad (ecológica)	Difusa		Robusta	
Naturalidad	79,56%		80%	
Captura de CO₂	2614,9 tCO ₂ año ⁻¹		No existe un marco de referencia específico.	
Islas de calor	+3°C		<=+3°C	

Tabla 3. Valor indicadores Ecología Urbana para Lagos de Torca- Con Proyecto.- Escenario 1 (Línea Base)

Fuente: Elaboración propia.

Los espacios verdes de Lagos de Torca fueron cuantificados y categorizados con base en el plano y cuadro de áreas del proyecto urbanístico general, el cual se sintetiza en Figura 4:

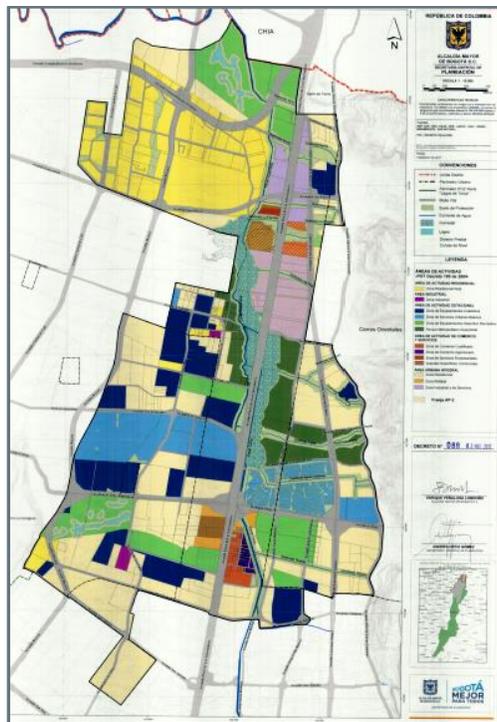


Figura 4. Usos "Lagos de Torca" 2020.

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación.

En la Figura 5 se relacionan las áreas de cada uno de estos espacios, los tipos y categorías que se encontraron en el Plan Zonal. Cómo área total del proyecto se tomó el área total de los planes parciales más las áreas verdes que se encuentran fuera de éstos. Para este indicador también se evaluaron los tres escenarios de población establecidos en el primer indicador, que se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6.

LAGOS DE TORCA ESCENARIO 1						
Area total del proyecto		13.413.401,32	Habitantes	432.000	Poblacion Total	636.689
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691.452,04	1,60	1,09	5,15%	13,07%
	Quebradas	773.647,00	1,79	1,22	5,77%	
	Canales	287.987,22	0,67	0,45	2,15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1.753.086,26	4,06	2,75	13,07%	13,07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708.466,32	1,64	1,11	5,28%	5,28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189.694,70	0,44	0,30	1,41%	11,31%
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312.316,72	0,72	0,49	2,33%	
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993.295,96	2,30	1,56	7,41%	
	Lagos	21.407,99	0,05	0,03	0,16%	
Subtotal Parques		2.225.181,69	5,15	3,49	16,59%	16,59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73.056,60	0,17	0,11	0,54%	4,72%
	Sistema Vial	246.245,86	0,57	0,39	1,84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313.926,60	0,73	0,49	2,34%	
Subtotal Sistema Vial		633.229,06	1,47	0,99	4,72%	4,72%
Subtotal Áreas Públicas		4.611.497,01	10,67	7,24	34,38%	34,38%

Tabla 4. Área por tipo de espacio verde escenario 1 con proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA ESCENARIO 2						
Area total del proyecto		13.413.401,32	Habitantes	352.643	Poblacion Total	557.332
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691.452,04	1,96	1,24	5,15%	13,07%
	Quebradas	773.647,00	2,19	1,39	5,77%	
	Canales	287.987,22	0,82	0,52	2,15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1.753.086,26	4,97	3,15	13,07%	13,07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708.466,32	2,01	1,27	5,28%	5,28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189.694,70	0,54	0,34	1,41%	11,31%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993.295,96	2,82	1,78	7,41%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312.316,72	0,89	0,56	2,33%	
	Lagos	21.407,99	0,06	0,04	0,16%	
Subtotal Parques		2.225.181,69	6,31	3,99	16,59%	16,59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73.056,60	0,21	0,13	0,54%	4,72%
	Sistema Vial	246.245,86	0,70	0,44	1,84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313.926,60	0,89	0,56	2,34%	
Subtotal Sistema Vial		633.229,06	1,80	1,14	4,72%	4,72%
Total Áreas Públicas		4.611.497,01	13,08	8,27	34,38%	34,38%

Tabla 5. Área por tipo de espacio verde escenario 2 con proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA ESCENARIO 3						
Area total del proyecto		13.413.401,32	Habitantes	269.474	Poblacion Total	474.163
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691.452,04	2,57	1,46	5,15%	13,07%
	Quebradas	773.647,00	2,87	1,63	5,77%	
	Canales	287.987,22	1,07	0,61	2,15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1.753.086,26	6,51	3,70	13,07%	13,07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708.466,32	2,63	1,49	5,28%	5,28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189.694,70	0,70	0,40	1,41%	11,31%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993.295,96	3,69	2,09	7,41%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312.316,72	1,16	0,66	2,33%	
	Lagos	21.407,99	0,08	0,05	0,16%	
Subtotal Parques		2.225.181,69	8,26	4,69	16,59%	16,59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73.056,60	0,27	0,15	0,54%	4,72%
	Sistema Vial	246.245,86	0,91	0,52	1,84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313.926,60	1,16	0,66	2,34%	
Subtotal Sistema Vial		633.229,06	2,35	1,34	4,72%	4,72%
Total Áreas Públicas		4.611.497,01	17,11	9,73	34,38%	34,38%

Tabla 6. Área por tipo de espacio verde escenario 3 con proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Se incluye el análisis de disponibilidad para la población total, es decir habitantes más población total, para tener una aproximación más cercana a la disponibilidad de áreas verdes en casos de alta ocupación.

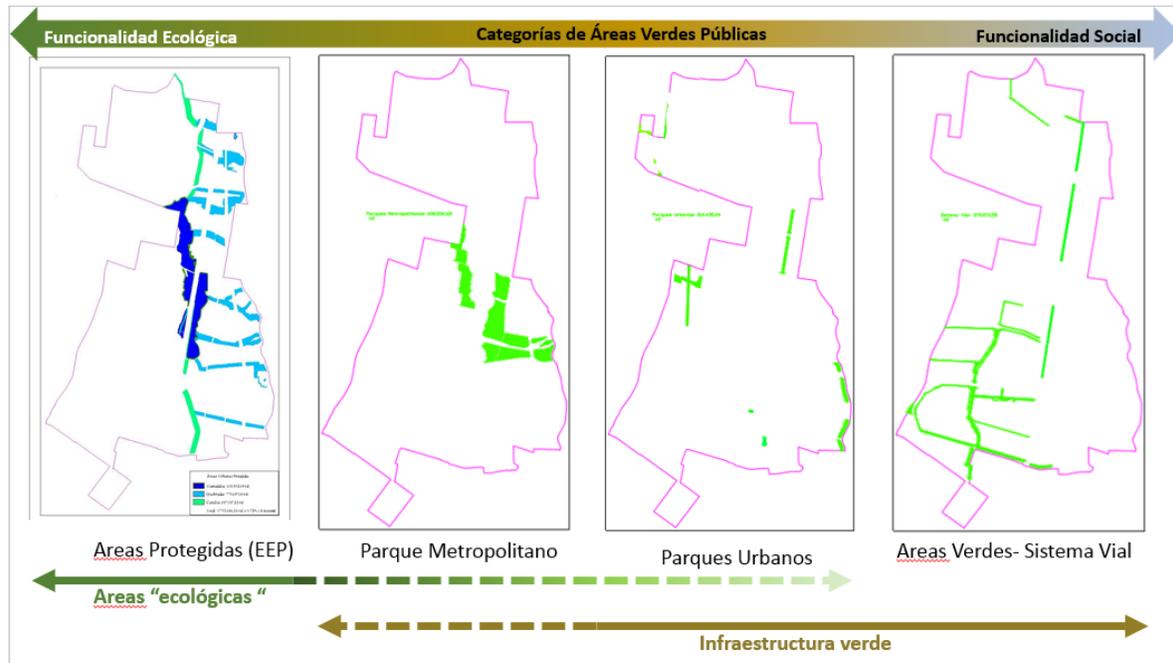


Figura 5. Categorías de áreas verdes públicas.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este análisis se encuentra que las áreas protegidas urbanas las conforman el humedal Torca – Guaymaral y las quebradas que bajan de los cerros orientales junto con las áreas de manejo exigidas por las normas nacionales y distritales vigentes. Si bien a primera vista se podrían ver como una serie de corredores ecológicos, su funcionalidad no es del todo cierta, especialmente al occidente del proyecto. Esto hace que la conectividad de los cerros orientales con la reserva Thomas van der Hammen sea muy poca o nula.

A nivel de los parques metropolitanos se encuentra el parque Guaymaral ubicado paralelamente al área de manejo del humedal Torca Guaymaral y de la quebrada Patiño. Dada su dimensión y ubicación con el diseño adecuado podría complementar la funcionalidad ecológica del humedal y fortalecer la conectividad entre los cerros y la reserva.

Aparentemente la mayoría de los parques urbanos se desarrollarán dentro de las cesiones de los distintos planes parciales que componen el proyecto. Solo se plantean unos pocos a modo de parques lineales. Se diferenciaron estos de los parques lineales del sistema vial por su ancho y proporción. Los parques urbanos tienen un ancho en el que se podrían llevar a cabo varias actividades una al lado de la otra y cuya proporción ancho largo no denota una esbeltez más asociada con elementos como el separador de la autopista o los controles ambientales de las avenidas de mayor envergadura. La gran mayoría de los parques urbanos del plan zonal son los ya cedidos al distrito por parte de las urbanizaciones San Simón y San Sebastián ubicadas al norte del proyecto. La primera impresión es

que no existe un sistema interconectado de parques urbanos y tampoco parecieran tener funciones ecológicas particularmente significativas.

Las áreas verdes asociadas con el sistema vial son los separadores, controles ambientales y parques lineales desarrollados paralelamente a las vías. Estos están ubicados principalmente en la zona suroccidental del plan zonal. Dada su ubicación, pareciera que la prioridad es garantizar el acceso a zonas verdes públicas, pero dadas sus dimensiones y ubicaciones no es clara su funcionalidad social como zonas de recreación. Por esto mismo su uso como corredor ecológico o de conectividad ecológica es nulo. En cuanto a su capacidad de conexión peatonal, se debe ver con las propuestas de los planes parciales que elementos urbanos están conectando. Sin embargo, su funcionalidad y conectividad social podría incrementarse articulándose con las áreas verdes de los planes parciales (ver Figura 5).

En este contexto se ponderaron los valores de los diversos indicadores, como se establece a continuación.

- Disponibilidad Área verde pública total por habitante

Para el cálculo del área verde pública total por habitante se tomó el área de las zonas verdes protegidas (Humedal Guaymaral, áreas de rondas de quebradas), el parque metropolitano Guaymaral y los parques urbanos, zonales y alamedas generados por el proyecto, los parques y alamedas creados por cesión de los planes parciales y las áreas verde correspondientes a separadores y controles ambientales viales, tanto del plan zonal como de los planes parciales, tal como se muestran en la Figura 5.

Para el cálculo de las cesiones de los planes parciales se tomó el promedio de los dos planes parciales analizados, El Bosque y Tibabita

Los siguientes son los valores de disponibilidad total para cada uno de los tres escenarios poblacionales (ver Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6:

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{4'611.497.01m^2 \text{ de área verde}}{432.000 \text{ habitantes}} = 10,67 \frac{m^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{4'611.497.01m^2 \text{ de área verde}}{352.643 \text{ habitantes}} = 13,08 \frac{m^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{4'611.497.01m^2 \text{ de área verde}}{269.474 \text{ habitantes}} = 17,11 \frac{m^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

En los tres escenarios se ve que la disponibilidad total de áreas verdes públicas por habitante se ubica por encima del mínimo de 10m² por habitante recomendado. Sin embargo, sólo en el tercer escenario se obtendría un valor por encima del valor superior del rango recomendado de 15 m² por habitante.

Vale la pena anotar que, en los tres escenarios, el área verde incluye áreas duras, tal como se pondera en el indicador de Naturalidad.

A continuación, se hace una ponderación desagregada por tipo de espacio verde.

- Área verde protegida (EEP)

En este indicador se evalúa la relación entre el área verde protegida y el total de áreas verdes públicas del proyecto. En el caso de Lagos de Torca, estas áreas que corresponden a los humedales Torca y Guaymaral y a las quebradas y canales con sus respectivas zonas de manejo (Ver Figura 4).

$$\text{Área verde protegida} = \frac{1'753.086,26 \text{ m}^2 \text{ de área verde protegida}}{4'611.497,01 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 38.02\%$$

Dado que no se encontró en la literatura un valor de referencia que relacione la cantidad de área verde protegida con el número de habitantes, la disponibilidad de áreas verdes protegida se pondera principalmente en relación con su función de conectividad ecológica y medidas de mitigación.

Se considera asimismo que la disponibilidad de áreas protegidas significativas, como en el caso de Lagos de Torca podría contribuir a compensar bajas disponibilidad de áreas verdes publicas socialmente funcionales (parques urbanos, alamedas); sin embargo, está pendiente la construcción de un valor de referencia.

- **Área espacios públicos infraestructura verde por habitante**

Este valor califica la disponibilidad de áreas verdes publicas socialmente funcionales, es decir, aquellas cuyas características las hacen aptas para el desarrollo de actividades recreativas activas y pasivas, además de contribuir a la estructuración y paisaje urbano. Por lo tanto, se excluyen las áreas protegidas y las áreas verdes asociadas al sistema vial.

Tomando como base de ponderación exclusivamente parques y alamedas públicas se obtiene una disponibilidad de 5,15 m² por habitante, lo que se encuentra dentro del rango de 4m² a 10 m² recomendado para el escenario de línea Base.

$$\text{Área infraestructura verde} = \frac{2'225.181,69 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{432.000 \text{ habitantes}} = 5,15 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

Al evaluar los otros dos escenarios se encuentra que, aunque el indicador mejora, nunca supera el rango.

$$\text{Área infraestructura verde} = \frac{2'225.181,69 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{352.643 \text{ habitantes}} = 6,31 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área infraestructura verde} = \frac{2'225.181,69 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{269.474 \text{ habitantes}} = 8,26 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

- **Área Espacios verdes privados**

Dentro del área delimitada en el perímetro exterior del Plan Zonal Lagos de Torca se ubican en la actualidad una serie de equipamientos recreativos, educativos e institucionales, los cuales se desarrollan sobre lotes de gran extensión, 4'315.341,25 metros cuadrados en total y presentan bajos índices de ocupación. Corresponden en su mayoría a centros educativos, clubes campestres y jardines cementerios. Si bien su uso y accesibilidad se encuentran restringidos al público en general, por las dimensiones de sus áreas libres disponibles y por su ubicación estratégica, con los planes adecuados de restauración ecológica, podrían fortalecer la conectividad ecológica entre los cerros y la reserva (Ver Figura 7).

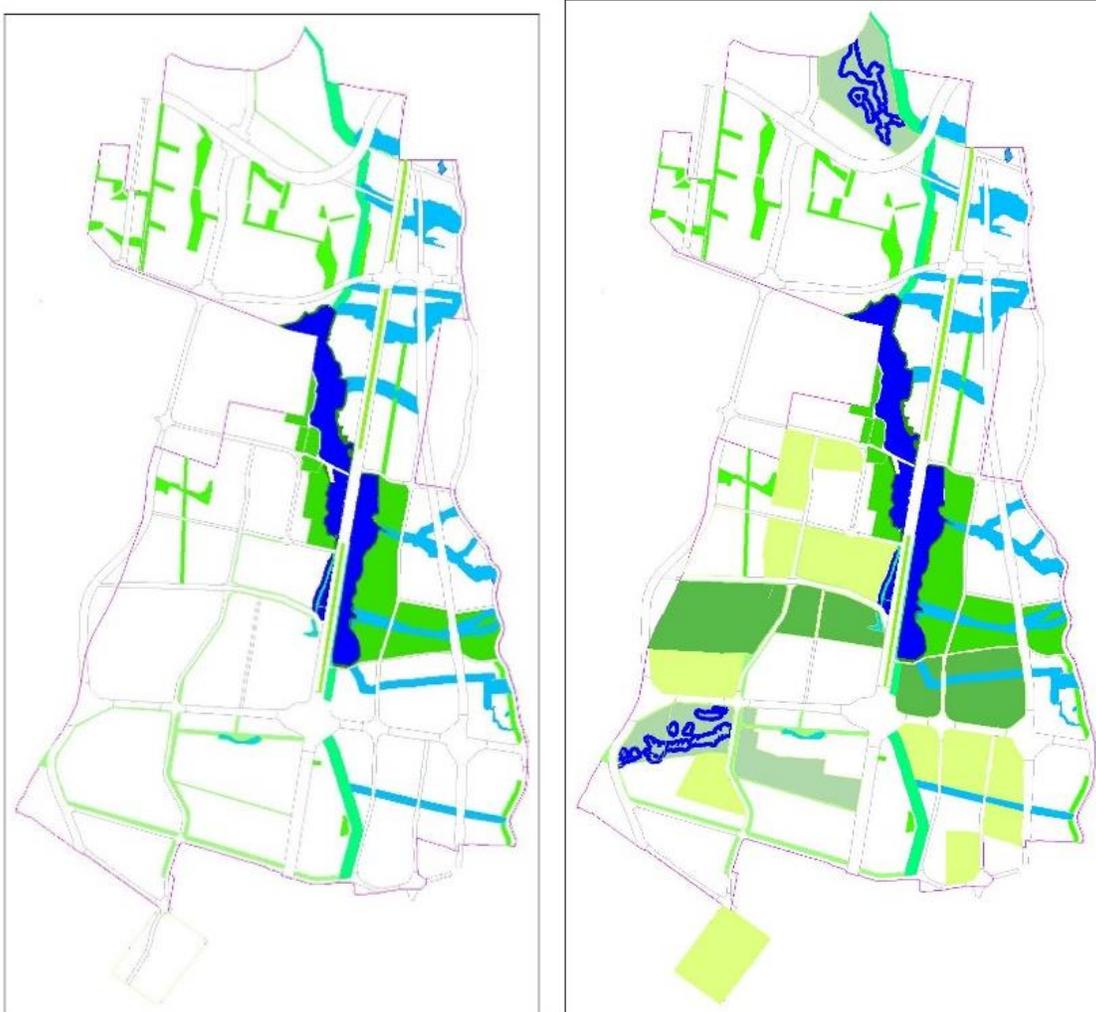


Figura 6. Sistema de áreas verdes Lagos de Torca sin y con institucionales.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que estos espacios son grandes atractores de población flotante, se divide el área por la población total de habitantes más población flotante, para tener una aproximación a su disponibilidad, aunque esta no sea pública y no todos los ciudadanos puedan aprovecharla por igual. En la actualidad no se encontró un valor de referencia en relación con este tipo de áreas, las cuales no han sido tradicionalmente incluidas en la cuantificación de áreas verdes, dado su carácter privado.

- Índice de Naturalidad

La naturalidad se estima a partir de la relación de superficies duras y de baja permeabilidad dentro de las áreas verdes con el total de éstas. Entre menos superficies duras haya existe una mayor posibilidad de asegurar una cobertura vegetal adecuada. A partir de lo estipulado en el decreto 088 respecto al área máxima que se puede endurecer de las áreas verdes se calcula el total de área endurecida para establecer la proporción de coberturas como se muestra en la Tabla 7 y la Tabla 8.

Tipología	Áreas Verdes	M2
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691.452,04
	Quebradas	773.647,00
	Canales	287.987,22
Subtotal Áreas Protegidas		1.753.086,26
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708.466,32
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189.694,70
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993.295,96
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312.316,72
	Lagos	21.407,99
Subtotal Parques		2.225.181,69
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73.056,60
	Sistema Vial	246.245,86
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313.926,60
Subtotal Sistema Vial		633.229,06
Total Áreas Públicas		4.611.497,01

Tabla 7. Total áreas verdes.

Fuente: Elaboración propia..

Tipología	Áreas Verdes	M2
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622.306,84
	Quebradas	696.282,30
	Canales	259.188,50
Subtotal Áreas Protegidas		1.577.777,63
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354.233,16
Parques Urbanos	Parques Urbanos	142.271,03
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	744.971,97
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195.197,95
	Lagos	21.407,99
Subtotal Parques		1.458.082,10
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73.056,60
	Sistema Vial	246.245,86
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313.926,60
Subtotal Sistema Vial		633.229,06
Subtotal Áreas Públicas		3.669.088,79

Tabla 8. Total áreas verdes descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Naturalidad} = \frac{3'669.088,79\text{m}^2 \text{ de área verde sin endurecer}}{4'611.497,01 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 79.56\% \text{ de áreas verdes sin endurecer.}$$

En las áreas verdes del proyecto se puede endurecer un 20,44% de las áreas verdes públicas, por lo que se evalúa como regular y se encuentra por encima del 20% recomendable, aunque por muy poco.

- Conectividad ecológica

Lagos de torca tiene la capacidad de conectar los cerros orientales con la reserva Thomas van Der Hammen y con el río Bogotá. El manejo de la quebrada Patiño, la creación del parque metropolitano

Guaymaral y el plan de manejo y el área de manejo del humedal construyen los elementos de mayor conectividad entre cerros y reserva. Dadas las dimensiones, el área y la posibilidad de un diseño paisajístico adecuado, se encuentra en este corredor la posibilidad de una conectividad robusta (ver Figura 7).

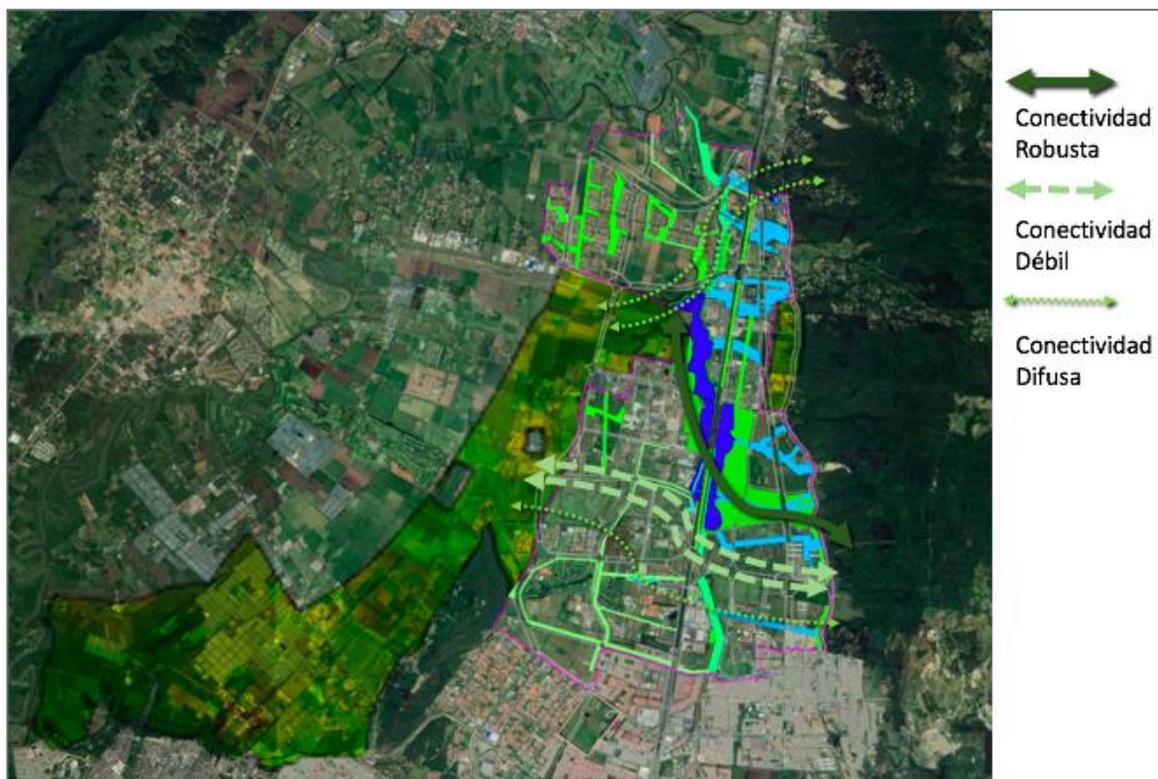


Figura 7. Conectividad ecológica Lagos de Torca.

Fuente: Elaboración Propia

También se encuentra un corredor potencial en los lotes de los jardines cementerios, clubes campestres y colegios ubicados al sur del humedal. Si bien no cuentan con el mejor diseño paisajístico para generar una conectividad robusta, las dimensiones de áreas verdes libres y la baja intensidad de uso permiten una conectividad débil (ver Figura 7).

Por último, los parques urbanos de las urbanizaciones San Simón y San Sebastián al noroccidente junto con las áreas de manejo de las quebradas Novita, Floresta y Cañiza al nororiente permiten una conectividad más difusa, fragmentada por las vías y las construcciones, pero latente y con potencial (ver Figura 8).



Figura 8. Conectividad ecológica Lagos de Torca según el distrito.
 Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

Al comparar con lo establecido por el distrito en el plano de conectividad ecológica del proyecto (Figura 8) se encuentra que se concuerda en la direccionalidad y en la ubicación de los corredores de conexión. También se encuentra que hay concordancia en la potencialidad de las áreas institucionales para la conectividad. Sin embargo, el plano indica conectividad a través de parque lineales, controles ambientales y alamedas que atraviesan los planes parciales. Esto puede no volverse una realidad pues no se sabe con certeza el trazado de los parques dentro de los planes parciales y porque éstos pueden tener unas dimensiones y geometría que en un contexto construido no tengan ninguna funcionalidad a nivel de conectividad ecológica. Ejemplo de esto es lo que sucede en el plan parcial “El Bosque”, como se analiza más adelante.

- Accesibilidad social

Para la medición de este indicador, se incluyeron los espacios verdes públicos que corresponden principalmente a parques. Como se mencionó previamente, no existe una distancia globalmente aceptada en términos de tiempo o de distancia a diferentes espacios verdes, la misma está relacionada con distancias a las cuales sea posible acceder caminando especialmente por niños. Cuando solo se toman en cuenta los espacios categorizados como parques urbanos y metropolitanos, se encuentra que en la zona sur occidental el punto más lejano de un parque se encuentra a 2 km de distancia. Adicionalmente, se encontró que solo el 23,86% del área de Lagos de Torca se encuentra a 200 metros o menos de un parque zonal (Figura 9) y un 79,33% a 2 kilómetros de un parque metropolitano (Figura 10). indicador que corresponde al deseable propuesto en el “UK National Ecosystem Assessment” [1].

Sin embargo, se puede inferir a partir de los planes parciales y a modo de proxy que la totalidad de las viviendas se encontrarán a 200 metros o menos de un parque zonal o urbano



Figura 9. Accesibilidad parque metropolitano Guaymaral.

Fuente: Elaboración propia.

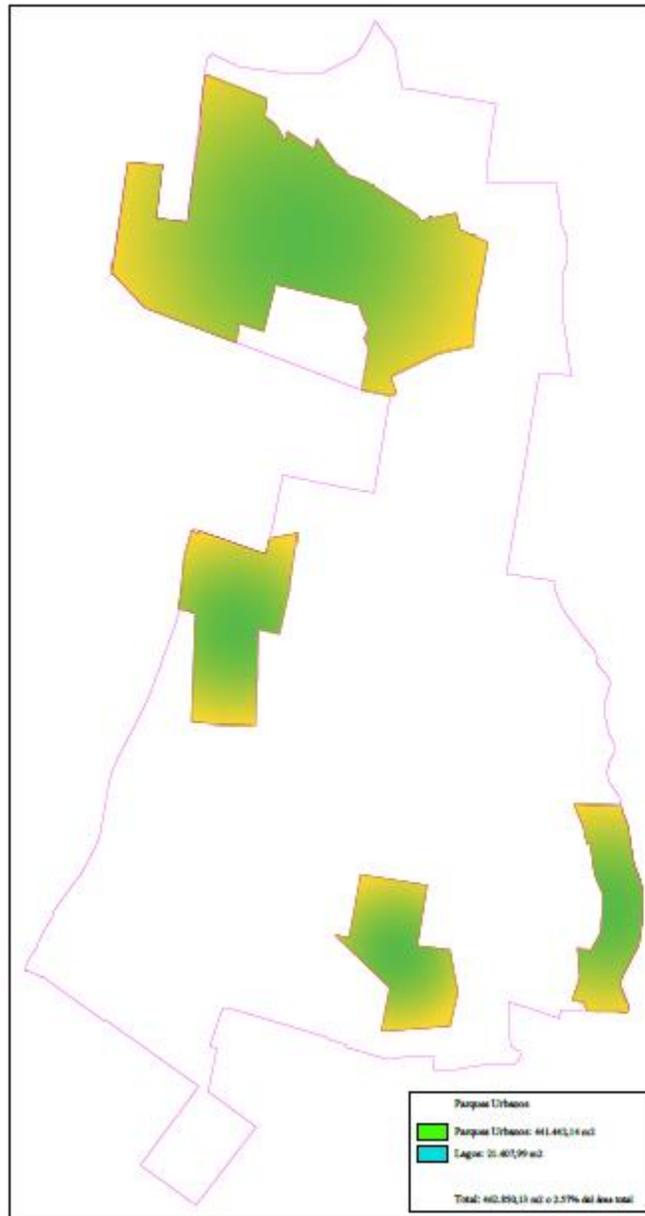


Figura 10. Accesibilidad parques urbanos.

Fuente: Elaboración propia.

- Captura de CO₂

Con el desarrollo del proyecto Lagos de Torca, de acuerdo a la información publicada por la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá D.C., se pasará de 18 a 400 ha de cobertura arbórea, y de 5.000 a 100.000 árboles. Así las cosas, como ya se mencionó, la estimación de los cambios en la existencia de C en biomasa aérea y subterránea para la cobertura forestal se llevó a cabo igualmente con base en las directrices del IPCC [11][16]. En tal sentido, el cambio en la existencia de CO₂ en biomasa es de 0,0075tC árbol⁻¹año⁻¹, es decir que las 400 hectáreas de cobertura arbórea de Lagos de Torca capturarían anualmente alrededor de 2614,9 tCO₂ año⁻¹ tCO₂.

- **Regulación del clima local**

Según el estudio de Ángel, Ramírez y Domínguez [14], luego de evaluar los cambios de temperatura media, mínima y máxima en Bogotá durante 40 años, se identificó la existencia de una isla de calor que abarca la mayor parte de la ciudad, con una temperatura de aproximadamente 3°C superior a la temperatura media de la zona periférica. Asimismo, Gómez y Castañeda [15] por medio de imágenes LANDSAT 7 ETM+ de los años 1999, 2005 y 2012, identificaron también un aumento en la temperatura superficial en la ciudad, especialmente en localidades como Fontibón, Puente Aranda, con un efecto “cañón” hacia Engativá, Kennedy y el centro de la ciudad como se muestra en la Figura 11 y Figura 12, ésta última incluye correcciones atmosféricas en las que se hace evidente la relación entre la temperatura y las áreas con menor cobertura vegetal.

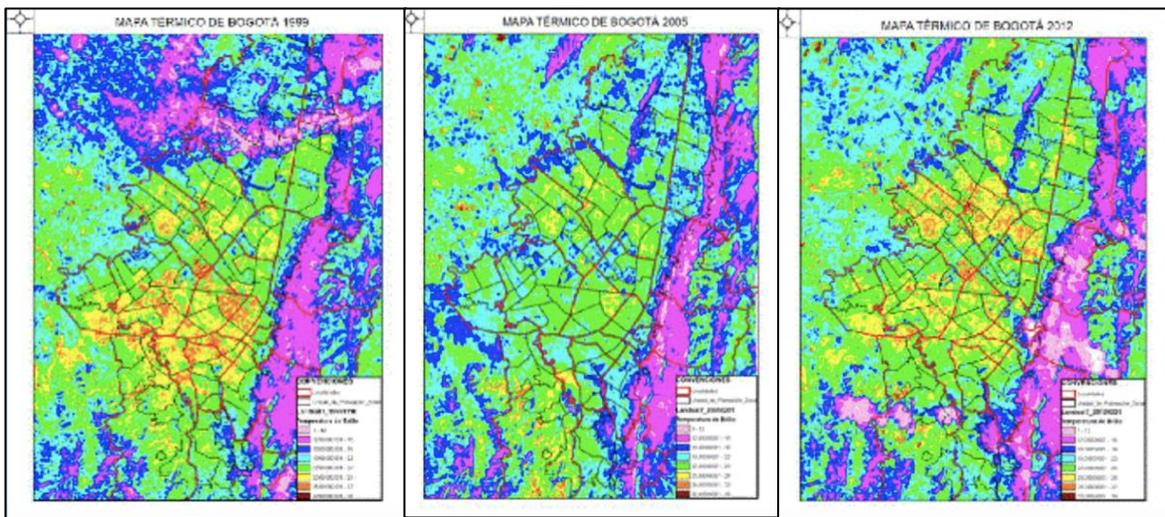


Figura 11. Temperatura superficial Bogotá- 1995,2005 y 2012.

Fuente: [15]

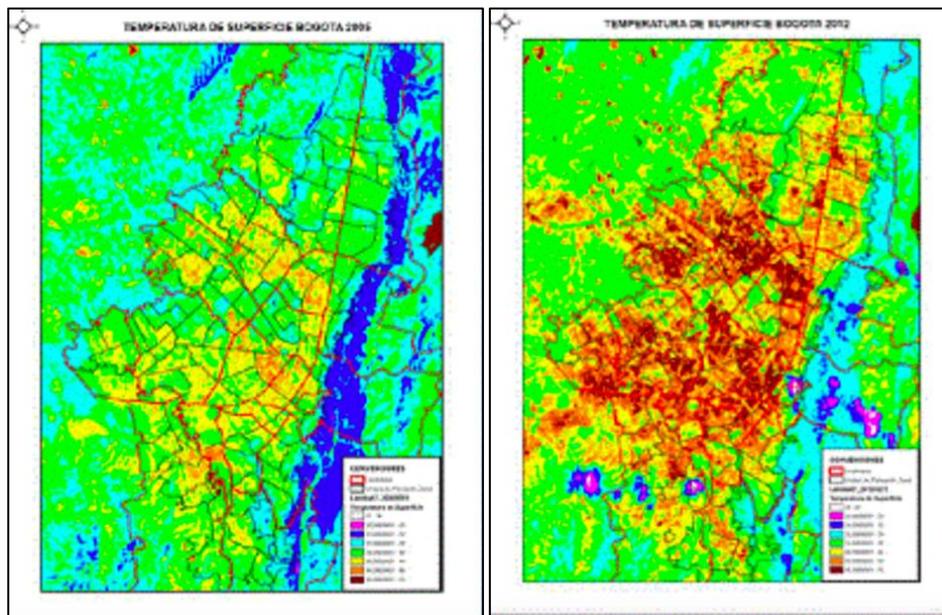


Figura 12. Temperatura Superficial con correcciones atmosféricas años 2005 y 2012.

Fuente: [15]

Por otro lado, en el mapa de temperatura media superficial disponible en la página “Datos Abiertos Bogotá”, se encuentra que, para 2018 en el norte y gran parte de la ciudad, la temperatura promedio fue de aproximadamente 14,33°C., Esta temperatura es 0,4°C menor a la presentada en localidades como Fontibón y alrededor de 0,8°C menor que en localidades como Kennedy. Lo anterior, de acuerdo con las curvas de interpolación de la temperatura media superficial, construidas con modelos geoestadísticos basados en la dispersión de puntos de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB), y a estas se relacionan valores de temperatura media superficial. Así las cosas, de acuerdo diferentes análisis multitemporales, con el desarrollo del proyecto Lagos de Torca, se puede inferir un aumento de alrededor de 3°C en la temperatura media. No obstante, cabe resaltar que esta dependerá además de la cobertura vegetal, de los materiales, colores y otros utilizados para las edificaciones.

Plan Parcial 26 - “El Bosque”

Con base en los mismos criterios utilizados para la ponderación del Plan zonal, se ponderaron los Planes Parciales. Los resultados generales se incluyen en la Tabla 9 a continuación:

Indicador	Valor El Bosque		Marco de referencia	
Área verde pública por habitante	4,57 m ² / habitante		10-15 m ² /habitante	
Área verde protegida (EEP)	28.04%		NA	
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante	2,72 m ² / habitante		4-10 m ² / habitante	
Accesibilidad Social	Parques zonales	97,63%	Parques zonales	100% <= 300 m
	Parques Metropolitanos	100%	Parques Metropolitanos	100% <=2 km
Conectividad (ecológica)	Débil		Robusta	
Naturalidad	82,27%		80%	

Tabla 9. Indicadores generales “El Bosque”.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de “El Bosque”, se utilizó como base el Plano aprobado del Plan Parcial suministrado por Amarillo (Figura 13).

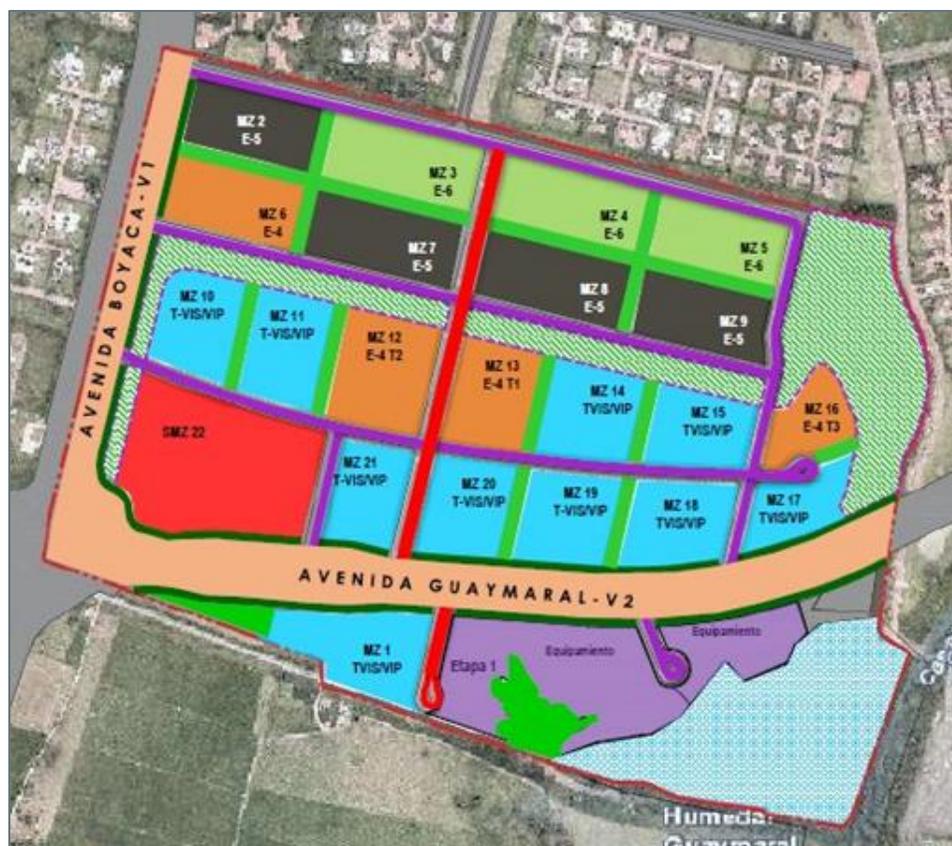


Figura 13. Usos plan parcial “El Bosque”.

Fuente: Presentación plan parcial “El Bosque” Amarillo

Para el escenario 1 el número de habitantes del plan parcial es 41.648, para el escenario 2 es 33.893 y para el escenario 3 es 24.729. El área total de áreas verdes es 190.522,03 m².

Dentro del plan parcial se encuentran áreas verdes que corresponden al humedal, parques zonales, parques lineales, alamedas y controles ambientales. Al categorizar los espacios se obtiene la distribución incluida en la Tabla 10:

Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	53.422,11	1,28	1,24	7,47%	7,47%
	Parques Urbanos	57.171,53	1,37	1,32	7,99%	11,83%
Verde Asociado al Sistema Vial	Parque Lineal	27.454,57	0,66	0,64	3,84%	
	Alamedas	29.067,07	0,70	0,67	4,06%	7,34%
	Controles Ambientales	23.406,75	0,56	0,54	3,27%	
Total		190.522,03	4,57	4,41	26,64%	26,64%

Tabla 10. Área por tipo de espacio verde plan parcial “El Bosque”

Fuente: Elaboración propia.

- **Área Verde publica total por Habitante**

Para ambos planes parciales se evaluaron los indicadores de disponibilidad en los mismos tres escenarios de población que se establecieron para el plan local.

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{190.522,03\text{m}^2 \text{ de área verde}}{41.648 \text{ habitantes}} = 4,57 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{190.522,03\text{m}^2 \text{ de área verde}}{33.893 \text{ habitantes}} = 5,62 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{190.522,03\text{m}^2 \text{ de área verde}}{24.729 \text{ habitantes}} = 7,70 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

Al evaluar las áreas verdes del plan parcial se encuentra que estas no cumplen con lo recomendado de disponibilidad de entre 10m² y 15 m² dentro del plan parcial. Es decir, parte de la disponibilidad se encuentra en las áreas generadas por el plan zonal, principalmente en el parque metropolitano y en las áreas protegidas.

- **Área verde protegida (EEP)**

El plan parcial El Bosque tiene dentro de su perímetro una parte del espejo de agua y de la ZMPA del humedal correspondiente al 28,04% de las áreas verdes y al 7,47% del área bruta del plan parcial.

$$\text{Área verde protegida} = \frac{53.422,11 \text{ m}^2 \text{ de área verde protegida}}{190.522,03 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 28,04\%$$

Se encuentra que dentro del plan parcial hay una fracción del humedal y de su área de manejo. No queda claro si es responsabilidad del promotor del plan parcial la adecuación e implementación del plan de manejo ambiental del humedal, o solo la cesión del área.

- **Área espacios públicos infraestructura verde por habitante**

Los parques urbanos generados se dividen en dos tipologías. Los de geometría más orgánica y proporciones entre 1:1 y 1:2 que colindan con espacios naturales o con parques de otra urbanización. Los otros son los parques lineales con una proporción mucho más esbelta ubicados de forma paralela a la Avenida Boyacá y a la vía zonal (vía central del Plan Parcial).

Estos parques por su forma y ubicación, si bien son muy accesibles, pueden no tener la mayor funcionalidad social o ecológica sino ser solamente un área de desplazamiento como se muestra en la imagen promocional del proyecto en la que el parque lineal se muestra con una vía peatonal y zonas verdes ajardinadas a los lados sin mostrar áreas de actividad de recreación. Además, se evidencia que las áreas recreativas se encontraran bastante cercanos a vías vehiculares lo cual puede entorpecer su desarrollo.

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{113.693,17\text{m}^2 \text{ de inf verde}}{41.648 \text{ habitantes}} = 2,72 \frac{\text{m}^2 \text{ de área inf verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{113.693,17\text{m}^2 \text{ de inf verde}}{33.893 \text{ habitantes}} = 3,35 \frac{\text{m}^2 \text{ de área inf verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{113.693,17\text{m}^2 \text{ de inf verde}}{24.729 \text{ habitantes}} = 4,60 \frac{\text{m}^2 \text{ de área inf verde}}{\text{habitante}}$$

Al analizar la disponibilidad se encuentra que para el escenario base y el escenario 2 el indicador se encuentra por debajo de lo recomendado, mientras que en el escenario 3 se encuentra dentro del rango.

- Accesibilidad

La accesibilidad a parques zonales en un radio de 300 metros está garantizada para el 97,63% de los habitantes del plan parcial con los parques zonales previstos dentro de este desarrollo. El 2,37% que está a más de 300 metros corresponde a la manzana 1 que, cabe notar, se encontrará adyacente a la Reserva Thomas van Der Hammen.

El acceso a parques metropolitanos en un radio de 2000 metros está garantizado para toda la población del plan parcial con el parque metropolitano Guaymaral.

- Conectividad Ecológica Plan Parcial El Bosque

En el plan de conectividad de Lagos de Torca se indica un trazado de conectividad entre la avenida Guaymaral y el humedal. Sin embargo, en el desarrollo del plan parcial esta conectividad se plantea a través de un parque lineal ubicado junto a una vía secundaria y junto a la avenida Boyacá con un trazado ortogonal y con una curva de 90° que además se da entre edificios de 15 pisos.



Figura 14. Conectividad ecológica en el área del plan parcial “El Bosque”.
Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

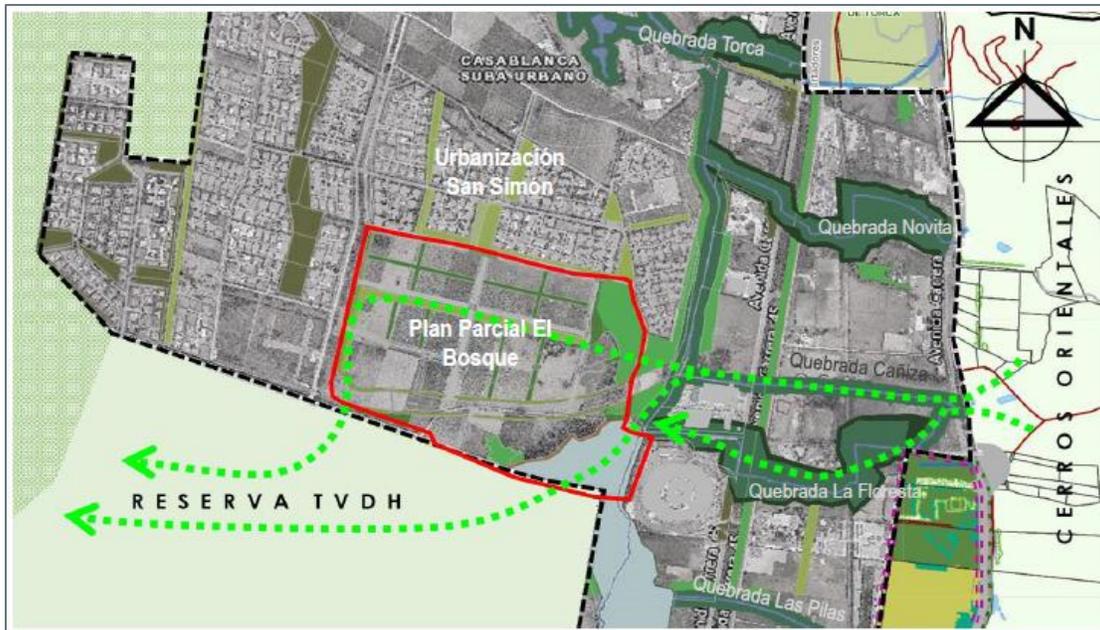


Figura 15. Conectividad ecológica en el área del plan parcial “El Bosque”.
Fuente: Secretaría Distrital de Planeación



Figura 16. Imagen parque lineal plan parcial “El Bosque”.

Fuente: Presentación plan parcial “El Bosque” Amarilo

El trazado y proporciones del Parque Lineal, la proporción de área dura correspondiente a vías peatonales y ciclovías previstas en su interior (ver Figura 16) así como la intensidad de actividad probable, no generan las condiciones requeridas para poder hablar de la conectividad ecológica prevista en el plano zonal.

- *Naturalidad.*

El primer indicador de naturalidad corresponde a la proporción de área verde real, una vez descontadas las áreas duras previstas en las diversas categorías de espacio verde

$$\text{Naturalidad} = \frac{156.756,53 \text{ m}^2 \text{ de área verde sin endurecer}}{190.522,03 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 82,27\% \text{ de áreas verdes sin endurecer.}$$

En las áreas verdes del proyecto se puede endurecer el 17,73 % de las áreas verdes públicas, por lo que se evalúa como bueno y se encuentra por debajo del 20% recomendable.

Plan Parcial 12 - “Tibabita”

Con base en los mismos criterios utilizados para la ponderación del Plan zonal, se ponderaron los Planes Parciales. En el caso del Plan Parcial 12-“Tibabita” la información base es la que se encuentra disponible en la página de la Secretaria Distrital de Planeación, correspondiente a la propuesta presentada por Prodesa, actualmente en estudio. Los resultados generales de la ponderación de indicadores se incluyen en la Tabla 11 a continuación

Indicador	Valor Tibabita		Marco de referencia	
Área verde pública por habitante	4,11 m ² / habitante		10-15 m ² /habitante	
Área verde protegida (EEP)	28.04%		NA	
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante	2,31 m ² / habitante		4-10 m ² / habitante	
Accesibilidad Social	Parques zonales	100%	Parques zonales	100% <= 300 m
	Parques Metropolitanos	100%	Parques Metropolitanos	100% <=2 km
Conectividad (ecológica)	Difusa		Robusta	
Naturalidad	85,97%		80%	

Tabla 11. Valor indicadores Ecología Urbana Plan Parcial Tibabita.

Fuente: Elaboración propia..

Dentro del plan parcial se encuentran áreas verdes que corresponden a la quebrada Tibabita, parques zonales, parques lineales, alamedas y controles ambientales. Para el escenario 1 el número de habitantes del plan parcial es 18.445, para el escenario 2 es 14.986 y para el escenario 3 es 10.952. El área total de áreas verdes es 75.840,08 m²

Al categorizar los espacios se obtiene la siguiente distribución:

PLAN PARCIAL TIBABITA (PRODESA)						
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Ronda quebrada Tibabita	21.643,42	1,17	1,13	8,42%	8,42%
	Total Afectaciones	21.643,42	1,17	1,13	8,42%	8,42%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	19.153,75	1,04	1,00	7,45%	12,86%
	Parque Líneal	13.917,34	0,75	0,73	5,41%	
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	9.488,21	0,51	0,50	3,69%	8,21%
	Controles Ambientales	11.637,36	0,63	0,61	4,52%	
	Total Cesiones	54.196,66	2,94	2,83	21,07%	21,07%
	Total	75.840,08	4,11	3,96	29,49%	29,49%

Tabla 12. Área por tipo de espacio verde plan parcial “Tibabita”.

Fuente: Elaboración propia.

- **Área Verde pública total por Habitante.**

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{75.840,08 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{18.445 \text{ habitantes}} = 4,11 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{75.840,08 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{14.986 \text{ habitantes}} = 5,06 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área verde total por habitante} = \frac{75.840,08 \text{ m}^2 \text{ de área verde}}{10.952 \text{ habitantes}} = 6,92 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

Al evaluar las áreas verdes del plan parcial se encuentra que estas no cumplen con lo recomendado de disponibilidad de entre 10m² y 15 m² dentro del plan parcial. Es decir, parte de la disponibilidad se encuentra en las áreas generadas por el plan zonal, principalmente en el parque metropolitano y en las áreas protegidas.

- **Área verde protegida (EEP)**

El plan parcial Tibabita tiene dentro de su perímetro una parte del cauce y de la ZMPA de la quebrada Tibabita correspondiente al 2853% de las áreas verdes y al 8,42% del área bruta del plan parcial.

$$\text{Área verde protegida} = \frac{21.643,42 \text{ m}^2 \text{ de área verde protegida}}{75.840,08 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 28.53\%$$

- **Área espacios públicos infraestructura verde por habitante**

Se generan parques urbanos y alamedas todos bajo la tipología de parque lineal. El parque central y el parque 4 parecen tener un ancho suficiente para que se desarrollen actividades recreativas y de funcionalidad social junto con zonas verdes dedicadas a una funcionalidad ecológica. Las alamedas, sin embargo, no tienen un ancho suficiente para que estas dos funcionalidades se den simultáneamente en el espacio.

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{42.559,30 \text{ m}^2 \text{ de inf verde}}{18.445 \text{ habitantes}} = 2,31 \frac{\text{m}^2 \text{ de inf verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{42.559,30 \text{ m}^2 \text{ de inf verde}}{14.986 \text{ habitantes}} = 2,83 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Área inf verde por habitante} = \frac{42.559,30 \text{ m}^2 \text{ de inf verde}}{10.952 \text{ habitantes}} = 3,88 \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$$

Al evaluar el indicador se encuentra que en ningún escenario el valor se encuentra dentro del rango de referencia.

- **Accesibilidad**

La accesibilidad a parques zonales en un radio de 300 metros está garantizada para el 100% de los habitantes del plan parcial con los parques zonales previstos dentro de este desarrollo. El acceso a parques metropolitanos en un radio de 2.000 metros está garantizado para toda la población del plan parcial con el parque metropolitano Guaymaral.

- **Conectividad Ecológica Plan Parcial Tibabita**

En el plan de conectividad de Lagos de Torca se indica un trazado de conectividad a través del eje de la quebrada Tibabita para conectar los cerros con el canal torca y posteriormente con el humedal. Si bien esta propuesta tiene la ventaja de contar con las ZMPAs de la quebrada y el canal para generar una posible conectividad, esta sigue siendo difusa pues no cuenta con un ancho significativo y tiene varios cruces con la infraestructura gris que la interrumpen.



Figura 17. Conectividad ecológica en el área del plan parcial "Tibabita".

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

- **Naturalidad**

$$\text{Naturalidad} = \frac{65.200,26 \text{ m}^2 \text{ de área verde sin endurecer}}{75.840,08 \text{ m}^2 \text{ de área verde total}} = 85,97\% \text{ de áreas verdes sin endurecer.}$$

En las áreas verdes del proyecto se puede endurecer un 14,03% de las áreas verdes públicas, por lo que se evalúa como bueno y se encuentra por debajo del 20% recomendable.

7.1.2. Línea base de emisiones

La estimación del CO₂ capturado y almacenado por la vegetación de Lagos de Torca, se realizó basada en indicadores estimativos de almacenamiento de carbono, de acuerdo a las directrices del IPCC del año 2006, el "Refinement" del año 2019 [16], [17], [18]. En la estimación de las existencias de carbono, se incluyó el CO₂ almacenado en el suelo, biomasa aérea y subterránea de la cobertura

arbórea, que, en Lagos de Torca según información de la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, actualmente corresponde a 18 hectáreas.

Existencias de carbono en suelo: las estimaciones se realizaron según el Nivel 1 del IPCC [17] y siguiendo la ecuación 2.25. del capítulo 2, del Volumen 4 del IPCC 2006 [16].

Los valores de referencia (SOC_{REF}) de existencias de C orgánico en suelo, se seleccionaron de la tabla 2.3 del capítulo 4 de las directrices IPCC 2019 [19] el valor de referencia $SOC_{REF} = 52 \text{ tC ha}^{-1}$, que con la aplicación de los factores F_{LU} , F_{MG} y F_I y relación CO_2/C resulta en un total de $191 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$. Así las cosas, se estima que existen 3.438 tCO_2 almacenadas en el suelo de Lagos de Torca.

Existencias de carbono en biomasa aérea y subterránea: la estimación de carbono almacenado en biomasa aérea y subterránea se abordó únicamente para la cobertura forestal. De acuerdo a lo recomendado por el IPCC [20][16], esta cobertura almacena $129,4$ y $39,94 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$, en biomasa aérea y subterránea respectivamente es decir en total las 18 ha de esta cobertura almacenan $3,048 \text{ tCO}_2$.

Captura de carbono en biomasa: la estimación de los cambios en la existencia de C en biomasa aérea y subterránea para la cobertura forestal se llevó a cabo igualmente con base en las directrices del IPCC [16][20]. En tal sentido, el cambio en la existencia de CO_2 en biomasa es de $0,0075 \text{ t árbol}^{-1} \text{ año}^{-1}$, es decir que los 5000 árboles existentes en Lagos de Torca capturan anualmente alrededor de $137,6 \text{ tCO}_2 \text{ año}^{-1}$.

Emisiones de metano (CH_4): de acuerdo con el Plan de manejo de los Humedales Torca y Guaymaral [21], la concentración de Fósforo y Nitrógeno Total, indica una alta presencia de nutrientes en el agua, que clasifica estos humedales como eutróficos. Asimismo, las concentraciones de DBO5 y DQO relacionadas con la presencia de Carbono Total son altas y pueden estar relacionadas con el ingreso de aguas residuales generadas en instituciones y el centro comercial que se encuentran en sus alrededores. Es por lo anterior, que, para el escenario cero de Lagos de Torca, se considera que estos humedales generan emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), teniendo en cuenta además que según el IPCC [22] la descarga de agua residual doméstica en cuerpos de agua como estos, genera $0.114 \text{ kgCH}_4/\text{Kg DBO}$ o $0.048 \text{ kgCH}_4/\text{KgDQO}$. Sin embargo, dado que no se cuenta con datos sobre el caudal de agua residual doméstica vertido actualmente a los humedales y por lo tanto la carga contaminante por unidad de tiempo, no es posible estimar una línea base de las emisiones de metano relacionadas.

7.1.3. Medidas de mitigación, adaptación y de mejora

Para el planteamiento de las medidas de mejora, se tiene en cuenta, por un lado, la optimización de los indicadores en el enfoque de una “Ciudad social y ecológicamente segura y sostenible”. Los escenarios de mejora podrán, por consiguiente, incluir opciones complementarias de mejora cuantitativa - incremento de la disponibilidad y suficiencia ($\text{m}^2/\text{habitante}$) de las áreas de alguna o varias de las categorías- con opciones de mejora cualitativa - incremento de cantidad y calidad de coberturas vegetales en áreas de infraestructura verde y de restauración ecológica de Áreas Protegidas y Parques metropolitanos.

Medida 1: Disponibilidad y distribución de zonas verdes

Esta medida se encamina al mejoramiento de los indicadores de área verde pública por habitante en el escenario con proyecto para Lagos de Torca, que se estimó en 7.51 y 2.71, para área total y área

efectiva (parques urbanos y metropolitanos) respectivamente y la accesibilidad a parques urbanos y metropolitano que se muestra en la Figura 7 y Figura 8. Así las cosas, esta medida aborda el aumento en la disponibilidad de zonas verdes de parques urbanos, locales, zonales y metropolitano, de manera que se llegue a 10m² de área verde efectiva por habitante, es decir, 350 ha adicionales, distribuida de manera tal que la accesibilidad a estos llegue al 100% del área del desarrollo urbanístico.

Medida 2: Restauración ecológica de zonas verdes protegidas (EEP)

A nivel general, la medida se enfoca en acciones que permitan mejorar la resiliencia climática, la capacidad de mitigación de GEI, y a su vez el bienestar de la población que se beneficia de los diferentes servicios ecosistémicos que proveen los espacios verdes urbanos que en la actualidad presentan valores ecológicos o potencial de restaurarlos. Esto, se fundamenta y articula con una de las líneas estratégicas de la Política Nacional de Cambio Climático [21], denominada “*Manejo y conservación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos para el desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima*”. En tal sentido, como se mencionó previamente, el desarrollo del proyecto Lagos de Torca se debe armonizar con el Plan de Manejo Ambiental de los humedales Torca y Guaymaral, y de igual manera mejorar la conectividad ecológica entre los cerros orientales, estos humedales y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen” que a su vez conecta con humedales como la conejera, el cerro de la conejera y el Río Bogotá.

Como una aproximación a la implementación de esta medida, se propone la plantación de especies forestales en el 80% de las 175,31 ha de áreas urbanas protegidas y se evalúa del año 2020 a los años 2030 y 2050, debido a que el tiempo de evaluación de la medida influye de manera considerable en la costo eficiencia de esta. Cabe aclarar que, teniendo en cuenta las particularidades de los ecosistemas que hacen parte de la EEP, tanto el diseño, como la estimación y cuantificación de los costos aumentaría, más aún si se abordan por ejemplo temas como el saneamiento de los vertimientos a los humedales, y medidas que permitan la conectividad ecológica e hidrológica que actualmente es obstruida por la autopista norte y la línea de alta tensión que la atraviesa. Para el aumento de la cobertura en un 80% con una densidad de siembra de plantación forestal protectora, el costo total de insumos y mano de obra incluyendo el establecimiento y tres mantenimientos sería de cerca de 275.000 USD y la captura de carbono anual de 4.633 tCO₂-eq. Si se toma como base el año 2.022 y de manera aproximada, la costo eficiencia de esta medida si se toma el horizonte de análisis hasta 2030 de 7,41 USD/tCO₂-eq sería y a 2,050 2,12 USD/tCO₂-eq. Con esto, como se mencionó previamente, tener en cuenta un horizonte amplio de análisis permite que la factibilidad económica de la medida pase de media a alta.

Medida 3: Plantación de árboles en zonas verdes

Las anteriores medidas del sector de ecología urbana resultan complementarias entre sí y mejorarían los indicadores de área verde efectiva por habitante a 10m²/hab, una accesibilidad del 100%, el mejoramiento del índice de naturalidad, la conectividad, regulación del clima local. Asimismo, la “Estrategia de restauración y consolidación de la infraestructura verde y la Estructura Ecológica Principal”, vista como medida de mitigación de CO₂ dentro del proyecto Lagos de Torca, es complementaria con medidas como la instalación de techos verdes. Por otro lado, el producto del compostaje de residuos orgánicos puede servir como insumo para las actividades de siembra y mantenimiento tanto de plantaciones forestales y otras como por ejemplo huertas urbanas que complementen la funcionalidad socio-ecológica de los espacios verdes. Se tienen entonces en total 222,52 ha de espacios que corresponden a la infraestructura verde, con una densidad aproximada de 373 árboles por cada hectárea de cobertura de copas en el 60% del área. El costo total sería de cerca

de 120.000 USD, y se capturarían anualmente 1321 tCO₂-eq, con una costo eficiencia a 2030 de 11,353USD/tCO₂-eq y a 2050 de 3,24 USD/tCO₂-eq.

La medida de plantación de árboles, así como la de restauración ecológica en caso de darse las condiciones, pueden y deben ser aplicadas a los espacios verdes privados significativos, promoviendo su permanencia en el área del Plan Zonal, el incremento de la funcionalidad ecológica y, cuando sea posible, la funcionalidad social pública.

7.2. Manejo integrado del agua

7.2.1. Evaluación de indicadores

Plan de Ordenamiento Zonal

Los indicadores calculados para Lagos de Torca se resumen en la Tabla 13. Los resultados evidencian que en la cuenca la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento es muy alta y que el cuerpo de agua receptor presenta problemas de contaminación. Adicionalmente, el indicador de agua residual tratada demuestra que la planeación del desarrollo urbano si involucró el planteamiento de una solución en el largo plazo para el tratamiento de las aguas residuales que se generarían en éste. Cada indicador se analiza en las siguientes secciones a partir del estándar y las características del desarrollo.

Tabla 13. Valor de los indicadores para Lagos de Torca

Indicador	Valor	Unidades
Vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento	Muy alta	(-)
Agua residual tratada al nivel de calidad requerido	100.00	%
Calidad del cuerpo de agua receptor	42.36	%

- **Vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento**

El análisis de este indicador se llevó a cabo para las condiciones actuales de la ciudad de Bogotá, en las que los resultados para la demanda actual evidenciaron una vulnerabilidad al desabastecimiento muy alta que puede ser extrapolada a nuevos desarrollos urbanos en la ciudad. Esta extrapolación se sustenta en que el valor del índice del uso del agua para año seco y año promedio, el cual relaciona oferta y demanda, es notablemente mayor a 100%, es decir, este valor es de 818% y 241% respectivamente. Para el análisis se consideró que la fuente principal de agua de la cuenca en la que se localiza el proyecto corresponde al Río Bogotá. Por este motivo, el indicador se calculó a partir de la información disponible de caudales medios diarios de la estación de la CAR “Puente Florencia”, para el periodo 1989-2019, localizada aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable “Tibitoc”. A su vez, se estableció la demanda de agua para el año 2018 considerando la demanda de la ciudad de Bogotá, así como de los sectores de Soacha y de otros municipios aledaños que son abastecidos por la EAB, de acuerdo con reportes del Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios (SUI) de la EAB. Como resultado se obtuvo que en la cuenca la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento es muy alta.

La regulación hídrica es alta en la zona, puesto que el valor del índice es 0.84. Así mismo, la curva de duración de caudales (ver Figura 18) caracteriza un régimen tranquilo, en el cual el caudal promedio es igualado o excedido el 44.3% del tiempo. Sin embargo, el valor del índice de uso de agua corresponde a un valor crítico (i.e., mayor a 100%) y evidencia la problemática que hay en el abastecimiento de la cuenca. Esto se debe al trasvase de cuenca que es determinante en el suministro

de agua en Bogotá, ya que las principales fuentes de abastecimiento corresponden al sistema Tibitoc y al sistema Chingaza. El agua tratada en el sistema Tibitoc proviene en su mayoría del río Bogotá. Sin embargo, en el sistema Chingaza parte del agua tratada corresponde a captaciones del Río Blanco y Río Guatiquía, que alimentan el embalse de Chuza y hacen parte de la cuenca del Río Meta [23]. Para el año 2018, el 87.4% del agua captada por el sistema Chingaza provino del embalse de Chuza. A su vez, este sistema proveyó el 61.7% del agua suministrada por las plantas de tratamiento de la EAB [24]. En este contexto, si bien el suministro de agua está garantizado en el proyecto y se han identificado las obras de infraestructura necesarias para la distribución de agua potable [25], es importante reconocer que la operación depende de un trasvase de cuenca y que esquemas descentralizados de suministro podrían contribuir a una mayor sostenibilidad del proyecto en el largo plazo, mediante la disminución del impacto sobre otras cuencas.

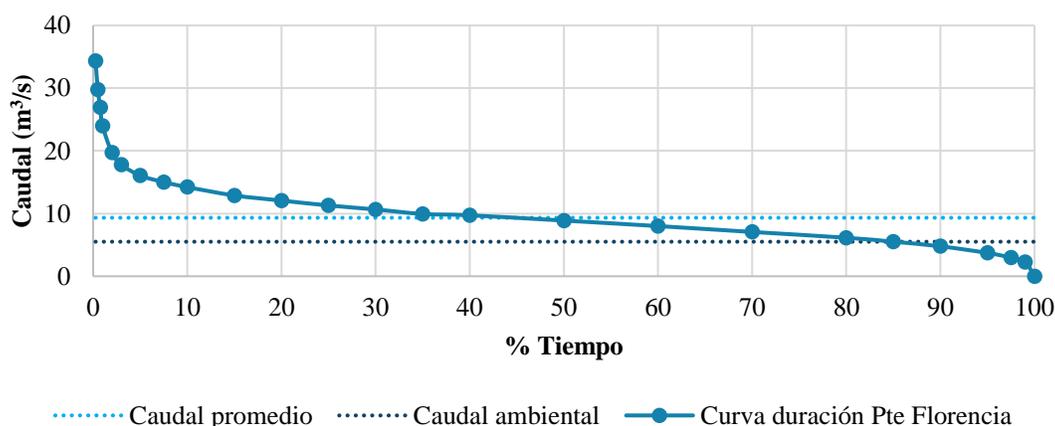


Figura 18. Curva de duración de caudales Estación puente Florencia

- Agua residual tratada al nivel de calidad requerido

La información acerca del tratamiento de las aguas residuales domésticas planteado en Lagos de Torca fue consultada en la EAB-ESP. Para este desarrollo urbano se propone recolectar y conducir el agua residual mediante tuberías al Interceptor del Río Bogotá (IRB), el cual transportaría el agua residual a la PTAR Salitre para su posterior tratamiento. En la actualidad, se encuentra en ejecución el proyecto de ampliación de la PTAR Salitre, que contempla aumentar la capacidad de tratamiento de 4.0 m³/s a 7.0 m³/s, y aumentar la calidad del tratamiento al considerar tecnologías para el tratamiento secundario (i.e., lodos activados). De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional, se tiene proyectado que las obras de ampliación de la PTAR Salitre finalicen en el segundo semestre del 2020 y que esta inicie su operación en 2021 [26]. Para la ampliación de la PTAR se consideró el aporte de caudal de agua residual producido en los desarrollos futuros de la cuenca Torca (i.e., estimación de la producción del agua residual para una población de 405,258 habitantes en el POZ Norte) [27], [28]. Así pues, el 100% del agua residual doméstica generada en Lagos de Torca se tratará en la PTAR Salitre.

Respecto al nivel de calidad requerido del tratamiento, la ampliación de la PTAR Salitre hace parte del Plan de Saneamiento y Recuperación del Río Bogotá. Como se mencionó anteriormente, este plan contempla la ejecución de diferentes obras de adecuación hidráulica a lo largo del río, la ampliación y la adecuación de la PTAR Salitre y la construcción de la PTAR Canoas. Este plan es el resultado de los requerimientos y estrategias establecidas en el CONPES 3320 de 2004 y en la sentencia 479 de 2004 para el manejo de la cuenca del río Bogotá. Adicionalmente, contempla los objetivos de

calidad del agua para el río Bogotá determinados en el Acuerdo 43 del 2006 [29]. En este acuerdo se presenta el diagnóstico de la calidad del río en las diferentes partes de la cuenca, la definición de los objetivos de calidad según su uso y la definición de diferentes escenarios de saneamiento. Considerando lo anterior, la calidad del agua del río Bogotá en el área donde se localiza el vertimiento de la PTAR Salitre debe ser acorde con los estándares para uso agropecuario.

Para cumplir este objetivo de calidad en un estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional (CAR) se establece que los niveles de tratamiento requeridos para todos los efluentes descargados al Río Bogotá requieren un nivel secundario de tratamiento con desinfección [30]. Esto considerando el análisis de la capacidad de asimilación de contaminantes por parte del río. Esta conclusión surge de la modelación de diferentes escenarios para evaluar el efecto de las obras planteadas en la calidad del río. Así pues, se menciona que implementar un tratamiento secundario con desinfección en la PTAR Salitre permitiría cumplir con los objetivos para uso agropecuario o de clase IV de calidad, principalmente en términos de reducción de la carga orgánica y los sólidos suspendidos. En ese estudio no se evidencian simulaciones de nutrientes, cuya concentración se encuentra limitada por la normativa relacionada con la calidad del agua requerida para uso agrícola y pecuario; en la cual se establece un límite de concentración para nitritos (10 mg/L). Sin embargo, los valores reportados de nitritos cerca a la descarga de la PTAR Salitre son mucho menores al estándar establecido para uso agrícola. Por lo tanto, teniendo en cuenta la información disponible y los estándares de calidad establecidos para los diferentes usos, con la ampliación de la PTAR Salitre se alcanzaría el nivel de calidad requerido en el Río Bogotá.

Si bien el desempeño de la PTAR propuesta permite alcanzar los objetivos de calidad del agua, puede haber determinantes con altas concentraciones que no se encuentran regulados por la normativa vigente. Esto se identifica en un estudio realizado por la Universidad Nacional y la Empresa de Acueducto de Bogotá [31], en el cual se modelan los diferentes escenarios propuestos por la CAR para el saneamiento del Río Bogotá. Así pues, se menciona que la implementación del tratamiento secundario con desinfección en la PTAR Salitre puede ser insuficiente para la remoción de nutrientes ya que se identifican altas concentraciones de NH_4 el agua, por lo que puede no ser apta para riego. Por este motivo, en este estudio se recomienda implementar un tratamiento terciario en la PTAR Salitre para la adecuada remoción de los nutrientes.

El valor obtenido del indicador evidencia que la planeación del desarrollo urbano en Lagos de Torca se involucró en el planteamiento de una solución en el largo plazo para el tratamiento de las aguas residuales del área norte de Bogotá. Se observa que el tratamiento de las aguas residuales sigue un esquema centralizado. Este involucra el transporte del agua residual hasta el sitio de tratamiento, que generalmente se encuentra lejos de su lugar de generación [32]. Particularmente, para el caso de Lagos de Torca se observa que el esquema de operación incluye el bombeo del agua residual para su conducción a la PTAR Salitre mediante la estación elevadora Salitre [27]. Este esquema puede ser costoso de operar, ya que consume una cantidad considerable de energía. Para aumentar la sostenibilidad en el manejo del agua residual, por ejemplo, se podrían considerar sistemas descentralizados de tratamiento y aprovechamiento de aguas grises.

- **Calidad del cuerpo de agua receptor**

En el caso de Lagos de Torca el cuerpo de agua receptor corresponde al Río Bogotá. Así pues, para el cálculo de este indicador se utilizó información de calidad hídrica reportada en la campaña de monitoreo realizada por la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental de la CAR en el segundo semestre del 2018 [33]. Se consideraron los muestreos realizados en la estación “El Cortijo”, ubicada

aguas abajo de la descarga de la PTAR Salitre, y como resultado se obtuvo un valor del indicador de 42.36%. Considerando la categorización propuesta por el IDEAM, la calidad del agua del Río Bogotá a la altura del vertimiento del afluente proveniente de lagos de Torca se clasifica como mala.

En la actualidad, solo el nacimiento del afluente presenta una calidad del agua muy buena. Las demás partes de la cuenca del río tienen una calidad entre mala y muy mala. La mala calidad del agua se debe al vertimiento de las aguas residuales sin tratar de parte de la ciudad de Bogotá y de municipios aledaños a la misma. El valor obtenido del indicador evidencia que se necesita un esquema adecuado para el manejo de las aguas residuales en el corto y largo plazo, con el fin de reducir el impacto ambiental de la urbanización en la calidad del agua del río. Para la recuperación de este cuerpo de agua se planteó el Plan de Saneamiento y Recuperación del Río Bogotá que, como se mencionó anteriormente, involucra obras de adecuación hidráulica, la ampliación de la PTAR Salitre y la construcción de la PTAR Canoas.

Es importante mencionar que, alcanzar el objetivo de calidad del río Bogotá presentado en el Acuerdo 43 de 2006, depende de la ejecución de la totalidad de las obras propuestas en el plan de saneamiento del río. Adicional a la construcción de la PTAR Salitre y la PTAR Canoas, se considera crítico que las autoridades distritales (i.e., Secretaría Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) fortalezcan los controles de conexiones erradas y vertimientos industriales. Se han observado retrasos en la ejecución de las obras planteadas [34], por lo que aún se requiere un mayor compromiso y responsabilidad interinstitucional en el desarrollo de obras para el tratamiento de las aguas residuales. Adicionalmente, se deben implementar otras estrategias para la descontaminación y recuperación del Río Bogotá, que involucren al sector privado y a la comunidad.

Planes Parciales

- Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la operación

La escorrentía que se generaría en los planes parciales El bosque y Tibabita se cuantificó mediante la Ecuación 1.

$$V_e = P \sum C_i A_i \quad 1$$

Donde V_e = Volumen de escorrentía generado (m^3/mes), C_i = Coeficiente de escorrentía del área correspondiente, P = Precipitación mensual multianual, y A_i = Área de drenaje (m^2).

La información de precipitación se obtuvo del registro histórico de la estación “Guaymaral” de la Red de Calidad del Aire, ubicada en Lagos de Torca. En la Figura 19 se observa el régimen de precipitación de la estación. Los valores de precipitación presentan un régimen de lluvia bimodal a lo largo del año. En los meses de marzo-mayo y de octubre-noviembre se exhiben los valores más altos de precipitación, mientras que los valores más bajos se presentan en los meses de enero-febrero y agosto.

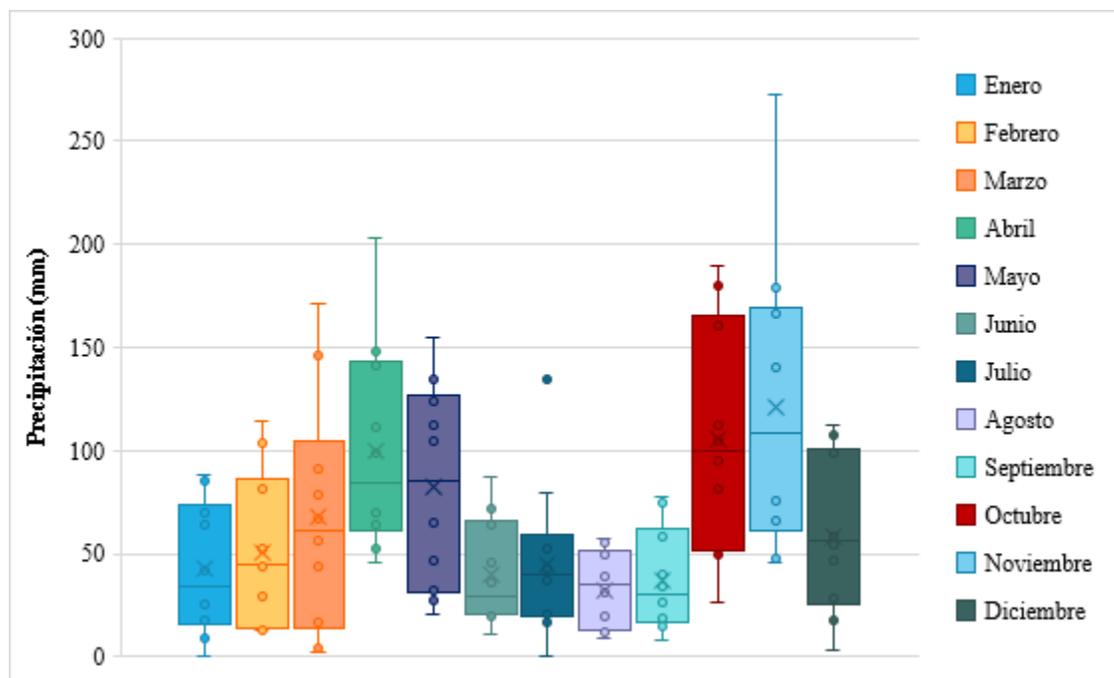


Figura 19. Análisis de la precipitación registrada en la estación “Guaymaral” (2006 – 2018)

Se consideró un coeficiente de escorrentía de 0.85 para zonas impermeables y de 0.2 para zonas permeables, según lo recomendado por la norma técnica NS-085 de la EAB-ESP y por Butler & Davies [35]. El coeficiente de escorrentía para los diferentes usos del suelo se adoptó según lo mencionado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [36] (Ver Tabla 14). De esta manera, el coeficiente de escorrentía promedio se estimó en 0.58 y 0.60 para Tibabita y El Bosque, respectivamente. La Figura 20 presenta la distribución de las superficies de los planes parciales evaluados.

Tabla 14. Coeficiente de escorrentía para los diferentes usos del suelo

Uso del suelo	Coeficiente de escorrentía
Residencial - VIS	0.69
Residencial -VIP	0.67
Residencial	0.65
Comercial	0.78
Dotacional	0.70

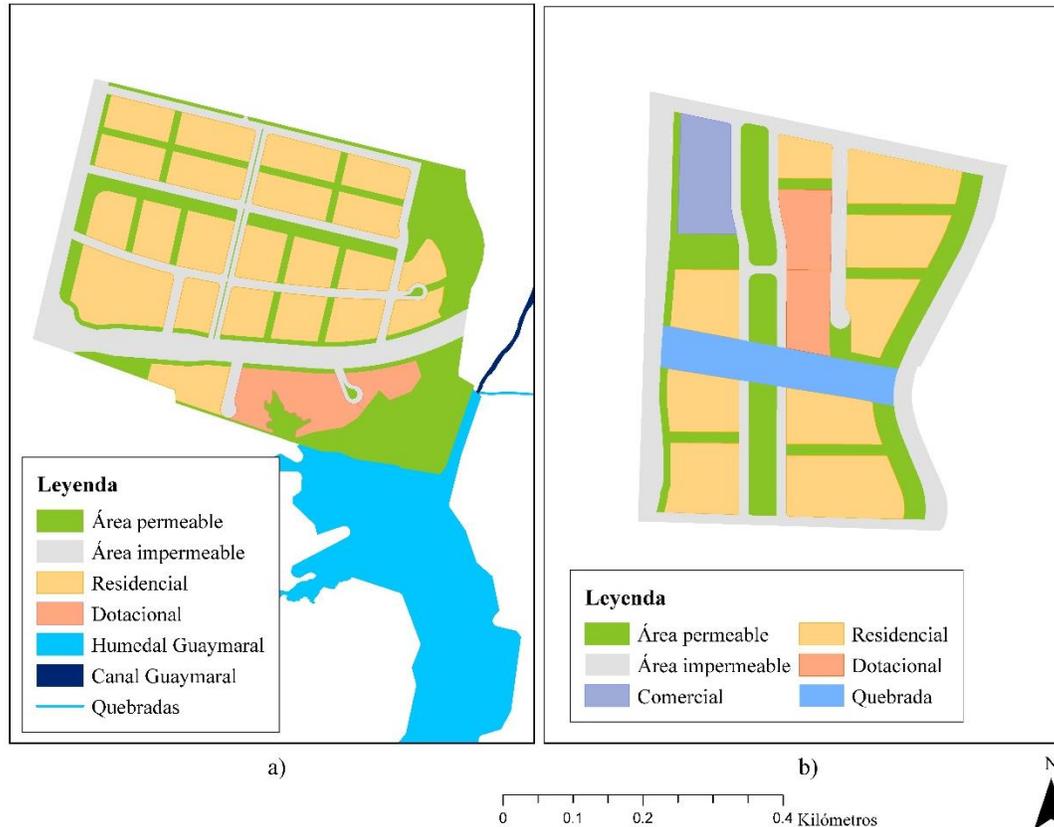


Figura 20. Áreas de drenaje permeables e impermeables proyectadas de los Planes Parciales a) Tibabita y b) El Bosque

Para la cuantificación de este indicador se asumió que toda la escorrentía generada en los planes parciales se descargará al sistema de alcantarillado. Así pues, como resultado se obtuvo un valor del indicador de 1.89 y 1.88 para El Bosque y Tibabita, respectivamente. Según esto, se observa un aumento en el volumen de escorrentía generado producto de la impermeabilización de los terrenos. (Ver Tabla 15). Teniendo en cuenta que los desarrollos urbanos proyectados en Lagos de Torca deben garantizar una retención del 30% de la escorrentía generada de tal manera que el sistema de alcantarillado reciba el 70%, existe un potencial de incluir estrategias para el manejo del agua lluvia en los planes parciales que consideren la detención, infiltración y aprovechamiento del agua para usos no potables (p.ej. riego de zonas verdes y limpieza de calles).

Tabla 15. Volumen de escorrentía generado y descargado en los planes parciales analizados

Parámetro	Valor	
	El Bosque	Ti babita
Volumen generado y descargado de escorrentía en la condición de desarrollo (m ³ /año)	291818.13	115167.87
Volumen de escorrentía generado y descargado en la condición de pre-desarrollo (m ³ /año)	101041.67	39992.67

Por otro lado, se evidencia que la gestión de la escorrentía en el plan parcial Tibabita se centra en recolectarla y transportarla mediante tuberías y vallados hacia el humedal Torca-Guaymaral. Este esquema de drenaje hace parte del restablecimiento de las entradas de agua al humedal, para su restauración. En la actualidad, el arrastre de sedimentos por la escorrentía que llega de las áreas aledañas al humedal y la conducción de residuos a través de los canales ha generado a problemas de

sedimentación en el cuerpo de agua. Así pues, el espejo de agua en el humedal está prácticamente desaparecido y el aporte de afluentes de buena calidad es muy bajo [25]. El humedal Torca-Guaymaral cumple, entre otras, la función de regular las crecientes de los afluentes de las quebradas y los flujos de escorrentía, por lo que su recuperación es fundamental para la disminución del riesgo de inundación en los desarrollos urbanos proyectados en Lagos de Torca.

Se recomienda realizar algún tipo de tratamiento de la escorrentía antes de su llegada al humedal, con el fin de asegurar que la eficiencia del sistema no se vea afectada por obstrucciones y disminuir la frecuencia y los costos de mantenimiento. El tratamiento de la escorrentía se puede realizar mediante diversas tipologías de SUDS. Estas mejoran la calidad de la escorrentía que drena hacia ríos, quebradas y humedales, lo que ayuda a la restauración y conservación de los cuerpos de agua receptores. Esto se realiza mediante procesos de sedimentación, filtración, adsorción, biodegradación, volatilización, entre otros. Entre los contaminantes que se pueden remover mediante los SUDS se encuentran Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), nutrientes y metales pesados.

- Emisiones de CO_{2-eq} por la gestión del agua urbana

Se realizó el cálculo de las emisiones CO_{2-eq} asociadas a la gestión del agua urbana para el año 2050, en el cual se tiene proyectado que la totalidad de las viviendas estén habitadas y que las zonas comerciales e institucionales estén construidas. Así pues, en este indicador se incluyeron las emisiones asociadas al suministro de agua potable, que están representadas por el consumo de energía para potabilizar el agua. Para los dos planes parciales evaluados se proyecta que el agua provenga del Sistema Tibitoc, el cual está compuesto por los embalses Neusa, Sisga y Tominé. Una vez captada, el agua es conducida hasta la PTAP Tibitoc y posterior al proceso de potabilización, mediante las líneas Tibitoc-Casablanca y Tibitoc-Usaquén, el agua se llevaría a los planes parciales Tibabita y El Bosque, respectivamente. Es importante aclarar que no habría emisiones asociadas al bombeo del agua desde la PTAP Tibitoc hasta Lagos de Torca, pues el recurso se distribuiría por gravedad.

Respecto al cálculo del agua potabilizada, se incluyó el consumo proyectado de agua potable residencial, comercial e institucional. El consumo residencial se estimó a partir del consumo promedio per cápita para Bogotá reportado en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI) para el 2018 (i.e., 83.12 L/habitante/día) [37]. Se asumió un aumento del 1.03% anual en el consumo residencial considerando el análisis del consumo de agua potable de los últimos años. Por otro lado, el consumo comercial e institucional se evaluó a partir de la metodología propuesta en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), debido a que no se tenía información más detallada [38]. Se utilizó un valor de pérdidas de agua en el sistema de distribución del 39%, correspondiente al valor calculado para Bogotá a partir de la información reportada en el SUI [37], [39]. Los factores de emisión por huella de carbono y los factores de conversión utilizados para la cuantificación de las emisiones se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Factores de emisión y conversión - distribución de agua potable Lagos de Torca

Factor	Valor	Fuente
Emisión por huella de carbono por consumo de energía eléctrica	0.21 kg CO _{2-eq} /kWh	UPME [40]
Consumo de energía eléctrica por m ³ de agua tratada en la PTAP Tibitoc	11.28 kWh/m ³	EAB-ESP [41]

Adicionalmente, se consideraron las emisiones relacionadas con el manejo de las aguas residuales. Para los dos planes parciales evaluados se propone recolectar y conducir el agua residual mediante

tuberías al Interceptor del Río Bogotá (IRB), el cual transportaría el agua a la PTAR Salitre para su posterior tratamiento (mediante procesos primarios y secundarios). Así pues, se incluyeron las emisiones que se generarían en los procesos de tratamiento, que están representadas por emisiones de N₂O y CH₄. Para su cuantificación se utilizó la metodología propuesta por el IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [42]. Respecto al factor de generación de lodos, este se cuantificó a partir de la información disponible para la ampliación de la PTAR Salitre [43]. Adicionalmente, se calcularon las emisiones asociadas al consumo de energía en la PTAR. Los factores de emisión por huella de carbono y los factores de conversión utilizados para la cuantificación de las emisiones se presentan en la Tabla 17. Para la estimación de las aguas residuales generadas en los planes parciales se incluyó el agua residual proveniente de zonas residenciales, comerciales e institucionales. Esto se realizó a partir de la metodología planteada en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), debido a que no se contaba con información más detallada de la producción [44].

Tabla 17. Factores de emisión y conversión - tratamiento de agua residual Lagos de Torca

Factor	Valor	Fuente
Emisión por huella de carbono por consumo de energía eléctrica	0.21 kg CO ₂ -eq /kWh	UPME [40]
Consumo de energía eléctrica por m ³ de agua residual tratada	0.2985 kWh/m ³	CAR [43]

Respecto al manejo de la escorrentía, en el plan parcial Tibabita no se generarían emisiones asociadas a su gestión. Para El Bosque se tiene proyectada la construcción de un pondaje húmedo, al que se direccionaría toda la escorrentía generada, y de una estación de bombeo para descargar el agua desde el pondaje hacia el Canal Guaymaral. Debido a que no se cuenta con información de la capacidad de bombeo de la estación, no fue posible cuantificar las emisiones asociadas a este proceso. Adicionalmente, las emisiones asociadas a la fabricación e instalación de las tuberías y canales de los sistemas de distribución, drenaje sanitario y drenaje pluvial no se consideraron pues no se tenía información detallada de los mismos.

La cuantificación de las emisiones se realizó para los tres escenarios de población definidos para Lagos de Torca. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 18. Como era de esperarse, las emisiones por habitante y por m³ de agua potable distribuida son muy similares entre los diferentes escenarios de población. Del total de emisiones de GEI asociadas a la gestión del agua en Tibabita, el 96.3% estarían asociadas al uso de la energía para la potabilización del agua y el 3.7% al tratamiento de las aguas residuales. Así mismo, del total de emisiones generadas por la gestión del agua en El Bosque, el 96.1% estarían asociadas al uso de la energía para la potabilización del agua y el 3.9% al tratamiento de las aguas residuales. De los resultados obtenidos se puede mencionar que mejorar la eficiencia en el uso de la energía en procesos como la potabilización del agua permitiría para reducir las emisiones de GEI asociadas al manejo del agua.

Tabla 18. Emisiones de CO₂-eq para los diferentes escenarios de población

Plan parcial	Escenario 1 (3.2 habitantes por hogar)		Escenario 2 (2.6 habitantes por hogar)		Escenario 2 (1.9 habitantes por hogar)	
	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq/ habitante)	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq por m ³)	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq por habitante)	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq por m ³)	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq por habitante)	Emisiones (toneladas de CO ₂ -eq por m ³)
El Bosque	0.1458	0.00254	0.1476	0.00254	0.1506	0.00253
Tibabita	0.1490	0.00252	0.1514	0.00252	0.1557	0.00251

7.2.2. Análisis del manejo de la escorrentía

Plan de Ordenamiento Zonal

El sistema de drenaje natural de Lagos de Torca está conformado por varios elementos entre los cuales se destacan el humedal Torca Guaymaral, el canal Torca Guaymaral y las quebradas. Así pues, el humedal recibe, entre otros, los afluentes de las quebradas Aguas Calientes, Patiño, San Juan, La Floresta, Novita, Las Pilas, Tibabita y Torca. Dado que este humedal se encuentra dentro del perímetro urbano de Bogotá existe una alta interacción y modificación de las condiciones naturales del mismo que incluyen la reducción, el deterioro y la contaminación; lo que ha generado importantes daños sobre su flora y fauna, así como sobre los beneficios ambientales asociados. Particularmente, debido a la alta carga de sedimentos y materia orgánica que se descarga al humedal, este cuerpo de agua presenta problemas de colmatación y reducción de su capacidad de almacenamiento y regulación hídrica.

Adicionalmente, se evidencian problemas de contaminación asociados a la descarga de aguas residuales y flujos de escorrentía cargados de fertilizantes y químicos producto de las actividades agrícolas de la zona. Otras dificultades encontradas son la falta de delimitación del humedal, la pérdida de vegetación por el pastoreo de ganado vacuno, la falta de mantenimiento del canal Torca y de los “box culvert” presentes en la zona [45]. Este humedal se encuentra dentro por la normatividad urbana del Acuerdo Distrital 06 de 1990, que plantea la existencia y necesidad de conservación del sistema hídrico del Distrito Capital, y del 19 de 1994, que lo declara como Reserva Ambiental Natural. Así mismo, hace parte de los programas de tratamiento y recuperación incluidos en el Plan de Ordenamiento Físico del borde Norte de la ciudad. Se encuentra categorizado como Parque Ecológico del Distrito Capital en el POT de Bogotá, donde se prioriza su restauración y preservación.

Es de gran importancia reconocer que el humedal se encuentra inmerso dentro del desarrollo urbano y es necesaria su inclusión en la definición del sistema de drenaje convencional y no convencional. Un sistema de drenaje integrado, que considere los niveles del humedal en función de los caudales afluentes y de los niveles del Río Bogotá, así como su integración como eje de preservación ecológica y su función como espacio multifuncional es fundamental para lograr el cumplimiento de los objetivos de las etapas 3 a la 6 de la Ciudad Sensible al Agua. La implementación de SUDS en Lagos de Torca podría ser adecuada para mejorar la calidad de las quebradas, cambiar la dinámica de canalización y recuperar la dinámica del humedal.

Por otro lado, se realizó un análisis de los doce planes parciales formulados en el área de Lagos de Torca para determinar de manera comparativa los requerimientos de servicios ecosistémicos. Con este objetivo se identificaron áreas en las que puede presentarse un mayor déficit de servicios ecosistémicos a partir de los usos del suelo. Se incluyeron los servicios de provisión, regulación y socioculturales. Los índices se clasificaron de acuerdo con los percentiles 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1. El índice agregado para la priorización de las áreas se obtuvo del promedio simple de los tipos de servicios analizados. Los planes parciales clasificados en el percentil 0.2 presentan los mayores requerimientos de servicios ecosistémicos mientras que los clasificados en el percentil 1, los menores. La metodología detallada para el cálculo del índice se puede consultar en el Anexo 14.

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 21. Se empleó información de los Documentos Técnicos de Soporte de los planes parciales del área de Lagos de Torca sobre la distribución de usos de suelo y los tipos de vivienda. Las áreas verdes se aproximaron a partir del área de parques, alamedas, zonas verdes, control ambiental, conectividad ecológica y rondas hidráulicas. El coeficiente de escorrentía se estimó a partir de los usos del suelo (i.e. comercial, residencial,

industrial, equipamientos) e información de áreas permeables e impermeables de acuerdo con los valores recomendados por la norma técnica NS-085 de la EAB-ESP, Butler & Davies [35] y el RAS [44]. Para el análisis de la proporción de área de vías principales en los planes parciales se empleó la capa provista por el Fideicomiso Lagos de Torca. Así mismo, para las áreas residenciales con vivienda de interés social, se extrapola la información disponible de dos conjuntos propuestos para el plan parcial Tibabita [46]. Las áreas con amenaza de inundación y la calidad de las quebradas u otros cuerpos de agua se definieron a partir de la información proporcionada por el Fideicomiso Lagos de Torca.

Como se resume en la Figura 21, los planes parciales de Tibabita (12) y Santa Maria (24) se encuentran clasificados en el máximo percentil del índice de priorización, es decir en un percentil mayor a 0.8. El plan parcial Tibabita presenta valores altos en los índices de servicios de regulación y socioculturales. En el caso de los servicios de regulación, se destaca la regulación del clima global, puesto que en comparación con otros planes parece estar destinando una menor proporción de área verde. A su vez, debido a la proporción de áreas de vías principales en el interior de su perímetro pueden presentarse problemas en relación con la calidad del aire y de la escorrentía. En este sentido, es importante considerar la implementación de SUDS vegetados que contribuyan al secuestro de carbono y a la regulación de la calidad del agua y el aire.

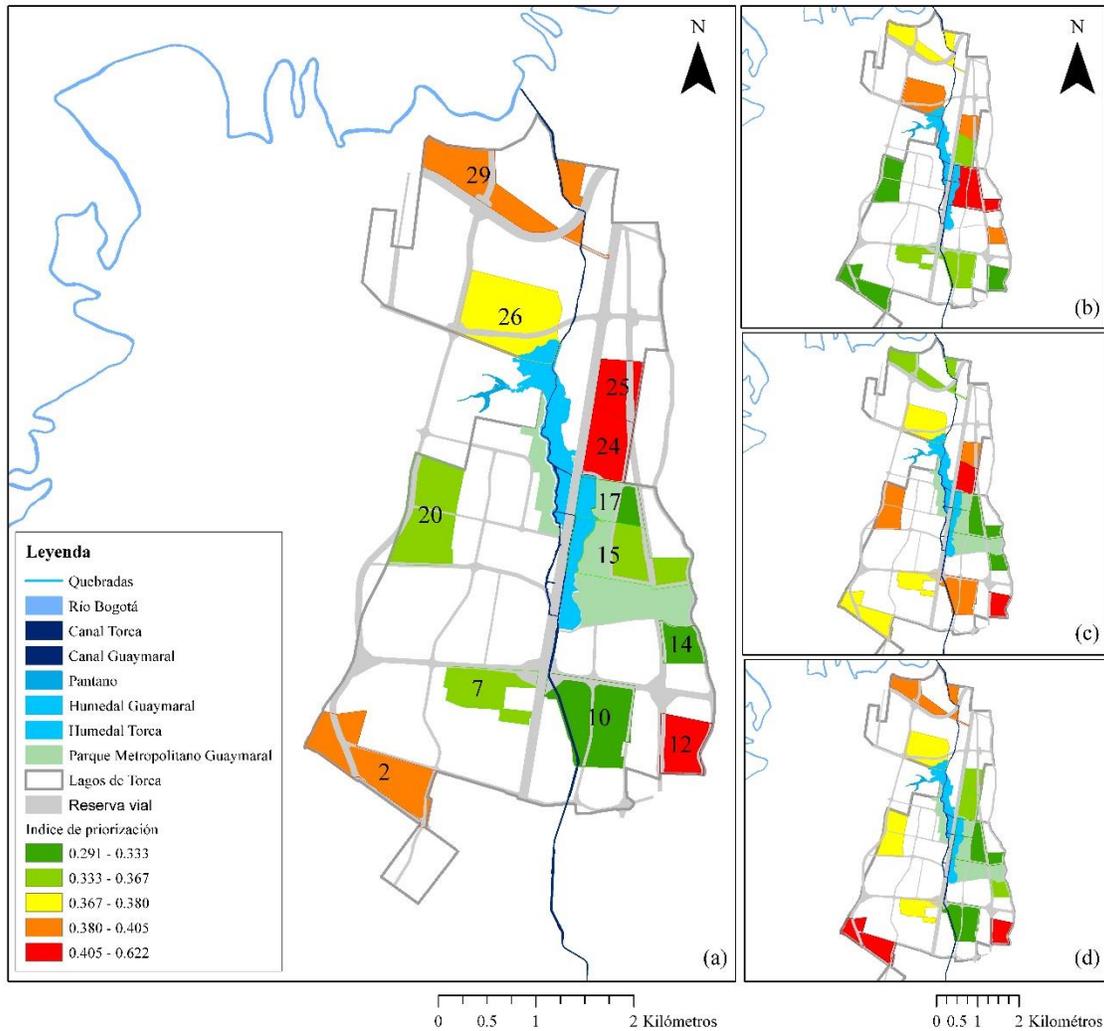


Figura 21. Priorización de planes parciales de acuerdo con los servicios ecosistémicos: (a) priorización áreas, (b) priorización de acuerdo con provisión, (c) priorización de acuerdo con regulación, y (d) priorización de acuerdo con servicios socioculturales

El plan parcial Santa María (24) presenta el mayor valor para requerimientos de regulación. Esto se debe a aspectos relacionados con la regulación del clima, puesto que a partir del uso del suelo se estimó que en comparación con otros planes parciales tendrá un mayor porcentaje de área impermeable. A su vez, en cuanto a requerimientos de regulación de calidad del aire, se identificó una proporción más alta de vías principales dentro de su perímetro. En este sentido es recomendable un adecuado aprovechamiento de las áreas no construidas para reducir los impactos y riesgos sobre la población futura.

A su vez, el plan parcial El Carmen (2) presenta un valor alto el índice de servicios socioculturales. Esto se debe principalmente al área destinada a parques y la distancia al Parque Metropolitano Guaymaral. Lo que indica que en comparación con otros planes parciales los habitantes de El Carmen (2) tienen un menor acceso potencial a parques. Si bien, en el caso de este plan parcial el índice definido para regulación no es alto, cabe anotar que la baja proporción de áreas verdes y el alto porcentaje de vías principales dieron como resultados valores altos cuando se analizaron las necesidades de regulación de la calidad del aire y del clima global. En este contexto es importante

considerar el uso de SUDS vegetados que permitan incrementar la amenidad en el área y pueden potencialmente mejorar la calidad del aire, así como contribuir al secuestro de carbono. Para los planes de Lucerna (17) y Mazda Mavaia (15) el servicio con mayor prioridad corresponde al de provisión, lo cual se debe a la proporción estimada de área verde en comparación con la proporción de áreas verdes en otros planes. En este caso, el aprovechamiento de la escorrentía para riego puede ser clave para el mantenimiento de las zonas verdes puesto que una parte del área de estos dos planes corresponde al Parque Metropolitano Guaymaral.

Por otra parte, en el DTS del POZ Norte se establece que, para todos los desarrollos urbanísticos, se debe garantizar la retención de un 30% de las aguas lluvias. Sin embargo, los requerimientos de regulación del agua, purificación y tratamiento varían al interior de los planes parciales analizados. Por ejemplo, de acuerdo con los usos del suelo propuestos, en planes como El Coral (2), Santa María (24) y El Carmen (20) puede haber mayor producción de escorrentía debido a un menor porcentaje de áreas verdes y a una mayor proporción de vías. Adicionalmente, debido a su ubicación, planes como Mudela del Río (29) y Lucerna (17) tienen una mayor área con amenaza por inundación por lo que la disposición de SUDS tanto para el control en la fuente como para el control local puede ser estratégica para reducir el riesgo. De manera similar, la proporción de vías principales y la cercanía al humedal en Santa María (24) y Sorrento (25) aumentan la importancia sobre el tratamiento de la escorrentía puesto que puede haber un mayor riesgo de realizar vertimientos que afecten la calidad del agua en el humedal.

7.2.3. Análisis de la implementación de SUDS

Plan Parcial El Bosque

Los elementos del espacio público planteado del parcial El Bosque incluyen parques lineales, una parte del parque ecológico distrital Guaymaral y una serie de alamedas y zonas de conectividad ecológica que se espera funcionen como corredores ecológicos. Estas áreas se analizaron para determinar su potencial de proveer servicios ecosistémicos al considerar servicios de provisión, regulación y socioculturales. Los resultados se resumen en la Figura 22, en la cual se presenta el potencial de provisión de los distintos tipos de servicios y del conjunto de servicios. Se realizó una clasificación de los índices de acuerdo con los percentiles 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1. Los polígonos clasificados en el percentil 0.2 presentan el menor potencial para proveer servicios mientras que los del percentil 0.8, el mayor potencial. Para el análisis, se empleó la tasa de infiltración estimada en la investigación del Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Universidad de los Andes, a partir de información geológica y geotécnica de Bogotá [47].

El análisis previamente realizado sobre el POZ Norte permitió identificar requerimientos mayores en cuanto del servicio de provisión en el plan parcial El Bosque. Se observa que la zona de conectividad ecológica localizada en el noroccidente del plan parcial, así como la fracción del parque ecológico distrital Guaymaral, presentan un potencial alto para el soporte del conjunto de servicios. Adicionalmente, se observa que los parques lineales ubicados en la zona central poseen un mayor potencial para la regulación de la escorrentía, en comparación con el potencial de provisión de los otros servicios ecosistémicos. La implementación de SUDS en dichas zonas representa una oportunidad para proveer los distintos servicios ecosistémicos, pues los objetivos de control y tratamiento de la escorrentía se complementan con el suministro de otros beneficios para la población presente en el área.

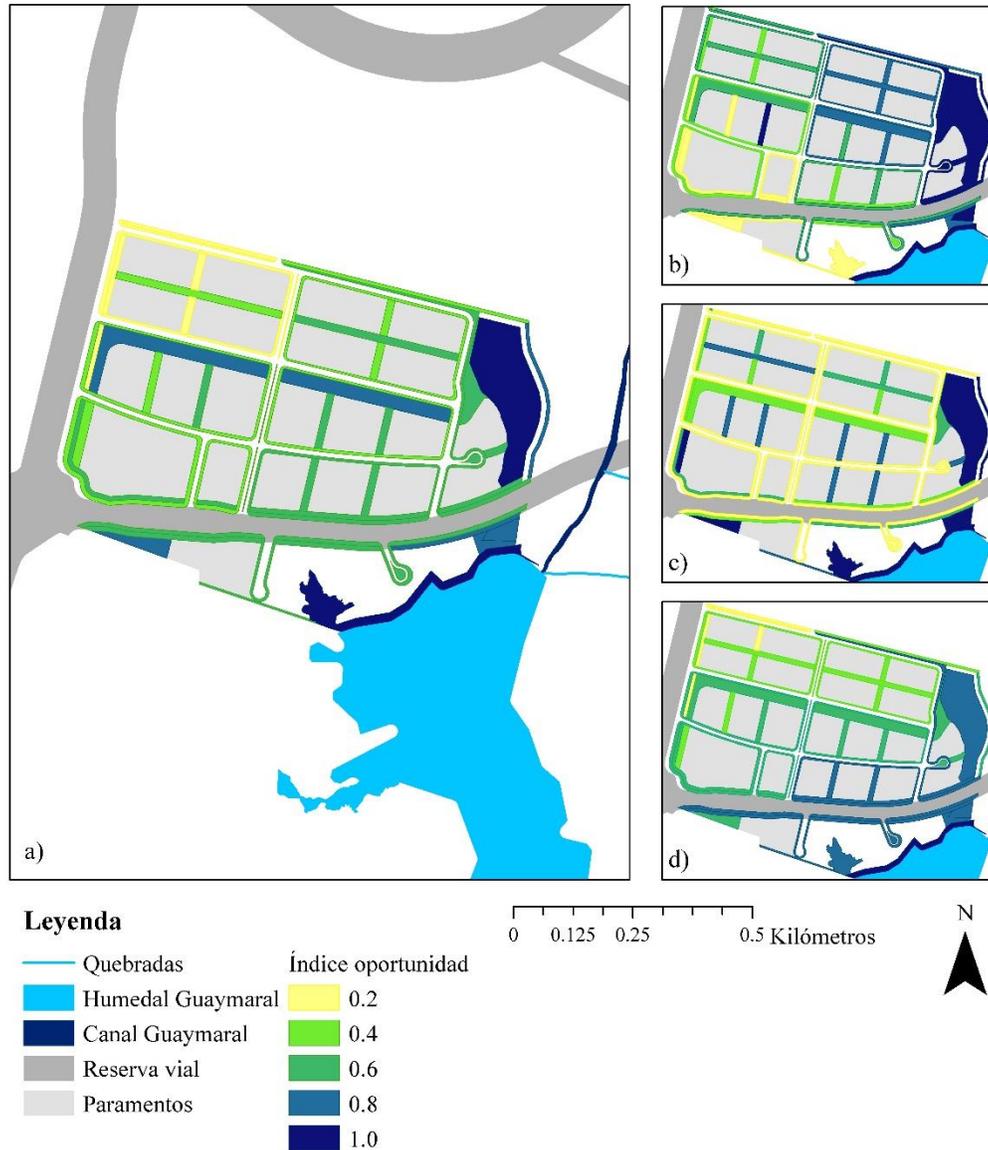


Figura 22. Potencial de las zonas públicas para proveer servicios ecosistémicos: índice de oportunidad para (a) el conjunto de servicios, (b) servicio de regulación, (c) servicio de provisión y (d) servicio sociocultural

Los SUDS recomendados se establecieron mediante el modelo de optimización desarrollado por Torres et al. [48], cuya descripción se presenta en el Anexo 10 (Capítulo 6). Para esto se consideraron cinco escenarios, en los cuales el presupuesto asignado para la construcción y el mantenimiento de los SUDS se modificó teniendo en cuenta el valor designado en DTS del plan parcial El Bosque para la adecuación de zonas de control ambiental, de parques y obras especiales. Dichos valores se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Presupuestos considerados para la construcción y mantenimiento de SUDS en El Bosque

Escenario	Características	Valor
A	Sin limitación de presupuesto	-
B	% del presupuesto asignado para las obras especiales	\$5,955,021,498.90

Escenario	Características	Valor
C	20% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$2,745,426,518.20
D	10% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$1,372,713,259.10
E	5% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$686,356,629.55

La información de evaporación utilizada en el modelo se aproximó mediante los valores reportados en la estación Guaymaral de la Red de Calidad del Aire, un factor de tanque de 0.8 y los factores de la vegetación asociados a cada tipología [49]. La Tabla 20 presenta las tipologías seleccionadas para cada escenario y la Figura 23 la ubicación óptima de cada una en El Bosque. Se observa que, en el escenario sin restricción de presupuesto, las tipologías más aptas para la zona corresponden a las zonas de bioretención, las cunetas verdes, los pondajes húmedos y los humedales construidos. Estas son las estructuras que mayores beneficios pueden generar de acuerdo con los mayores requerimientos que existen en la zona de regulación del agua y regulación del clima global. Particularmente, las zonas de bioretención tienen la capacidad de proveer mayor cantidad de servicios ecosistémicos en comparación con otras estructuras de SUDS por el tipo de vegetación que poseen. A su vez, pueden atenuar escorrentía mediante procesos de filtración y evapotranspiración (i.e. entre el 50% al 90%). Estas estructuras funcionan como un sistema de remoción de contaminantes donde ocurren diversos de procesos físicos, químicos y biológicos. Su implementación podría contribuir al mejoramiento de la calidad del agua del cuerpo receptor.

Respecto al escenario B, C y D, las tipologías más adecuadas para la zona son las cunetas verdes, las zonas de bioretención y los pondajes húmedos. Al considerar los costos y los requerimientos de mantenimiento de las cunetas verdes, estas estructuras se seleccionan en dichos escenarios estos escenarios como una opción menos costosa para algunos de los polígonos de espacio público. Así mismo, los pondajes húmedos representan una oportunidad para tratar el agua a escala local. Estas tipologías tienen capacidad de atenuar grandes volúmenes de escorrentía y proveer diversos servicios ecosistémicos por la lámina de agua permanente que poseen. En el escenario E se observa que las tipologías recomendadas para la implementación son las cunetas verdes. Según esto, se observa la selección de tipologías que proveen los servicios ecosistémicos requeridos en la zona se ve limitada por el bajo presupuesto asignado.

En general, debido a las bajas tasas de infiltración del terreno (i.e., varían entre 4.78 y 5.33 mm/h) las tipologías de filtración como la zanja y la cuenca de infiltración no se seleccionan en ningún escenario. Por otro lado, si bien los humedales construidos son factibles en algunas áreas del espacio público y se recomienda su implementación, presentan altos costos de construcción y mantenimiento, por lo que no se seleccionan en los escenarios B, C, D y E. Es importante aclarar que los resultados presentados en relación a la selección de SUDS corresponden a una recomendación preliminar según la información disponible.

Tabla 20. Número de tipologías seleccionadas por escenario para El Bosque

Escenario	Tipologías seleccionadas								
	Cunetas verdes	Zonas de bioretención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje extendido	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables	Pondajes húmedos	Humedales construidos	Cuencas de infiltración
A	11	14	4	0	0	0	6	5	0

Escenario	Tipologías seleccionadas								
	Cunetas verdes	Zonas de bioretención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje extendido	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables	Pondajes húmedos	Humedales construidos	Cuencas de infiltración
B	23	6	7	0	0	0	7	0	0
C	23	6	0	0	0	0	7	0	0
D	25	3	0	0	0	0	4	0	0
E	20	0	0	0	0	0	0	0	0

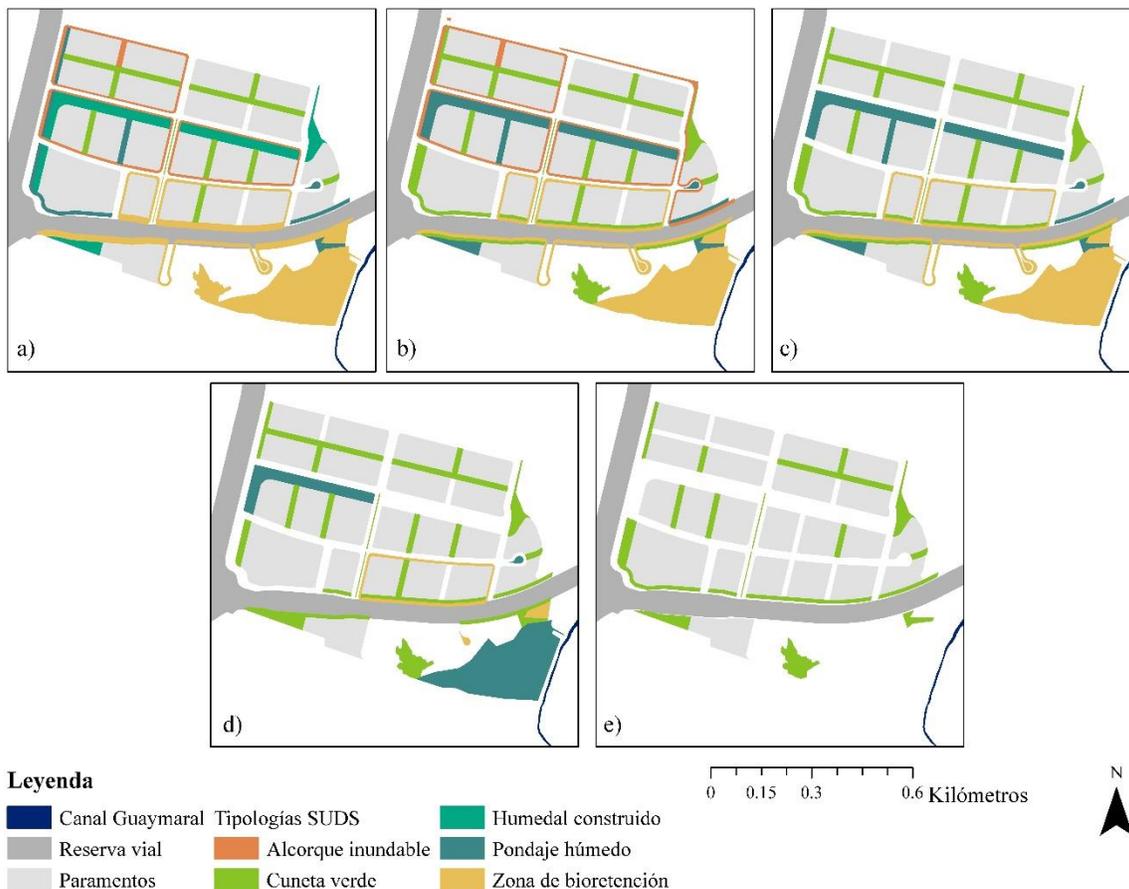


Figura 23. SUDS recomendados en El Bosque para el a) Escenario A, b) Escenario B, c) Escenario C, d) Escenario D y e) Escenario E.

El esquema general de drenaje pluvial planteado en el plan parcial contempla el drenaje de la escorrentía hacia el canal Guaymaral mediante un sistema que incluye redes de alcantarillado pluvial convencional, un pondaje húmedo, los canales naturales existentes en la zona (i.e., vallados) y una estación de bombeo de la escorrentía hacia el Canal Guaymaral [50], como se observa en la Figura 24. Específicamente, el pondaje húmedo propuesto almacenará temporalmente la escorrentía generada en el plan parcial, así como las aguas lluvias provenientes de las redes de alcantarillado pluvial de las avenidas Low Murtra y Guaymaral para, posteriormente, descargarlas hacia el Canal Guaymaral.

Según lo mencionado en el DTS del plan parcial, se evidencia que la gestión de la escorrentía se centra en recolectarla y transportarla mediante tuberías y canales hacia un pondaje húmedo, para luego almacenarla temporalmente y descargarla al Canal Guaymaral. Por medio de este proceso se generará una disminución de los caudales pico de escorrentía que llegan al canal. Aun así, la disminución de los volúmenes de escorrentía probablemente no será significativa.

Debido a que el manejo de la escorrentía se basa en la concentración de esta en un pondaje para su posterior bombeo al canal, el sistema depende de la correcta operación de las bombas. Por este motivo, si se presentan problemas en las bombas, en un evento extremo de precipitación la operación de todo el sistema puede verse afectada y pueden ocurrir encharcamientos e inundaciones. Adicionalmente, ya que toda la escorrentía generada en áreas impermeables es transportada y bombeada, si se realiza un manejo de la escorrentía en la fuente se podrían disminuir los costos operativos del sistema de drenaje. En el plan parcial existe un potencial de incluir estrategias para el manejo del agua lluvia que consideren el aprovechamiento del agua para usos no potables (p.ej. riego de zonas verdes y limpieza de calles), la detención y la infiltración. Lo anterior, a partir de una red de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que permita que el sistema sea redundante. Es decir, que si falla un elemento del sistema de drenaje pluvial no falle todo.

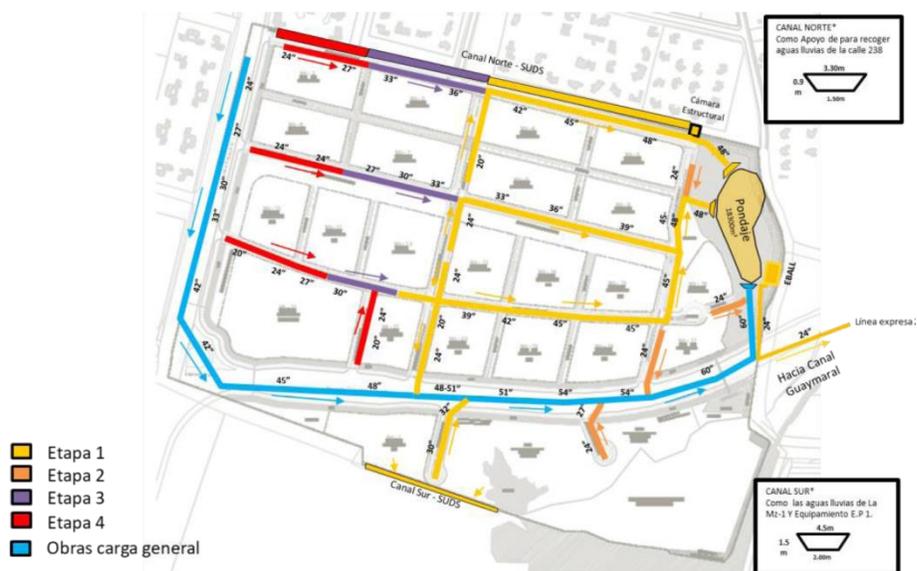


Figura 24. Esquema de drenaje presentado en el DTS del plan parcial El Bosque. Obtenido de [50].

A partir de los resultados obtenidos, se observa que el escenario que presenta mayores beneficios considerando los costos es el C. Para este escenario de implementación de SUDS (Ver Figura 25) se realizó una valoración de los servicios ecosistémicos de provisión del agua, regulación del agua y regulación del clima local. En este caso, el análisis se realizó a través de la cuantificación de los servicios.



Leyenda

■ Humedal Torca - Guaymaral	■ SUDS El Bosque
■ Canal Guaymaral	■ Cunetas Verdes
	■ Pondajes Húmedas
	■ Zonas de Biorretención

Figura 25. Ubicación de las tipologías SUDS seleccionadas para el escenario C en el plan parcial El Bosque.

La medida de cuantificación definida para valorar el servicio de provisión de agua correspondió al flujo anual de agua aprovechable para usos no potables obtenido de los pondajes húmedos. La metodología utilizada se detalla en el Anexo 10 (Capítulo 6). En este caso, se realizaron balances hídricos anuales para determinar el flujo de agua que podría ser suministrado por los pondajes sin afectar el volumen permanente característico de estas estructuras. Adicionalmente, se determinaron los flujos de evapotranspiración y de salida (i.e., flujos que sobrepasan la capacidad de las estructuras una vez suplidos los flujos de agua para usos no potables), los cuales fueron de utilidad en la valoración del servicio de regulación y en el análisis del desempeño de las tipologías de SUDS, respectivamente. Los flujos de agua aprovechable se determinaron mediante la calibración del modelo. Este proceso aseguró que el suministro real mínimo de agua correspondiera al máximo suministro potencial.

Para realizar los balances se utilizó información de precipitación horaria de la estación “Guaymaral” de la RMCAB y de evaporación de la estación C.UNIV.AGROP-UDCA de la EAB-ESP, del año 2008. La información de evapotranspiración se estimó mediante la evaporación. De esta manera, se utilizó un factor de tanque de 0.8 y los factores de la vegetación propios de cada tipología. Para definir la capacidad de almacenamiento de los pondajes y los volúmenes de agua lluvia de entrada se utilizó información de las áreas y profundidades de diseño de las tipologías y las áreas de drenaje correspondientes.

Como se observa en la Figura 26, el 67.53% del agua que ingresa a los pondajes se convierte en flujo excedente que no puede ser manejado por la tipología. Aproximadamente el 27% corresponde a la escorrentía que puede ser aprovechada para usos no potables y el 5.6% representa el agua que se evapotranspira. En la Figura 27 se presenta el agua aprovechable real obtenida de cada pondaje. Las variaciones están relacionadas con el tamaño de las estructuras, las áreas de drenaje y los flujos potenciales de agua aprovechables. A pesar que el área de los pondajes 27 y 28 no es significativamente mayor que la de los demás, estos presentan el mayor potencial para proveer agua para usos no potables. Dicho resultado está relacionado con las áreas de drenaje, pues las asignadas a estas tipologías son mucho más grandes que las demás, por lo tanto, a estos dos pondajes llega un mayor volumen de escorrentía que puede ser aprovechada. Así mismo, una fracción del volumen no puede ser manejada, por lo que estos dos pondajes son los que mayor incidencia tienen sobre los flujos de salida.

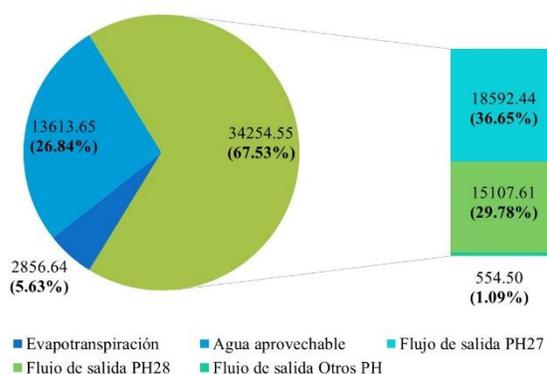


Figura 26. Flujos totales ($m^3/año$) para los pondajes húmedos analizados en el plan Parcial El Bosque.

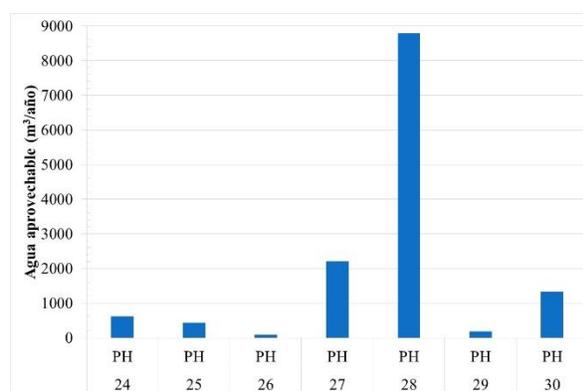


Figura 27. Flujos anuales de agua aprovechable para usos no potables obtenidos de los 7 pondajes analizados en el plan parcial El Bosque (Ver Figura 25).

Por otro lado, el servicio de regulación se cuantificó mediante balances hídricos, los cuales permitieron calcular los flujos anuales de evapotranspiración y percolación. Cabe resaltar que a partir del agua infiltrada en el suelo se determinaron los flujos de agua que pueden ser evapotranspirados y percolados de las cunetas verdes y zonas de bioretención, ya que dichos procesos ocurren en este componente. En los pondajes húmedos solo se consideró la evapotranspiración del almacenamiento superficial (tanto temporal como permanente) ya que estas tipologías están diseñadas para retener el agua lluvia por lo que no ocurren procesos de infiltración. Los balances para las zonas de bioretención no difieren significativamente de los realizados para otras estructuras vegetadas como la cuneta verde o la cuenca seca de drenaje extendido. La principal diferencia radica en la capacidad de la tipología, la cual depende del área, profundidad de diseño y su forma característica. La información utilizada para el análisis correspondió a la descrita anteriormente para el servicio de provisión. Adicionalmente, se requirió información de las características del suelo (p.ej., capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, niveles freáticos y tasas de infiltración) para establecer su capacidad de almacenamiento. Cabe resaltar que para el plan parcial se determinó, como tipo de suelo predominante, el limo arcilloso según las exploraciones geotécnicas realizadas por la EAB.

Para los pondajes húmedos sólo se tuvo en cuenta el flujo de evapotranspiración del almacenamiento superficial (tanto temporal como permanente)

En la Figura 28 y la Figura 29 se presentan los flujos regulados por las cunetas verdes y las zonas de bioretención, respectivamente. En ambos casos se observa que un importante porcentaje del agua que ingresa a las tipologías es percolado, siendo mayor para las zonas de bioretención. Dado que el porcentaje de agua evapotranspirada es muy similar para las cunetas y las zonas de bioretención, los flujos de salida de estas últimas son menores con respecto a las primeras. Lo anterior indica que el agua que ingresa a las zonas de bioretención no es mucho mayor que su capacidad y por lo tanto puede ser regulada en su mayoría. Estos resultados dependen principalmente las áreas de drenaje asignadas a cada tipología y su área potencial de diseño, lo cual está determinado por la información disponible para el caso de estudio con respecto al espacio público

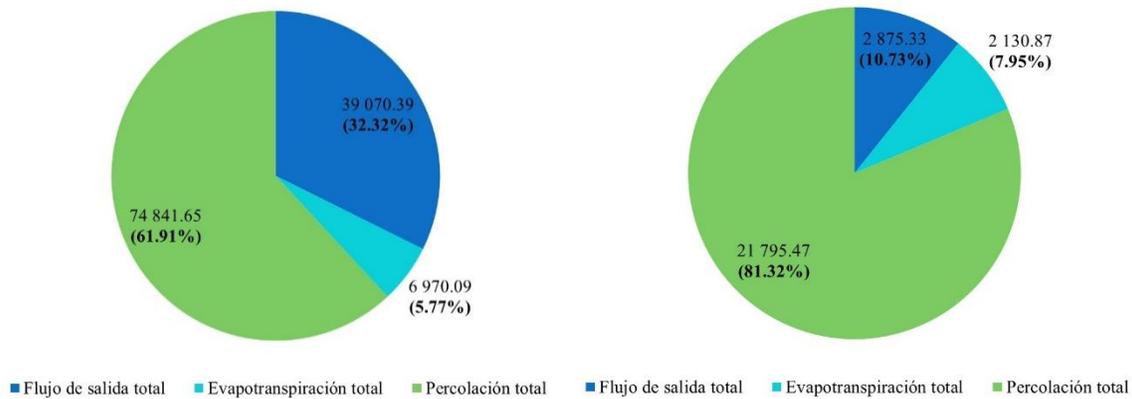


Figura 28. Flujos totales (m³/año) obtenidos de los balances hídricos realizados para las cunetas verdes analizadas en el plan parcial El Bosque

Figura 29. Flujos totales (m³/año) obtenidos de los balances hídricos realizados para las zonas de bioretención analizadas en el plan parcial El Bosque

En la Figura 30 y la Figura 31 se presentan los flujos de agua regulados por las tipologías de SUDS seleccionadas para el escenario C. Las variaciones están asociadas principalmente a las características de las tipologías, es decir, a la capacidad de almacenamiento en superficie y en el suelo, así como a sus respectivas áreas de drenaje, las cuales definen el volumen de escorrentía que ingresa a las estructuras. En particular, se observa que los flujos de percolación son muy variables en relación con los de evapotranspiración, pues dependen principalmente del agua que ingresa a las estructuras y su capacidad de almacenamiento mientras que la evapotranspiración depende del agua disponible en las tipologías.

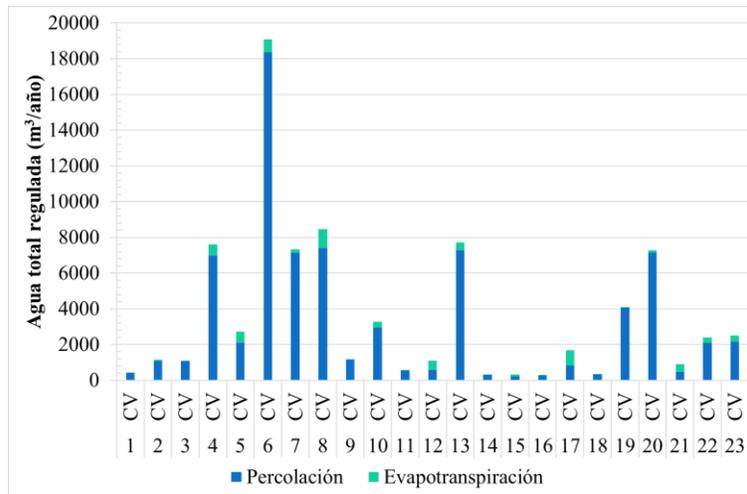


Figura 30. Flujos anuales regulados por las cunetas verdes del escenario C en el plan parcial El Bosque (Ver Figura 25).

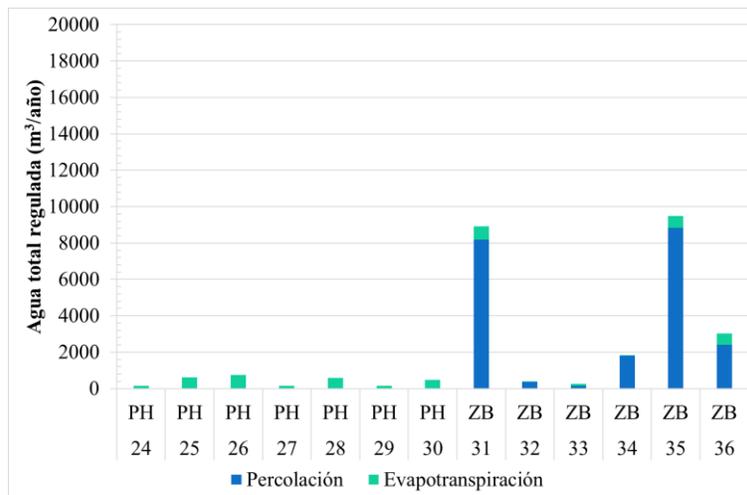


Figura 31. Flujos anuales regulados por las zonas de bioretención y pondajes húmedos del escenario C en el plan parcial El Bosque (Ver Figura 25).

Por otra parte, la valoración del servicio de regulación del clima local se realizó mediante la cuantificación del cambio de la tasa de enfriamiento por el incremento de la evapotranspiración de las zonas públicas debido a la presencia de SUDS. La metodología seguida es similar a la utilizada en Ciudad Verde, la cual consiste en determinar la diferencia en la evapotranspiración de las zonas públicas sin y con la implementación de SUDS. Posteriormente, se estimó el cambio de la tasa de enfriamiento correspondiente mediante balances energéticos, que asocian el calor sensible cedido por el ambiente con el calor necesario para evapotranspirar el agua presente en cada área.

En la Tabla 21 se presentan los resultados comparativos de la evapotranspiración promedio diaria obtenida para las zonas verdes que estarían presentes en las áreas públicas y las tipologías de SUDS que serían implementadas. Como se observa, todas las zonas verdes evapotranspiran a la misma tasa, la cual corresponde a la potencial. En comparación, los pondajes húmedos evapotranspiran más que las zonas verdes, mientras que las cunetas verdes lo harían a la misma tasa. Las zonas de bioretención, por el contrario, evapotranspirarían a una tasa menor que las zonas verdes. No se presentaron variaciones en la tasa de evapotranspiración entre tipologías, lo cual indica que están

evapotranspirando a su tasa potencial. Los resultados evidencian que la evapotranspiración está determinada por el tipo de cobertura presente en cada tipología, la cual se definió a partir del coeficiente de cultivo (K_c). Se utilizó un valor de 1.05 (i.e., agua) para los pondajes húmedo, 0.55 (i.e., cobertura de pasto) para las cunetas verdes y 0.5 (i.e., cobertura de arbustos) a las zonas de bioretención. Se asumió que las zonas verdes también estarían cubiertas por pasto, por lo tanto, la tasa de evapotranspiración es igual a la de las cunetas verdes. En este sentido, el análisis podría mejorar considerando vegetación nativa, pues las coberturas utilizadas fueron definidas a partir de coeficientes de cultivo de referencia reportados en la literatura.

Tabla 21. Tasa de evapotranspiración promedio diaria para las tipologías y las zonas verdes en las cuales serían implementadas

Tipología	Tasa de evapotranspiración de la tipología (mm/día)	Tasa de evapotranspiración de la zona verde (mm/día)
Cunetas verdes	1.390	1.390
Pondajes húmedos	2.654	1.390
Zonas de bioretención	1.264	1.390

A partir de la evapotranspiración y de algunas variables ambientales (p.ej., presión ambiental, humedad relativa y temperatura ambiental) se llevaron a cabo los balances energéticos para estimar el cambio en la tasa de enfriamiento a una altura de 2 metros sobre la superficie, generado por la implementación de SUDS. La presión ambiental, humedad relativa y temperatura ambiental promedio se determinaron a partir de la información disponible para la estación “Guaymaral” de la RMCAB, para el periodo de tiempo comprendido entre el 2009 y el 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el cambio de la tasa de enfriamiento para los pondajes respecto a las zonas verdes donde serían implementadas estas tipologías es de 0.02 °C/s, lo cual evidencia que estas estructuras presentan una capacidad adicional para regular la temperatura. El efecto de las cunetas sería el mismo que el de las zonas verdes pues, debido a la información disponible, se estableció que las características del suelo serían las mismas y por lo tanto su capacidad de retener agua que pueda ser evapotranspirada. Por su parte, la implementación de las zonas de bioretención incurriría en una disminución de la evapotranspiración de la zona, por lo tanto, la tasa de enfriamiento disminuiría en 0.002 °C/s. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, este resultado depende del coeficiente de cultivo seleccionado.

Para determinar el efecto global de la implementación de SUDS en el plan parcial El Bosque se utilizó la razón entre la energía necesaria para evapotranspirar el agua y la radiación neta como medida indirecta para establecer el enfriamiento generado por la vegetación y los cuerpos de agua [51]. Para ello, se calculó la razón para una condición con y sin la implementación de las tipologías y, posteriormente, se determinó el incremento de la energía utilizada para evapotranspirar agua. En la condición que no considera la implementación de SUDS se asume que las zonas verdes son las principales responsables de la absorción de energía para evapotranspirar agua. Así pues, el valor de la razón obtenido para este caso fue de 0.0570 e indica que por cada unidad de radiación neta 0.0570 es utilizada para evapotranspirar agua, lo cual se vería reflejado en una disminución en la temperatura ambiental. El valor obtenido para la condición que considera la implementación de las tipologías fue de 0.0579, esto significa que el consumo de energía aumentó 0.015 veces. Adicionalmente, se determinó el incremento en la evapotranspiración del plan parcial al considerar la implementación de SUDS. Los resultados para la condición sin y con la implementación de SUDS fueron respectivamente 0.365 y 0.370. Este último presenta un incremento de 0.015 con respecto al primero,

lo cual es consistente con el incremento de la energía requerido para los procesos de evapotranspiración.

Plan Parcial Tibabita

Los principales elementos del espacio público planteado para el plan parcial Tibabita incluyen un parque zonal lineal y una serie de alamedas que se espera funcionen como corredores ecológicos que permitan conectar los cerros orientales con la estructura ecológica principal del occidente de la ciudad [52]. Estas áreas se analizaron para determinar su potencial de proveer servicios ecosistémicos, se consideran servicios de provisión, regulación y socioculturales. La metodología empelada para el cálculo de los índices se presenta en el Anexo 14. En la Figura 32, se resumen los resultados correspondientes al potencial promedio del conjunto de servicios y de provisión de los distintos tipos de servicios. Se realizó una clasificación de los índices de acuerdo con los percentiles 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1. Los polígonos clasificados en el percentil 0.2 presentan el menor potencial para proveer servicios mientras que los clasificados en el percentil 0.8, el mayor potencial. Para el análisis se empleó la tasa de infiltración estimada en la investigación del Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Universidad de los Andes, a partir de información geológica y geotécnica de Bogotá [47].

La evaluación previamente realizada sobre el POZ Norte permitió identificar mayores requerimientos en cuanto a la provisión de servicios de regulación y socioculturales, en comparación con otros planes parciales. A su vez, de acuerdo con los resultados del análisis del espacio público, el parque lineal zonal localizado al occidente del proyecto presenta un potencial alto para el soporte de servicios de regulación y socioculturales. Por lo tanto, este parque zonal corresponde a una zona de oportunidad para los servicios más requeridos en el plan parcial a partir de infraestructura multifuncional en la que objetivos de control de escorrentía se complementen con otros servicios para la población del área y se contribuya a la conformación de un espacio público ameno. Por otro lado, polígonos de espacio público ubicados en la zona oriental y alamedas presentan un mayor potencial para la provisión.



Figura 32. Potencial de las zonas públicas para proveer servicios de público plan parcial Tibabita: (a) índice de oportunidad, (b) regulación, (c) provisión y (d) sociocultural

Los SUDS recomendados se establecieron mediante el modelo de optimización desarrollado por Torres et al. [48], cuya descripción se presenta en el Anexo 10 (Capítulo 6). Para esto se consideraron cuatro escenarios, en los cuales el presupuesto asignado para la construcción y el mantenimiento de los SUDS se modificó teniendo en cuenta el valor designado en DTS del plan parcial Tibabita para la adecuación de zonas de control ambiental y de parques. Dichos valores se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Presupuestos considerados para la construcción y mantenimiento de SUDS en Tibabita

Escenario	Características	Valor
A	Sin limitación de presupuesto	-
B	5% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$786,141,490.50
C	10% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$1,572,282,981.00

Escenario	Características	Valor
D	20% del presupuesto asignado para la adecuación de zonas de control ambiental y parques	\$3,144,565,962.00

La información de evaporación utilizada en el modelo se aproximó mediante los valores reportados en la estación “Guaymaral” de la Red de Calidad del Aire, un factor de tanque de 0.8 y los factores de la vegetación asociados a cada tipología [49]. La Tabla 23 presenta las tipologías seleccionadas para cada escenario y la Figura 33 la ubicación óptima de cada una en Tibabita. De los resultados obtenidos se puede observar que, para el escenario que posee un presupuesto ilimitado para la implementación de SUDS, las tipologías más adecuada son los alcorques inundables, los pondajes húmedos y los humedales construidos. Estas son las estructuras que mayores beneficios pueden generar de acuerdo con los mayores requerimientos que existen en la zona de purificación del agua lluvia y de regulación de la calidad el aire. Los alcorques inundables, debido a la cobertura vegetal que poseen, tienen gran capacidad de remover contaminantes mediante procesos de sedimentación, filtración, adsorción y biodegradación, y de capturar carbono. Los humedales construidos, por su parte, son efectivos en la remoción de sedimentos y metales. La mejora en la calidad del agua se logra a partir de procesos físicos (p.ej., la sedimentación, la filtración y la absorción), procesos químicos (i.e., formación de quelatos y la absorción química) y procesos biológicos (i.e., la absorción, transformación y descomposición por parte de la vegetación). Las zonas de bioretención, que son tipologías costosas pero que generan grandes beneficios por el potencial de provisión de servicios ecosistémicos, no se seleccionan pues no cumplen con la restricción mínima de distancia al nivel freático (i.e., 1.8 metros).

Al analizar el escenario B se observa que las tipologías más adecuadas son los pondajes húmedos. Estos se caracterizan por ser estructuras de bajo costo y por tener requerimientos de mantenimiento mucho más bajos en comparación con las tipologías que poseen vegetación o algún medio filtrante. Las cunetas verdes, que son tipologías de bajo costo, no se seleccionan pues no cumplen con la restricción mínima de distancia al nivel freático (i.e., 1.5 metros). Respecto al escenario C, las tipologías más adecuadas corresponden a estructuras de retención e infiltración. Los pondajes húmedos tienen capacidad de atenuar grandes volúmenes de escorrentía y proveer diversos servicios ecosistémicos por la lámina de agua permanente que tienen. Estas estructuras presentan mayores beneficios en la regulación del clima global. Las cuencas de infiltración, por su parte, exhiben mayor potencial de proveer el servicio ecosistémico de regulación del agua. En los resultados obtenidos para el escenario D se observa que las tipologías más adecuadas para las necesidades del área son los pondajes húmedos y los alcorques inundables. Adicionalmente, se observa que, a pesar de que los humedales construidos son factibles en algunas áreas y se recomienda su implementación en algunas áreas, son tipologías costosas de construir y mantener, por lo que no se seleccionan en los escenarios B, C y D. Es importante aclarar que los resultados presentados en relación a la selección de SUDS corresponden a una recomendación preliminar según la información disponible.

Tabla 23. Número de tipologías seleccionadas por escenario para Tibabita

Escenario	Tipologías seleccionadas								
	Cunetas verdes	Zonas de bioretención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje extendido	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables	Pondajes húmedos	Humedales construidos	Cuencas de infiltración
A	0	0	6	0	0	0	5	5	4
B	0	0	0	0	0	0	4	0	1

Escenario	Tipologías seleccionadas								
	Cunetas verdes	Zonas de bioretención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje extendido	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables	Pondajes húmedos	Humedales construidos	Cuencas de infiltración
C	0	0	0	0	0	0	10	0	2
D	0	0	7	0	0	0	11	0	2

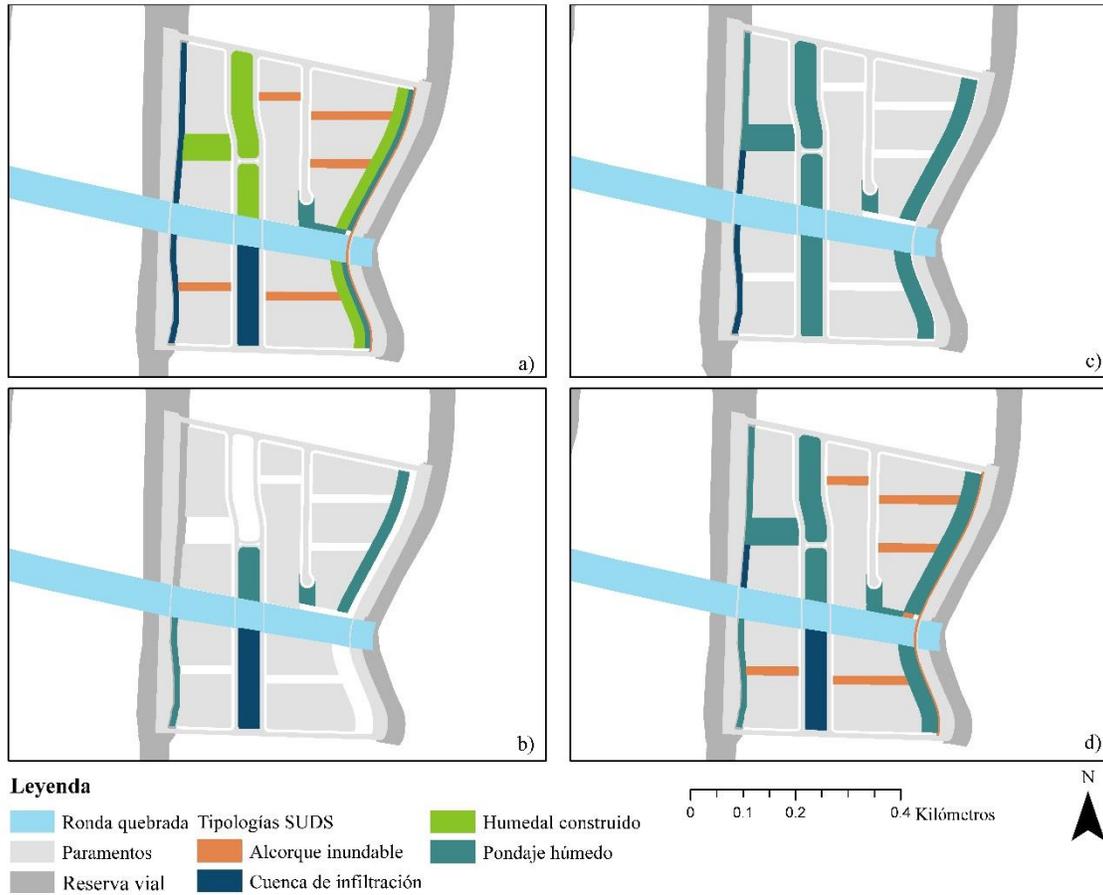


Figura 33. SUDS recomendados en Tibabita para: a) Escenario A, b) Escenario B, c) Escenario C y d) Escenario D

El esquema general de drenaje pluvial planteado en el plan parcial establece que el agua lluvia será drenada a partir de dos colectores y de la Quebrada Tibabita, posteriormente el agua será conducida al Canal Torca y vertida al Humedal Guaymaral [52]. Por otro lado, como se resumen en la Figura 34, el esquema de SUDS formulado por el desarrollador del plan parcial Tibabita corresponde a cunetas, de 1 m de profundidad y un ancho superficial de 2.5 m, localizadas en los parques lineales del proyecto. Estas cunetas manejarían escorrentía proveniente de zonas verdes y verterían el agua en la quebrada Tibabita. Esta tipología de SUDS se seleccionó debido a los niveles freáticos del área, puesto que se concluyó que la operación de una tipología de SUDS más profunda podría verse afectada por éste [52]. Si bien no se cuenta con información específica de los niveles freáticos en el plan parcial y los SUDS recomendados se definieron a partir de estimaciones del nivel freático, es importante considerar que una zona de bioretención puede tener una profundidad cercana a un metro

y brindar mayores beneficios en cuanto a la provisión de otros servicios ecosistémicos que se requieren en el área.



Figura 34. Drenaje pluvial presentado en el DTS del plan parcial Tibabita. Obtenido de [52]

Generalmente, para promover una interacción segura con el agua se recomienda un almacenamiento superficial poco profundo y no conducir la escorrentía en grandes estructuras centralizadas [53]. Por lo tanto, la operación de las cunetas propuestas puede afectar el uso del espacio público al ser estructuras perimetrales con una profundidad de 1 m y un talud de 45° que crean una barrera de 2.5 m de ancho alrededor de los parques. Adicionalmente, en la propuesta solo se considera captar escorrentía de áreas verdes, lo que podría complementarse con la captación de escorrentía de vías para mejorar la calidad de la escorrentía vertida a la quebrada Tibabita. Es importante considerar que los SUDS son estructuras complementarias y deben contar con estructuras anexas para apoyar el manejo de eventos con altos periodos de retorno. A su vez, el manejo de la escorrentía es más eficiente si se consideran distintas escalas y procesos (p. ej. infiltración, almacenamiento y conducción) mediante diferentes tipologías de SUDS. Por lo que el uso de trenes de tratamiento permitiría reducir las dimensiones de las cunetas e incrementar la escorrentía manejada.

En todo caso, es posible que la capacidad de las cunetas sea mucho mayor a la requerida. Por ejemplo, en la Figura 35 se presentan las profundidades estimadas para las diferentes cunetas para caudales establecidos a partir de la curva IDF de la estación Escuela Colombiana de Ingeniería. De acuerdo con los resultados se requiere menos del 16% de la profundidad total de las cunetas si estas presentan una pendiente de 1%. La estimación se hizo para periodos de retorno de 5 y 10 años, un tiempo de concentración de 15 minutos y considerando los coeficientes de escorrentía de la NS-085 para una condición de pasto buena en el área de drenaje. A su vez, para cada cuneta se asumió que la totalidad de la escorrentía generada en el polígono de espacio público era manejada por está. Por lo tanto, la mayor parte del tiempo el caudal que será conducido por las cunetas será mucho menor a la capacidad total de éstas, lo cual puede significar un uso ineficiente del espacio público.

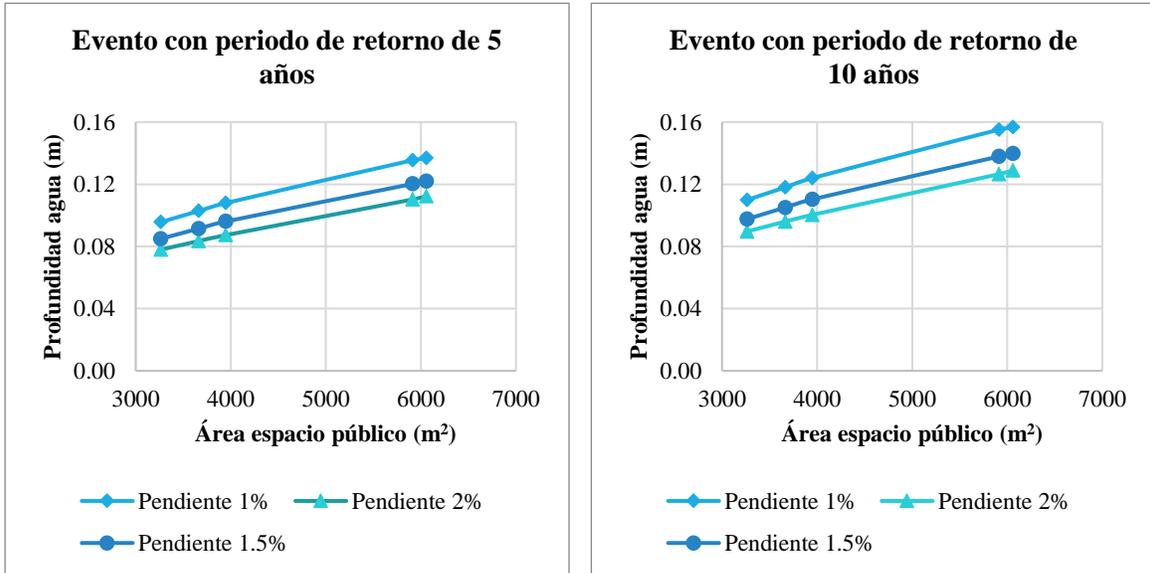


Figura 35. Profundidad de agua aproximada para las cunetas

La valoración de los servicios ecosistémicos se llevó a cabo para las tipologías de SUDS seleccionadas en el escenario C (Ver Figura 36), el cual presenta los mayores beneficios considerando sus costos. Los servicios ecosistémicos valorados fueron los de provisión del agua, regulación del agua y regulación del clima local. Al igual que para el plan parcial El Bosque, se realizó una cuantificación de los servicios mediante balances hídricos. La medida de cuantificación definida para valorar el servicio de provisión de agua correspondió al flujo anual de agua aprovechable para usos no potables obtenida de los pondajes húmedos. La metodología utilizada corresponde a una adaptación de la empleada para valorar este servicio en Ciudad Verde. La información requerida para llevar a cabo el análisis fue a la misma considerada en el plan parcial El Bosque.



Figura 36. Ubicación de las tipologías SUDS seleccionadas para el escenario C en el plan parcial Tibabita

Los flujos totales obtenidos para los 10 pondajes analizados se presentan en la Figura 37. Se evidencia que aproximadamente la mitad del agua lluvia que ingresa a las tipologías estaría disponible para usos no potables. El 43% correspondería a flujos que sobrepasan la capacidad de los pondajes y el porcentaje restante serían flujos regulados por procesos de evapotranspiración. En la Figura 38 se presenta el agua aprovechable real obtenida de cada pondaje. Las variaciones están relacionadas con el tamaño de las estructuras, las áreas de drenaje y los flujos potenciales de agua aprovechables.



Figura 37. Flujos totales (m³/año) obtenidos para los pondajes húmedos analizados en el Tibabita

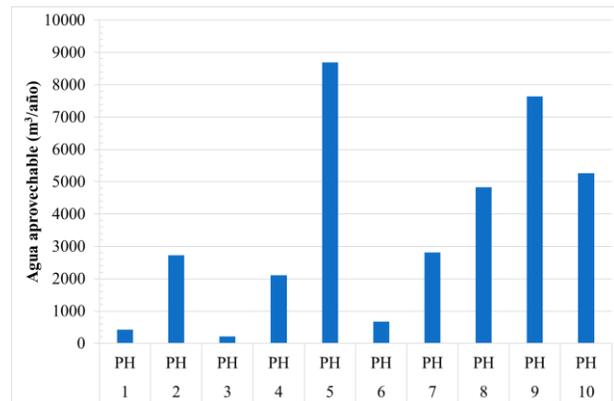


Figura 38. Flujos anuales de agua aprovechable para usos no potables obtenidos de los 10 pondajes en Tibabita (Ver Figura 36)

La valoración del servicio de regulación se llevó a cabo mediante la cuantificación de los flujos anuales de evapotranspiración y percolación de las tipologías. Cabe resaltar que a partir del agua infiltrada en el suelo se determinaron los flujos de agua que pueden ser evapotranspirados y percolados de las cuencas de infiltración, ya que dichos procesos ocurren en este componente. En los pondajes húmedos solo se tuvo en cuenta la evapotranspiración del almacenamiento superficial (tanto temporal como permanente) ya que estas tipologías están diseñadas para retener el agua lluvia y, por lo tanto, no ocurren procesos de infiltración. La metodología utilizada tiene en cuenta las mismas consideraciones planteadas para el plan parcial El Bosque. Es importante mencionar que los balances realizados para las cuencas de infiltración son similares a los realizados para otras estructuras vegetadas. La principal diferencia radica en la capacidad de almacenamiento de la tipología, pues depende del área y profundidad de diseño, así como de su forma característica. La información requerida para llevar a cabo el análisis corresponde a la misma considerada para el plan parcial El Bosque. A partir de exploraciones geotécnicas realizadas por la EAB se determinó que el tipo de suelo característico en Tibabita es el limo arcilloso.

Los flujos totales de agua regulados por las cuencas de infiltración se presentan en la Figura 39. Se observa que la mayor parte del agua lluvia que ingresa a las estructuras es percolada. El volumen restante se regula mediante procesos de evapotranspiración. Los resultados indican que la capacidad de las cuencas de infiltración es suficiente para manejar la escorrentía que ingresan. En la Figura 40 se presentan los flujos de regulación para los SUDS propuestos. Se observa que los flujos de evapotranspiración no son muy variables entre tipologías. Anualmente, el volumen de agua total que sería percolada por las cuencas de infiltración es de 7,232.64 m³ mientras que el volumen total evapotranspirado por todos los pondajes y las cuencas sería de 4,470.18 m³. Este resultado indica que el servicio de regulación es potenciado por tipologías que permitan los procesos de percolación.



Figura 39. Flujos totales (m³/año) obtenidos para las cuencas de infiltración en el plan parcial Tibabita.

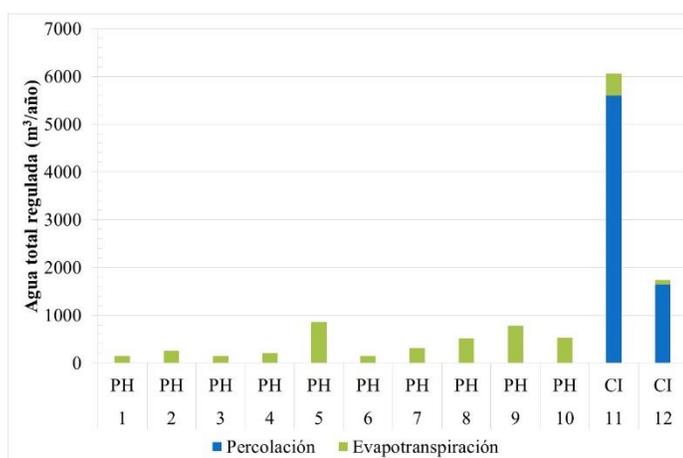


Figura 40. Flujos anuales regulados por los SUDS en el plan parcial Tibabita (Ver Figura 36).

El servicio de regulación del clima local se valoró mediante la cuantificación del cambio de las tasas de enfriamiento debido al incremento en la evapotranspiración de las zonas públicas en las cuales serían implementadas las tipologías SUDS. Al igual que para el plan parcial el Bosque, la metodología seguida es similar a la utilizada en Ciudad Verde. La información requerida se obtuvo de las mismas

fuentes descritas para el plan parcial El Bosque. En la Tabla 24 se presentan los resultados comparativos de la evapotranspiración de promedio diaria obtenida para las zonas verdes y los SUDS que serían implementados. Las cuencas de infiltración, al igual que otras tipologías cubiertas por pasto, evapotranspirarían a la misma tasa que las zonas verdes en las que se implementarían. Sin embargo, los pondajes lo harían a una tasa mayor que las zonas verdes debido al su espejo de agua permanente. Dado que no se presentaron variaciones en las tasas de evapotranspiración entre tipologías se puede establecer que todas evapotranspiran a su tasa potencial.

Tabla 24. Tasa de evapotranspiración promedio diaria (mm/día) para las tipologías y las zonas verdes en las cuales serían implementadas

Tipología	Tasa de evapotranspiración de la tipología (mm/día)	Tasa de evapotranspiración de la zona verde (mm/día)
Cuencas de infiltración	1.390	1.390
Pondajes húmedos	2.654	1.390

El cambio en la tasa de enfriamiento para los pondajes con respecto a las zonas verdes sería de 0.02°C/s, lo cual evidencia que estas estructuras presentan una capacidad adicional para regular la temperatura con respecto a las zonas verdes en las que serían implementados. Dado que las cuencas de infiltración evapotranspiran a la misma tasa que las zonas verdes, no tendrían efecto significativo sobre la temperatura ambiental. Sin embargo, este resultado está asociado con del tipo de cobertura vegetal considerada en las tipologías. Por lo tanto, este servicio podría potenciarse si se plantea utilizar vegetación con tasas de infiltración mayores.

Ahora bien, el efecto global en el plan parcial por la implementación de SUDS se determinó mediante la razón entre la energía necesaria para evapotranspirar el agua y la radiación neta. Esta medida indica la cantidad de energía que sería utilizada en los procesos de evapotranspiración con respecto a la energía disponible en el ambiente. Esta razón se determinó para las condiciones sin y con la implementación de SUDS, posteriormente se determinó el incremento de la energía utilizada entre ambas condiciones. El valor obtenido para la primera condición sin SUDS fue de 0.0817 y para la segunda fue de 0.0878, por lo tanto, el incremento fue estimado en 0.0748. Adicionalmente, se determinó el incremento en la evapotranspiración del plan parcial al considerar la implementación de SUDS. Los resultados para la condición sin y con la implementación de SUDS fueron respectivamente 0.5227 y 0.5618. Este último presenta un incremento de 0.0748 con respecto al primero, lo cual es consistente con el incremento de la energía requerido para los procesos de evapotranspiración.

7.2.4. Comparación entre los casos de estudio: Lagos de Torca y Ciudad Verde

La evaluación de los dos casos de estudio se basó, entre otros, en la cuantificación de un conjunto de indicadores para establecer las características de los proyectos y calificar el avance respecto a diferentes aspectos en torno a la sostenibilidad. Para el caso de Ciudad Verde fue posible analizar la totalidad de indicadores propuestos, si bien fue necesario realizar simplificaciones a partir de la información disponible. A su vez, para Lagos de Torca fue posible cuantificar una menor cantidad de indicadores, debido al estado de avance del proyecto y a la información disponible. La evaluación de indicadores en ambos casos de estudio demostró que los relacionados con la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado (p.ej., la cobertura del servicio de distribución de agua y de alcantarillado sanitario y pluvial) presentaron el mejor desempeño. En el marco de transición hacia

una ciudad sensible al agua, dichos indicadores hacen parte de las primeras etapas y su apropiado desempeño debe garantizarse para todo desarrollo.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el indicador de emisiones de CO₂-eq, se observa que las emisiones estimadas por habitante y por m³ de agua distribuida son mayores en Lagos de Torca que en Ciudad Verde. Esto se debe a que, para realizar la potabilización del agua en la PTAP Tibitoc (i.e., fuente de abastecimiento de Lagos de Torca), se requieren 11.28 kWh para tratar 1 m³ de agua mientras que en la PTAP Wiesner (i.e., fuente de abastecimiento de Ciudad Verde), 0.082 kWh. Lo anterior se debe a que la fuente de agua que suple la demanda de Lagos de Torca (i.e., Río Bogotá) posee una carga contaminante mucho mayor que la de la fuente de Ciudad Verde (i.e., embalses Neusa, Sisga y Tominé), por lo cual son necesarios procesos más avanzados de tratamiento para cumplir con los estándares de calidad para consumo humano. Particularmente, para tratar el agua en la PTAP Tibitoc se llevan a cabo procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección mientras que en la PTAP Wiesner se utilizan procesos de filtración directa para el tratamiento. Respecto al indicador de índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento, debido a que los casos de estudio están ubicados en la cuenca del río Bogotá, presentan la misma calificación. A pesar de que el suministro de agua está asegurado para ambos desarrollos, es importante considerar que este depende en gran medida de un trasvase de cuenca del Río Guatiquía.

Los resultados obtenidos para el índice de escorrentía descargada antes y después de la urbanización (i.e., 1.61, 1.89 y 1.88 para Ciudad Verde, Tibabita y El Bosque, respectivamente) evidencian un aumento en el volumen generado de escorrentía producto de la impermeabilización de los terrenos. La gestión de la escorrentía en Ciudad Verde se centra en recolectarla y transportarla mediante tuberías y canales a un pondaje húmedo para su posterior bombeo al río Tunjuelo. Lo anterior refleja que el esquema de drenaje no considera el manejo de la escorrentía a diferentes escalas. Por su parte, en Lagos de Torca la retención mínima del agua lluvia por parte de las tipologías de SUDS debe ser del 30% en los diferentes planes parciales. Esto representa una oportunidad para tratar la escorrentía a diferentes escalas (p.ej., control en la fuente y control local) y generar un esquema multifuncional para el manejo de la misma que permita la interacción de los habitantes con el agua y la conectividad de áreas verdes, y corredores verdes y verde azules.

Por otro lado, se evidenció que el manejo de las aguas residuales en ambos casos de estudio sigue un esquema centralizado (i.e., el agua residual es transportada hasta el sitio de tratamiento que, generalmente, se encuentra lejos de su lugar de generación). Las obras de construcción de la PTAR Canoas como la ampliación de la PTAR Salitre, donde se trataría respectivamente el 100% de las aguas residuales de Ciudad Verde y Lagos de Torca, hacen parte del Plan de Saneamiento y Recuperación del Río Bogotá. Como se mencionó anteriormente, dicho plan considera un esquema de tratamiento según los usos del río en las diferentes partes de la cuenca. Si bien se tiene planeado tratar el 100% del agua residual de Ciudad Verde en la futura PTAR Canoas, en la actualidad el agua residual se vierte al Río Bogotá sin ningún tipo de tratamiento. Lo anterior refleja la desconexión que existe entre la gestión de las aguas residuales y la planeación urbana en el área. Se han observado retrasos en la ejecución de las obras planteadas para la construcción de la PTAR, por lo que aún se requiere un mayor compromiso y responsabilidad interinstitucional en el desarrollo de dichas obras. En futuros desarrollos urbanos sería pertinente que las licencias de urbanización se otorguen una vez se haya garantizado el tratamiento del caudal de agua residual proyectado.

Por otra parte, los resultados de la valoración de los servicios ecosistémicos provistos por los SUDS dependieron principalmente de las tipologías seleccionadas y de las características particulares de cada caso de estudio, así como de la información disponible. La metodología propuesta para la

cuantificación de los servicios implicó balances hídricos anuales a partir de los cuales se obtuvieron flujos representativos para el servicio de provisión (i.e., agua disponible para usos no potables), el servicio de regulación del agua (i.e., agua que deja de ser descarga al sistema de drenaje representada por el agua evapotranspirada y percolada) y el servicio de regulación del clima local (i.e., regulación de la temperatura por el consumo de energía ambiental debido a procesos de evapotranspiración de las tipologías).

En la Figura 41 se presentan los resultados de los flujos asociados a los servicios ecosistémicos. Así pues, el anillo interno representa el caso de estudio de Ciudad Verde. En este se observa que, del total de escorrentía que ingresa a las tipologías, aproximadamente la mitad tiene el potencial de ser aprovechada en usos no potables mientras que el 23% deja de ser descargada al sistema de drenaje por procesos de percolación y evapotranspiración. El porcentaje restante representa los flujos de agua que no pueden ser manejados por las tipologías. Estos resultados indican que la presencia de los pondajes (i.e., 11 de 21 tipologías) potencian el servicio de provisión en Ciudad Verde (Ver Figura 42).

En contraste, los resultados para el plan parcial El Bosque (i.e., anillo del medio) indican que el servicio de regulación del agua es el más relevante, pues del total de escorrentía que ingresa a las tipologías el 43% es percolada y el 6% evapotranspirada, solo el 8% tiene el potencial de ser aprovechada en usos no potables. Estos resultados dependen principalmente del número de tipologías vegetadas propuestas (i.e., 23 cunetas verdes y 6 zonas de bioretención), las cuales incrementan la percolación de la escorrentía como se observa en Figura 42. Dado que el 43% del agua no puede ser manejada por los SUDS propuestos, este resultado indica que posiblemente las áreas de drenaje son comparativamente más grandes que las áreas de diseño de cada tipología. Sin embargo, estos resultados pueden variar al contar con información más detallada del espacio público.

El plan parcial Tibabita, cuyos resultados se resumen en el anillo exterior de la Figura 41, exhibe una distribución similar a la de Ciudad Verde. El 46% de la escorrentía que ingresa está asociado a flujos de agua que pueden ser aprovechados en usos no potables. Sin embargo, solo el 15% del agua que ingresa a las tipologías es regulada por percolación y evapotranspiración. Lo anterior es resultados del tipo de SUDS propuestos, pues de las 12 tipologías, 10 corresponden a pondajes húmedos y 2 a cuencas de infiltración (Ver Figura 43). Como se observa en la Figura 42, las cuencas de infiltración tienen la capacidad de manejar la totalidad del agua que ingresa a estas estructuras, por lo tanto, el 39% corresponde a flujos de agua que no pueden ser manejados por los pondajes húmedos.

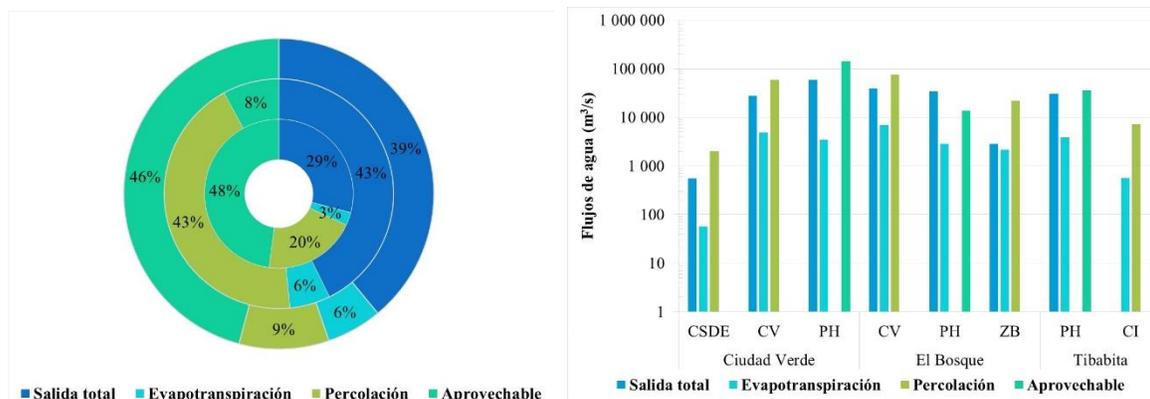


Figura 41. Distribución porcentual de los flujos de agua totales asociados cada caso de estudio. (1) Anillo interno: Ciudad Verde, (2) anillo del medio: El Bosque y (3) anillo externo: Tibabita

Figura 42. Flujos de agua (m³/s) asociados con las tipologías de cada escenario

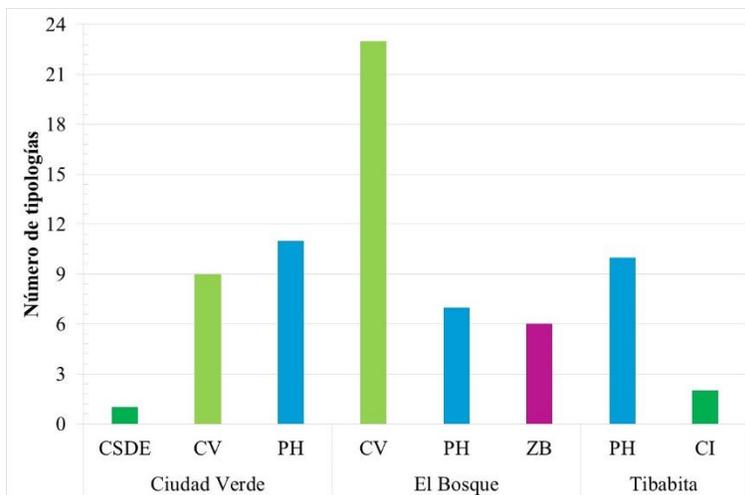


Figura 43. Número de tipologías propuestas para cada escenario

Adicionalmente, la cuantificación del servicio de regulación del clima local tuvo en cuenta la regulación de la temperatura ambiental por el aumento de la evapotranspiración debido a la presencia de los SUDS. En particular, los resultados evidenciaron que los pondajes húmedos tiene el potencial de disminuir la temperatura de las zonas circundantes, pues evapotranspiran a una tasa mayor que las zonas verdes. Sin embargo, las estructuras vegetadas de cada caso de estudio evapotranspiran a tasas iguales o menores que las zonas verdes. Lo anterior indica que el tipo de cobertura dispuesta en las tipologías determina la capacidad para proveer este servicio.

En promedio los pondajes húmedos en Ciudad Verde tienen la capacidad de aumentar la tasa de enfriamiento en 0.0075 °C/s, con respecto a las zonas verdes, mientras que en los planes parciales de El Bosque y Tibabita, el incremento estimado fue de 0.02 °C/s. Estos resultados están principalmente asociados con las tasas de evapotranspiración de las tipologías ya que, en Lagos de Torca, los pondajes reciben el agua suficiente para evapotranspirar a su tasa potencial, 2.65 mm/día, mientras que en Ciudad Verde evapotranspiran en promedio 1.85 mm/día. Cabe resaltar que las zonas de bioretención propuestas para El Bosque evapotranspiran menos que las zonas verdes, por lo cual disminuyen la tasa de enfriamiento en 0.002°C/s.

Con el fin de estimar el efecto global en la temperatura ambiental de cada caso de estudio por la implementación de los SUDS, se utilizó como medida indirecta el incremento en el consumo de energía ambiental para los procesos de evapotranspiración. Los resultados obtenidos para Ciudad Verde, El Bosque y Tibabita fueron respectivamente 0.002, 0.015 y 0.075. Estos resultados dependen tanto de las tipologías propuestas como de la infraestructura verde existente o proyectada en cada caso de estudio. A pesar de que el efecto global no es significativo, localmente puede llegar a ser relevante no solo al implementar tipologías con láminas de agua permanente sino tipologías con vegetación diversa que puedan potenciar la evapotranspiración de las zonas públicas.

7.3. Suministro y uso de energía

En Lagos de Torca, tomando como referencia los planes parciales, existe un común denominador alrededor de los servicios energéticos (electricidad y gas): garantizar el acceso a dichos servicios. Dentro de cada uno de los planes parciales se debe realizar un estudio de viabilidad de conexión de energía subcontratado a diferentes empresas, el cual es presentado a CODENSA y Gas Natural Vanti, los operadores del servicio para su posterior viabilización. Dentro de los documentos técnicos disponibles públicamente para cada plan parcial se encuentra la constancia de que existe la aprobación por parte de CODENSA para las diferentes redes, tanto de media como de baja tensión. De acuerdo con el decreto 088 de 2017 [13], las obras que competen a dichas redes y todos sus instrumentos, así como la adquisición de los suelos necesarios, deberán ser construidas por la empresa prestadora del servicio. Los documentos técnicos a su vez resumen las redes disponibles alrededor del plan parcial a través del cual se pueden conectar al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Sin embargo, es de resaltar que información detallada de estos estudios de viabilidad no se encuentra disponible públicamente.

Por lo tanto, el objetivo principal de los planes parciales de Lagos de Torca alrededor del sector energía es el de garantizar el acceso al servicio tanto de gas como de electricidad, ello de acuerdo con el artículo 61 (energía eléctrica) y 64 (gas natural domiciliario) del decreto anteriormente mencionado. Por la misma naturaleza del decreto no existe una exigencia de mirar más allá de garantizar dicho servicio, lo cual es una consecuencia esperada del contexto actual del país alrededor del tema de energía, en donde las tecnologías de generación y almacenamiento distribuido a nivel urbano solo se ha considerado en establecimientos industriales y comerciales. Es decir, hay un enfoque respecto a la implementación de tecnologías que aporten al autosuministro del servicio. Es de destacar que existe una discusión alrededor de propuestas de eficiencia energética. Por ejemplo, un común denominador de los planes parciales es la consideración de implementar tecnología LED para las bombillas del alumbrado público. En menor medida, los planes parciales de El Bosque [50] y El Coral [13] proponen ideas alrededor de eficiencia energética pasivas orientadas a aspectos de las edificaciones tales como la envolvente y su orientación.

Dentro de este decreto se menciona “el aprovechamiento óptimo de las fuentes generadoras y de la construcción de la infraestructura de transmisión y distribución” como medios que deben utilizar las empresas prestadoras de servicio para el suministro. Si bien sería ideal entender el aprovechamiento de las fuentes generadoras como el aprovechamiento de fuentes distribuidas de generación, la interpretación que se le da es la participación de las fuentes del SIN para el suministro del servicio.

7.3.1. Medidas de mejora y curvas de abatimiento

Con base en lo anterior, es posible concluir que en Lagos de Torca existe un amplio potencial de exploración de implementación de estrategias orientadas la gestión de demanda y sobre todo a la generación distribuida de recursos energéticos dentro del proyecto urbano considerando que está por ser construido. Dentro de las diferentes posibilidades potenciales de implementación de tecnologías de generación, se desarrolla un estudio orientado a evaluar el potencial técnico y económico de implementar generación distribuida de energía fotovoltaica y almacenamiento eléctrico basado en baterías en el sector residencial en un horizonte de análisis de 2023 a 2050. Este análisis de desarrolla principalmente con dos objetivos:

- Dimensionamiento estimado de capacidades de tecnologías de generación fotovoltaica y almacenamiento eléctrico.

- Análisis de mitigaciones y costo-eficiencia del sistema considerado.

Estos objetivos se encuentran orientados a dar lineamientos a los tomadores de decisión acerca de la capacidad necesaria para cubrir ciertos niveles de demanda determinados a lo largo del periodo de construcción y operación del proyecto, así como de los potenciales beneficios económicos y ambientales que considerar esta tecnología puede traer.

El análisis de esta tecnología se desarrolló bajo diferentes escenarios de año de implementación, demanda, autosuficiencia de demanda, costos de capital y O&M de tecnologías, precios de venta de energía y energía exportable. Un resumen de los escenarios que contempla el modelo se presenta en la Tabla 25. De estos escenarios, es de importancia destacar la última variable, la cual será uno de los puntos importantes para el análisis que corresponde a la energía exportable.

Tabla 25 Escenarios contemplados en el estudio.

Variable	Escenarios	Comentario
Demanda	Bajo, medio, alto, referencia	Estimación de demanda desarrollada por el sector de infraestructura urbana. Escenario de referencia desarrollado por Lagos de Torca
Autosuficiencia	25%, 50%, 100%	El modelo admite cualquier nivel de autosuficiencia requerido
Precio de compra de energía	Bajo, medio, alto	Basado en proyecciones desarrolladas en el sector
CAPEX y OPEX de tecnologías	Bajo, medio	Basado en el <i>Annual Technology Baseline (ATB)</i> desarrollado por NREL
Precio de venta de energía	Precio para sistemas con capacidad instalada por encima y por debajo de 100 kW	Basado en la regulación CREG 030 de 2018
Energía exportable	Vigente, relajado	Escenario vigente basado en la regulación CREG 030 de 2018. Escenario relajado propuesto desde el sector.

La regulación vigente orientada a generación eléctrica distribuida corresponde a la CREG 030 de 2018. Esta regulación presenta los límites tanto de capacidad como de energía exportable, así como el esquema de remuneración de venta de excesos de energía a la red. Como se pudo encontrar en el análisis de este tipo de medida para Ciudad Verde, la norma vigente limita ampliamente la implementación de generación distribuida en términos de capacidad al estar sujeta a la capacidad del transformador al cual esté asociado el sistema eléctrico de la demanda a suplir, y la energía exportable al estar sujeta a los niveles de demanda mínima a suplir a lo largo del año. Para el estudio de Lagos de Torca, considerando que el sistema de distribución aún no ha sido construido en su totalidad, no se considerarán límites sobre la capacidad de generadores. Sin embargo, se considera que en el análisis es de vital importancia considerar los límites de exportación de energía vigentes y sus efectos tanto en el dimensionamiento técnico como en la viabilidad económica. La norma vigente restringe la energía exportable al 50% de la demanda mínima a ser suplida por el sistema a lo largo de un año [54], la cual es un resultado de balancear objetivos de mantener la estabilidad del sistema de distribución como objetivos de mercado al considerar la incursión de los prosumers en este. Con el fin de demostrar los potenciales beneficios que tendría contemplar una restricción relajada en la energía exportable, se considera como escenario alternativo ampliar el límite de energía exportable al 200% de la demanda mínima.

Curva de abatimiento

La implementación de un sistema de generación eléctrica distribuida basado en tecnología fotovoltaica resulta en un abatimiento de gases de efecto invernadero resultado de la energía que se deja de exportar de la red, la cual desde su generación hasta su transmisión y distribución resultan en ciertas emisiones. Las curvas de abatimiento se presentan en *Figura 44*, las cuales son resultado de la operación de un sistema de generación fotovoltaica con almacenamiento que se expande año a año de acuerdo con la meta de autosuficiencia determinada en cada curva. La generación y el almacenamiento son dimensionados bajo un escenario de demanda eléctrica máxima y escenario relajado de exportación. La energía exportada hacia la red se contabiliza como una mitigación adicional de emisiones y a su vez se contabilizan las emisiones embebidas al ciclo de vida de las tecnologías tanto en su manufactura como en su operación. Es de resaltar que este tipo de curvas pueden ser generadas para cualquier combinación de los escenarios expuestos.

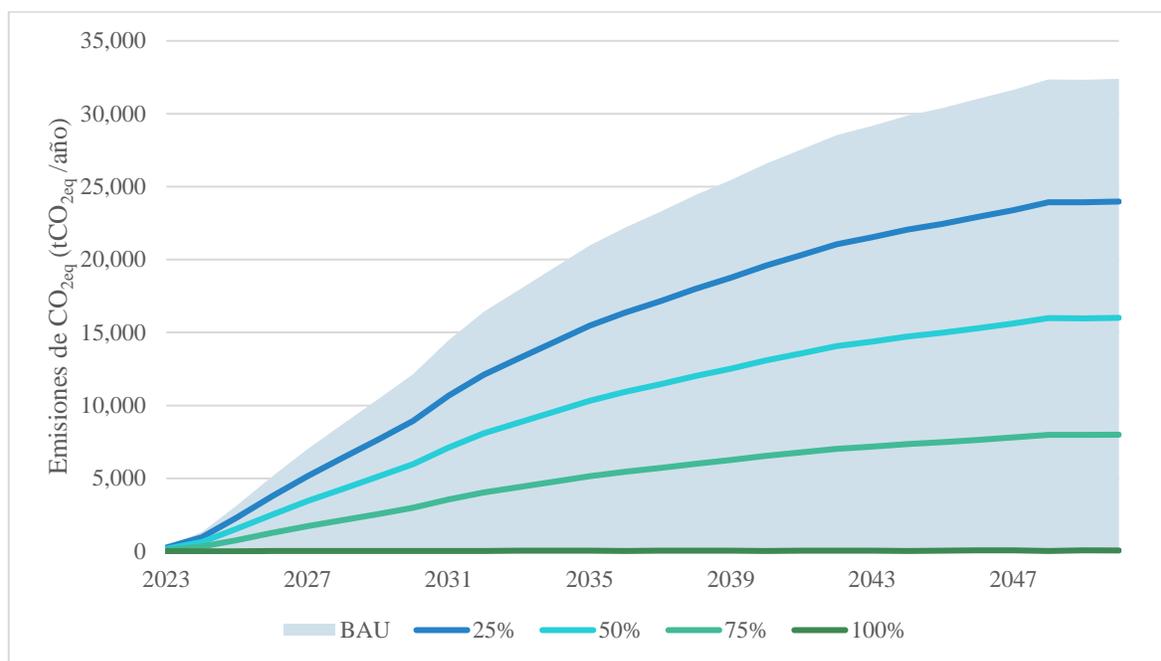


Figura 44 Curva de emisiones de GEI bajo diferentes escenarios de autosuficiencia

Dimensionamiento técnico

El modelo permite realizar un dimensionamiento aproximado de la capacidad necesaria para suplir un cierto porcentaje de autosuficiencia para las diferentes configuraciones de escenarios posibles. Siguiendo una configuración de escenarios similar a la presentada en la subsección anterior, se presentan los resultados del dimensionamiento de capacidad solar y de almacenamiento para suplir diferentes niveles de penetración de renovables para ciertos años determinados. En la *Figura 45* y *Figura 46* se ilustra la evolución de la capacidad para la generación fotovoltaica y el almacenamiento cada 5 para diferentes años clave cuando se considera una meta de 25% de autosuficiencia. Para este escenario se observa que no existe una diferencia aparente entre los resultados de los dos escenarios debido a que la energía a exportar en el sistema no excede los límites determinados por la regulación.

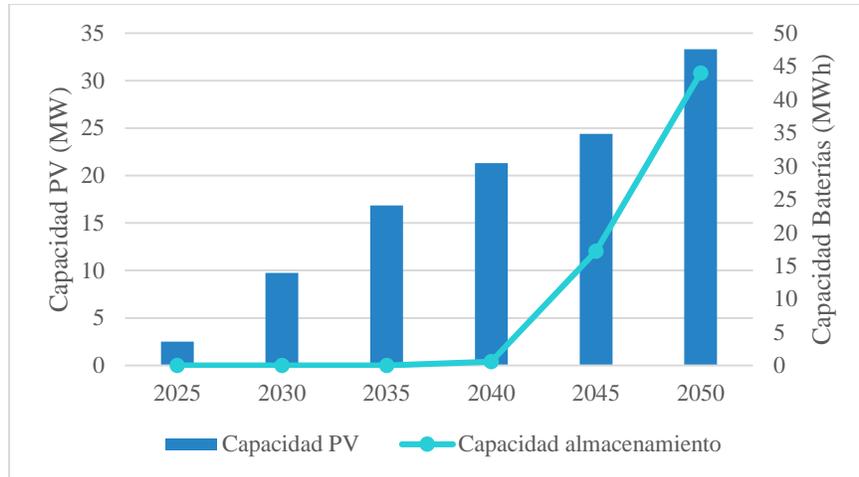


Figura 45 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 25% bajo límites de energía exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018

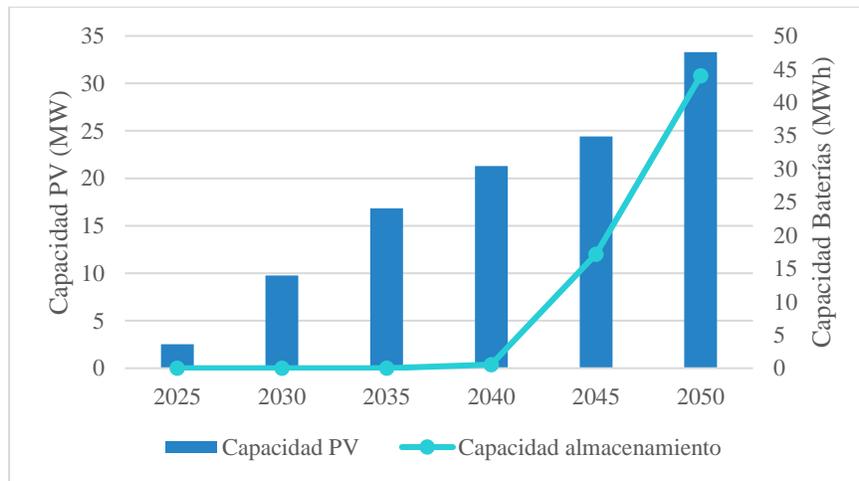


Figura 46 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 25% bajo límite de energía de exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018 relajado

En la Figura 47 y Figura 48 se muestra la evolución de la capacidad requerida para cubrir un nivel del 50% de la demanda eléctrica estimada para diferentes años clave. En este resultado se observa la distinción entre los dos escenarios definidos para la energía exportable, en el cual el efecto de la limitación vigente es aparente con respecto a un escenario que flexibilice esta restricción ampliando dicho límite.

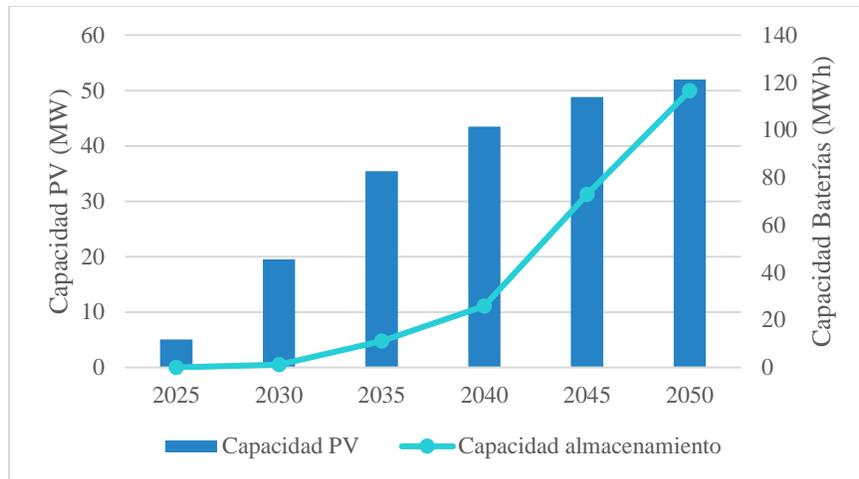


Figura 47 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 50% bajo límites de energía exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018.

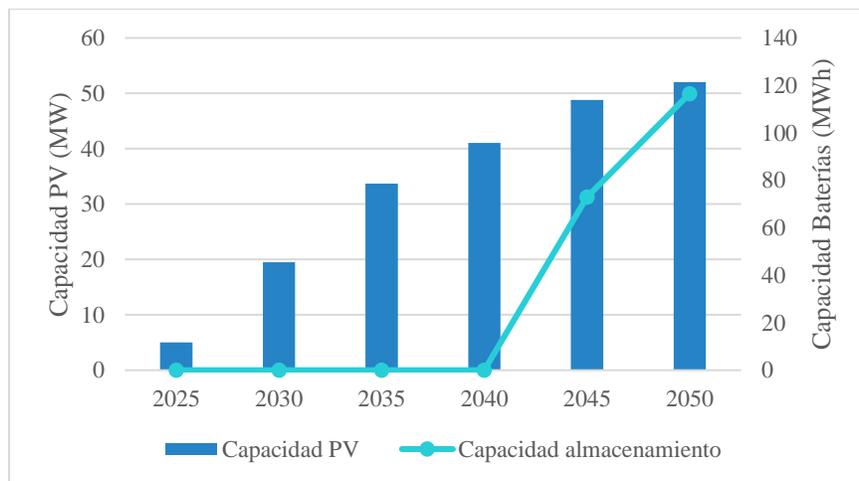


Figura 48 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 50% bajo límite de energía de exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018 relajado

El efecto producido por la limitación se traduce en que, si se quisiera empezar a implementar sistemas de generación eléctrica para niveles de penetración de demanda superiores a 50% (o que se encuentra en un rango entre 25% y 50%) en etapas tempranas del proyecto, se requerirá la consideración de almacenamiento, ello debido a que, dado la disparidad entre las curvas de consumo residencial y las curvas de generación fotovoltaica, durante un día ideal existirá un exceso de energía que debe ser distribuido. Considerando que el nivel de penetración considerado maneja un nivel de exceso superior al límite de energía exportable de la regulación, este exceso debe ser almacenado para ser posteriormente utilizado en periodos de tiempo en los cuales no se cuenta con generación de energía. Este escenario, en el cual se traslada la energía para periodos donde es ausente la generación, es ideal para escenarios rurales y escenarios urbanos en los cuales la tarifa de compra de energía es dinámica. Sin embargo, se asumió que Colombia manejará un esquema tradicional de precios, en el cual se tiene una tarifa fija cada mes, por lo que esta estrategia de gestión de energía no es aplicable. Además, es de destacar que considerar almacenamiento en etapas tempranas del proyecto no es rentable en términos económicos, lo cual es reflejado en el escenario relajado, para el cual no se contempla

almacenamiento hasta el año 2040. En resumen, los límites de energía exportable, así como las metas previstas para el proyecto urbano influirán en la consideración de almacenamiento. En etapas tempranas de construcción, la meta de autosuficiencia se verá limitada por la capacidad de exportación de energía considerando que la factibilidad económica del almacenamiento es baja. Una alternativa para incentivar la consideración de almacenamiento es establecer un esquema de tarifas dinámicas en el país.

A partir de alrededor del año 2040 es posible observar que el escenario de exportación flexible empieza a considerar la implementación de almacenamiento en el sistema de generación, hasta un punto sobre el cual las capacidades de almacenamiento se nivelan entre el año 2045 y 2050. En el modelamiento se consideró una proyección del crecimiento del precio de la energía siempre creciente de acuerdo a proyecciones de la UPME [55] mientras que los costos de las tecnologías presentan un decrecimiento de acuerdo con las proyecciones de NREL [56]. Considerando la evolución de estas dos variables, existirá un punto para el cual considerar el sistema de almacenamiento es más rentable que comprar energía de la red, por lo que se tendrá un fenómeno de deslastre de carga similar al descrito anteriormente. Por lo tanto, para etapas medias y tardías del proyecto como el año 2040, se puede considerar la inclusión de almacenamiento para soportar el sistema instalado de tal manera que se tenga un respaldo en escenarios de contingencia, así como la posibilidad de mejorar la rentabilidad del sistema.

En la *Figura 49* y *Figura 50* se muestra el contraste del dimensionamiento técnico para una meta de autosuficiencia del 75% entre los escenarios de la regulación vigente y el escenario flexible. En este se observa una tendencia similar al presentado con el escenario de 50% de autosuficiencia, con la diferencia que para el caso de la regulación vigente se tiene que el almacenamiento se considera en etapas más tempranas, a partir de 2030. Suponiendo que la regulación vigente mantiene sus niveles exportables, la recomendación es considerar una meta de autosuficiencia de hasta el 25-30% con el fin de evitar contemplar la implementación de almacenamiento, el cual afectará la costo eficiencia de la medida como se observará en la siguiente subsección. Si en Colombia se empieza a considerar esquemas de precios variables puede llevar a considerar su implementación en esta etapa. Para etapas medias y tardías (a partir de 2040), la meta de autosuficiencia puede ser más ambiciosa dado que los sistemas de almacenamiento serán más costo eficientes como lo refleja el comportamiento del dimensionamiento.

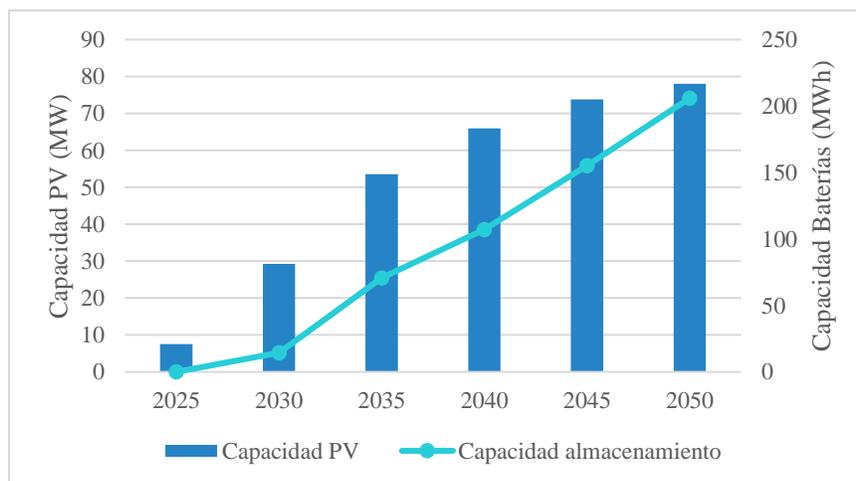


Figura 49 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 75% bajo límites de energía exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018.

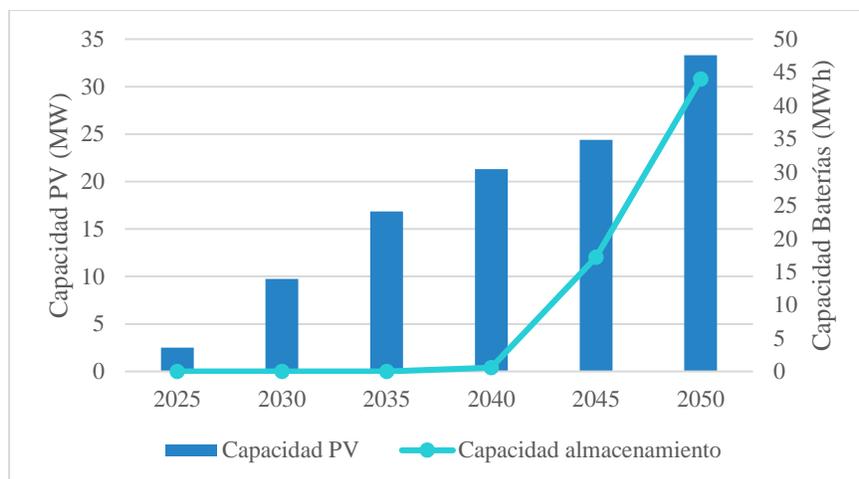


Figura 50 Dimensionamiento técnico de generación distribuida fotovoltaica y almacenamiento basado en baterías para un nivel de autosuficiencia de 75% bajo límite de energía de exportable vigente en la regulación CREG 030 de 2018 relajado

Es de destacar que existe la posibilidad de considerar un escenario como el escenario flexible en la exportación de energía. La consideración de esta posibilidad tiene implicaciones en el mercado en cuanto al esquema bajo el cual se establece el precio de venta e implicaciones a nivel técnico en cuanto a que el límite flexible puede implicar inestabilidades de red. Esta segunda implicación presenta una oportunidad para Lagos de Torca para establecerse como un proyecto con suministro eficiente y de calidad. Esta oportunidad radica en la consideración de un sistema de distribución preparado para el intercambio bidireccional de energía de tal manera que no solamente permita flexibilizar el límite vigente de exportación de energía a la red, sino que se habilite el intercambio de energía entre prosumers dentro de la microciudad.

Los resultados anteriores demuestran la capacidad de generación y almacenamiento requerida cada año para cumplir cierta meta de autosuficiencia. Esta información se traducirá en un cierto número de módulos solares requeridos, y por ende un área necesaria a ser cubierta. Para el cubrimiento de esta área, así como se propuso para Ciudad Verde, se puede considerar el área disponible en los techos de las residencias para la ubicación de esta tecnología. Este estudio pretende dar una idea del área necesaria para cubrir ciertas metas de autosuficiencia y evaluar si el área disponible es suficiente o si se requiere limitar la meta propuesta. El área requerida para diferentes años bajo diferentes metas de autosuficiencia se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26 Área (dada en hectáreas) requerida para cubrir la capacidad de generación fotovoltaica para diferentes niveles de autosuficiencia.

Nivel de autosuficiencia	Área requerida (ha)					
	2025	2030	2035	2040	2045	2050
25%	1.40	5.42	9.35	11.83	13.56	18.50
50%	2.80	10.84	18.71	23.66	27.11	28.90
75%	4.20	16.27	28.06	35.49	40.67	43.35
100%	5.60	21.69	37.42	47.32	54.22	57.80

Costo eficiencia

Los resultados del modelo permiten realizar un análisis tanto económico como de emisiones a partir del cual es posible calcular la costo eficiencia de los diferentes escenarios propuestos. En esta subsección, así como en la anterior, además de demostrar la costo eficiencia de estas tecnologías para la mitigación de emisiones, se demuestra el efecto que puede llegar a tener la energía exportable. En la Figura 51 se muestra la costo eficiencia para el mismo escenario de autosuficiencia del 50% bajo los dos escenarios de limitación de energía exportable. Es de resaltar que el cálculo de la costo eficiencia se calcula en un periodo de operación de 20 años. Para aquellos años en los que el análisis supera el año 2050, se asume que la demanda se mantiene constante.

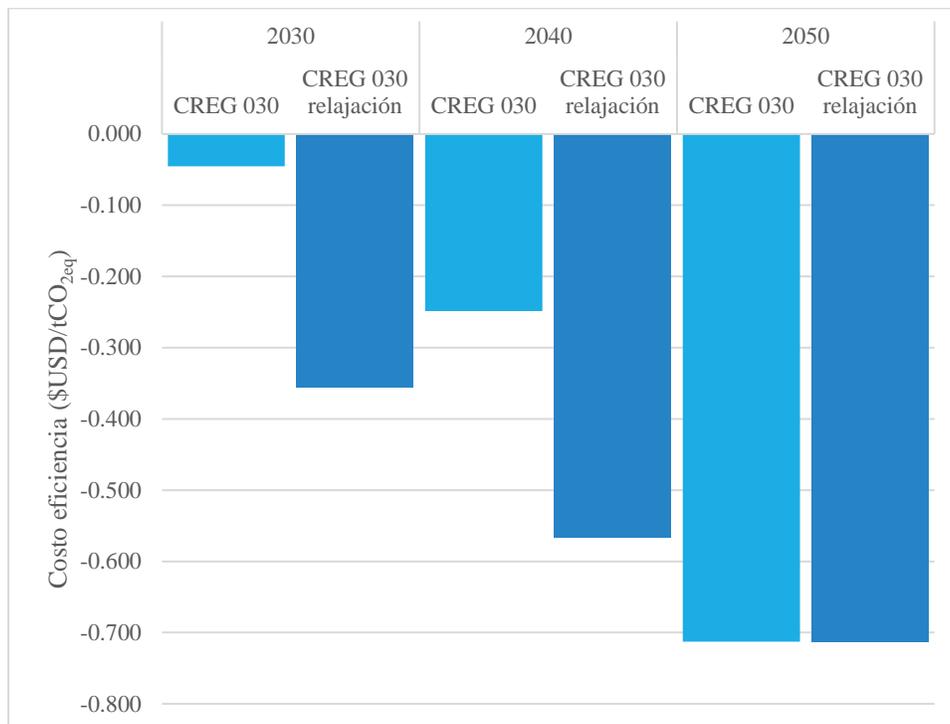


Figura 51 Evolución de costo eficiencia de sistema fotovoltaico bajo escenarios de energía exportable

El comportamiento de la costo-eficiencia puede contrastarse con el dimensionamiento técnico del sistema. En este se puede observar que si se considera la implementación de la medida propuesta en etapas tempranas se tendrá un costo eficiencia inferior a años posteriores debido a la evolución de los costos de energía y de tecnologías. Por otro lado, al contrastar los resultados de ambos escenarios se puede observar que la costo eficiencia de la medida propuesta se ve ampliamente reducida debido a que el escenario vigente requiere de la implementación de baterías, lo que no solamente aumenta los costos de implementación y operación del sistema, sino que además tiene una menor mitigación dado que la contabilidad considera las emisiones embebidas en las tecnologías por manufactura, operación y reciclaje de las tecnologías [57],[58]. Con el *paso* de los años, es posible observar que la costo eficiencia se nivela en ambos escenarios, esto a raíz de que ambos consideran niveles similares tanto *de* capacidad fotovoltaica como de almacenamiento, y por ende niveles similares de importación y exportación de energía.

7.3.2. Sistemas térmicos e integración energética

El estudio propuesto por parte del sector de energía ha girado en torno a una medida de mejora de generación distribuida eléctrica. Sin embargo, bajo la premisa de una ciudad sensible a la energía, la generación de energía no debe estar limitada al ámbito eléctrico, sino también debe considerar el ámbito térmico. En Ciudad Verde se analizó como medida de mejora la generación térmica distribuida a través de colectores térmicos con su respectivo sistema de almacenamiento en el sector residencial. Si bien esta es una alternativa que se ajusta con un alto potencial de mitigación, sus altos costos resultan en una costo eficiencia poco ideal. Una de las conclusiones de contemplar este tipo de tecnologías en el caso de estudio mencionado consiste en que este era un entorno ya construido; por lo tanto, contemplar generación energía térmica para calentamiento de agua sanitaria implicaría adaptación de la infraestructura para una red de agua caliente independiente en los edificios, lo que impactaría negativamente la costo eficiencia.

En este ámbito, Lagos de Torca al ser un proyecto en construcción tiene el potencial de contemplar en las edificaciones a ser construidas redes internas de agua dedicadas para distribución de agua proveniente de sistemas distribuidos de generación de energía térmica, ya sea localizado en los edificios, o de manera externa. Con redes dedicadas para la distribución de agua, es posible considerar diversas tecnologías de generación térmica distribuida, tales como los colectores térmicos, o tecnologías híbridas de generación de energía tales como las microturbinas a gas. No solo la energía generada debe suplir las necesidades de un usuario, sino puede contribuir la necesidad de múltiples usuarios, de esta manera considerando la idea de distritos térmicos en Lagos de Torca.

En Lagos de Torca se identifica dos posibles aplicaciones bajo las cuales se pueden considerar la implementación de distritos térmicos

- Calentamiento de agua sanitaria para aseo personal en el sector residencial y acondicionamiento de espacios.
- Enfriamiento de agua para acondicionamiento de espacios en el sector comercial.

La iniciativa de Distritos Térmicos Colombia ha demostrado a través de pilotos tales como el distrito térmico La Alpujarra en Medellín la viabilidad tanto técnica como económica de considerar distritos térmicos a nivel comercial y buscará en los años por venir extender la implementación de estos en diferentes ciudades de Colombia, incluyendo Bogotá. Si bien un análisis del potencial de implementación de distritos térmicos por parte de este proyecto queda como trabajo futuro, un trabajo conjunto del proyecto urbano Lagos de Torca con esta iniciativa puede no solamente demostrar el potencial de distritos térmicos para las aplicaciones previamente mencionadas, sino también puede contribuir a la articulación de proyectos de distritos térmicos implementados en esta microciudad.

Considerando el potencial de implementación de tecnologías de generación distribuida tanto eléctrica como térmica en Lagos de Torca, se cuenta con un potencial de abatimiento de GEI que traerá consigo la operación energética de la microciudad, así como la posibilidad de auto abastecimiento de energía y participación en el mercado eléctrico con el surgimiento de prosumers. La operación eficiente e integral de la generación térmica y eléctrica, acoplado con estrategias de gestión de demanda, tienen el potencial de convertir a Lagos de Torca en un proyecto que no solo se preocupe por el suministro de energía, sino como uno pionero en Colombia en la integración energética y operación sostenible del suministro de energía.

7.4. Gestión de residuos

Para el proyecto de vivienda Lagos de Torca el sistema de aseo urbano contempla la recolección de residuos domésticos, industriales, de hospitales y centros de salud, y el barrido y limpieza de calles y áreas públicas. De acuerdo con el Documento Técnico de Soporte del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte [25], los residuos generados en Lagos de Torca serán transportados y dispuestos en el relleno sanitario de Doña Juana al sur de la ciudad, considerando la falta de otros sitios de disposición final en Bogotá más cercanos al proyecto urbano para gestionar sus residuos. Esto claramente refleja que se mantendrá el esquema de gestión que se ha venido aplicando en Bogotá.

Según las proyecciones, Lagos de Torca contará con 135,000 unidades de vivienda distribuidas entre VIS y No-VIS. Para el análisis de la gestión de residuos de este proyecto se asumió que para el año 2050 la ocupación de Lagos de Torca es total, de acuerdo con la proyección de construcción de viviendas definida para este estudio. Por lo anterior, el periodo de estudio será desde el año 2023 (año de inicio de entrega de viviendas) hasta 2050 y se utilizaron dos escenarios poblacionales:

- Escenario 1: En este escenario, también llamado escenario de saturación, cada una de las 135,000 unidades de vivienda del proyecto contarán con una ocupación promedio de 3.2 habitantes [25]. De este modo, se proyecta una población máxima de 431,994 habitantes luego de construir, entregar y ocupar todas las viviendas.
- Escenario 2: Este escenario considera la disminución del tamaño del hogar conforme se van habitando las viviendas nuevas, sumando 352,642 habitantes en el proyecto al ocupar todas las viviendas.

En la tabla a continuación se muestra la cantidad de habitantes en Lagos de Torca durante el periodo de estudio definido, según los dos escenarios de proyección.

Tabla 27. Número de habitantes en Lagos de Torca para cada escenario de población

Número de habitantes				
	2023	2030	2040	2050
Escenario 1	5,168	171,126	359,942	431,994
Escenario 2	4,911	152,098	302,825	352,642

7.4.1. Estimación de generación de residuos, aprovechamiento y disposición final

Para estimar los impactos de la gestión de los residuos sólidos de Lagos de Torca, se realizó una aproximación de los residuos que serán generados y manejados durante el periodo de análisis definido (2023-2050). La cantidad de residuos generados por habitante se asumió como la proyectada para Bogotá por el Proyecto de Estudio del Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en Bogotá, D.C. [59] para los residuos en área urbana por habitante al día (Tabla 28). Este valor incluye residuos domiciliarios, comerciales, de grandes generadores, barrido, plazas de mercado, corte de césped, poda de árboles y escombros. Teniendo en cuenta este valor de generación de residuos por habitante y la población proyectada para Lagos de Torca, se obtuvo la generación de residuos en área urbana que se muestra en la Tabla 29.

Tabla 28. Proyección de producción de residuos per cápita (PPC) en Bogotá.
Adaptado de [59]

	2023	2030	2040	2050
--	------	------	------	------

Proyección PPC (kg/hab/día)	0.952	0.986	1.026	1.057*
-----------------------------	-------	-------	-------	--------

*Valor calculado a partir de proyecciones de [59].

Tabla 29. Cantidad de residuos en área urbana generados por año en Lagos de Torca

Cantidad de residuos generados (t/año)				
	2023	2030	2040	2050
Escenario 1	1,795.8	61,586.5	134,794.7	166,665.4
Escenario 2	1,706.5	54,738.5	113,404.9	136,051.0

La composición de residuos generados en Lagos de Torca se asumió como la que se presenta para el año 2017 en Bogotá en la línea base del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) [60]:

Tabla 30. Caracterización de los residuos en la fuente para Bogotá 2017.
Tomado de [60].

Material	Porcentaje de generación
Orgánicos	51.32%
Plásticos	16.88%
Celulosas	13.67%
Textiles	4.54%
Vidrios	3.67%
Otros	3.36%
Madera	1.60%
Finos	1.43%
Metales	1.13%
Complejos	0.96%
Inertes	0.84%
Peligrosos domiciliarios	0.60%
TOTAL	100.0%

Para la estimación de impactos de la gestión de residuos se consideró un escenario *Business As Usual* (BAU), por lo que se asumió que las tasas de aprovechamiento y disposición final por tipo de residuo se mantienen constantes. Teniendo en cuenta lo anterior, con los datos de la línea base del PGIRS [60] sobre cantidad de residuos aprovechados por tipo de material en 2017, se obtuvo la tasa de aprovechamiento de los flujos de residuos inorgánicos y orgánicos lentamente putrescibles, como se muestra en la siguiente tabla. En el caso de los metales, la cantidad de residuos aprovechados en el año superaba la cantidad de residuos generados, por lo que, solamente para este material se asumió la tasa de aprovechamiento nacional de 2017 (71% para el acero[61]).

Tabla 31. Tasa de aprovechamiento de residuos por tipo de material.
Calculado a partir de datos en [60]

Material	% Aprovechamiento
Plásticos	5.67%
Celulosas	66.33%
Textiles	0.99%
Vidrios	19.24%
Madera	16.82%
Metales	71.00%

TOTAL	11.85%
-------	--------

Sustrayendo los materiales aprovechados, con la aproximación de tasas de aprovechamiento explicada anteriormente, de la totalidad de los residuos generados en área urbana, se obtuvo la siguiente composición de los residuos que son dispuestos en el relleno sanitario:

Tabla 32. Composición calculada de los residuos en el sitio de disposición final.

Material	Porcentaje en el relleno
Orgánicos	58.22%
Plásticos	18.06%
Celulosas	5.22%
Textiles	5.10%
Vidrios	3.36%
Otros	3.81%
Madera	1.51%
Finos	1.62%
Metales	0.37%
Complejos	1.09%
Inertes	0.95%
Peligrosos domiciliarios	0.68%
TOTAL	100.0%

Los datos mostrados se utilizaron para realizar la modelación de las emisiones de GEI asociadas con la gestión de residuos que generaría Lagos de Torca.

7.4.2. Línea base de emisiones

La estimación de las emisiones de la gestión de residuos sólidos generados por Lagos de Torca durante el periodo de análisis se realizó a través del software británico WRATE®, que contabiliza el impacto durante todo el ciclo de vida de las instalaciones de gestión de residuos. El modelo planteado incluye la colecta de residuos en contenedores de 1100 L, posteriormente los residuos inorgánicos y orgánicos lentamente putrescibles (madera, textiles, papel y cartón, plástico, vidrio y papel) se llevan a estaciones de aprovechamiento material y plantas de reciclaje. Los residuos que no son aprovechados se transportan en camiones recolectores desde los contenedores hasta el relleno sanitario. A continuación se explican los supuestos considerados para la modelación de las diferentes etapas de gestión de residuos:

- Con el fin de determinar la composición de los residuos generados en el modelo, dadas las categorías generales de composición de residuos reportadas para 2017 en Bogotá en la línea base del PGIRS, se empleó información de caracterización de residuos sólidos de Bogotá de 2011[62] para la composición desglosada de los siguientes materiales:
 - Plástico: Los plásticos densos constituyen el 28.35% de la totalidad de los plásticos generados, mientras que el PEBD y PP son el 71.65%.
 - Metales: El 71.6% de los residuos metálicos generados son ferrosos y el 28.4% son no ferrosos (aluminio y plomo).

En el caso del papel y el cartón, esta categoría se encuentra también unificada en los resultados de Bogotá 2011, por esta razón se divide en partes iguales la composición general de celulosas para representar la composición de papel y de cartón por separado.

- Para calcular las emisiones asociadas al transporte de los residuos generados por Lagos de Torca, se determinó la distancia desde el centroide del proyecto urbano hasta el relleno sanitario Doña Juana. El centroide del proyecto se ubica en la coordenadas 4°47'36.2"N 74°02'36.5"W y la distancia hasta el relleno es de aproximadamente 37 km. Adicionalmente, debe considerarse el recorrido que realiza el camión recolector dentro del proyecto urbano; este puede incluirse cuando se cuente con información sobre las vías y la ubicación de las entradas de las edificaciones. En el caso del transporte de los residuos que son aprovechados, se asume que en el escenario BAU estos seguirán siendo recolectados y transportados hasta las estaciones de aprovechamiento por la población recicladora de oficio (PRO). De acuerdo con algunos autores [63], en las localidades involucradas en el proyecto urbano el 2% de los vehículos utilizados por la PRO de la localidad de Suba son vehículos automotores y el 5.3% de los vehículos utilizados para esta actividad en la localidad de Usaquén son motocarros. Teniendo en cuenta estos porcentajes y que la tasa calculada de aprovechamiento de los residuos generados no supera el 12%, no se consideran las emisiones por el transporte motorizado de residuos que son aprovechados.
- Respecto al aprovechamiento material de los residuos, para el papel y el cartón se asumió el mismo porcentaje de aprovechamiento calculado para las celulosas en general. Del mismo modo, para cada tipo de plástico se asumió el mismo porcentaje de aprovechamiento que el determinado para la categoría “Plásticos”, así como en los metales, se asumió la misma tasa de aprovechamiento para los metales ferrosos y los no ferrosos.
- La modelación del sitio de disposición final en este escenario se realizó basada en las características de operación del relleno sanitario Doña Juana, considerando que, incluso si este relleno se clausura antes del año de completa ocupación de Lagos de Torca (asumido como 2050 para efectos de este análisis), los residuos que no sean aprovechados serán enviados a una instalación de disposición final con características tecnológicas y operativas similares a las del relleno actual. En este sentido, el relleno modelado tiene las siguientes características del relleno sanitario Doña Juana: recibe en promedio 6,400 toneladas de residuos al mes [64], su fondo está impermeabilizado con arcilla y los residuos dispuestos son cubiertos también con arcilla antes de empadizar la zona [65]. Además, cuenta con un sistema de captura, quema y uso de biogás para generación de energía eléctrica con una eficiencia de captura de biogás de aproximadamente 50% [66].

Es importante tener en cuenta que los resultados arrojados por la modelación son aproximados y no exactos para el caso de Lagos de Torca, pues el software utilizado no considera para la modelación aspectos específicos del contexto estudiado como las condiciones climáticas, de precipitación, características de los combustibles disponibles o matriz energética; además utiliza algunos valores estándar para el Reino Unido.

Se obtuvo los siguientes resultados para el escenario BAU modelado; en este se tienen en cuenta emisiones por la degradación de residuos en el relleno sanitario y por el transporte de residuos desde la microciudad hasta el relleno sanitario. Considerando el enfoque de análisis de ciclo de vida del software empleado, las emisiones anuales del relleno sanitario que se exponen corresponden al

acumulado de emisiones generadas por los residuos dispuestos en el año de estudio durante **todo** su periodo de descomposición. En las gráficas a continuación se muestran las emisiones de GEI asociadas a la gestión de residuos sólidos resultantes de la modelación de los escenarios poblacionales planteados para Lagos de Torca.

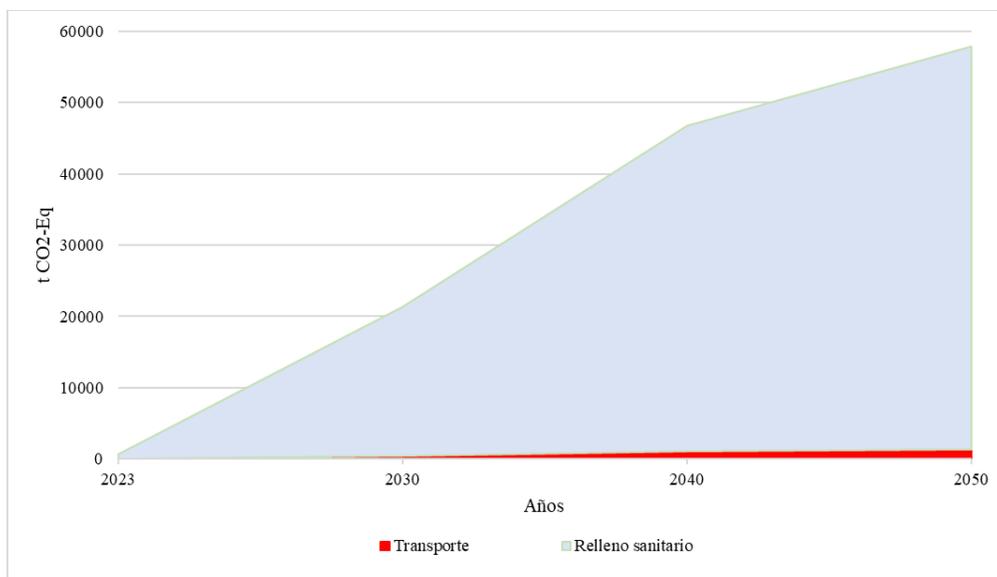


Figura 52. Emisiones por gestión de residuos BAU Escenario poblacional 1

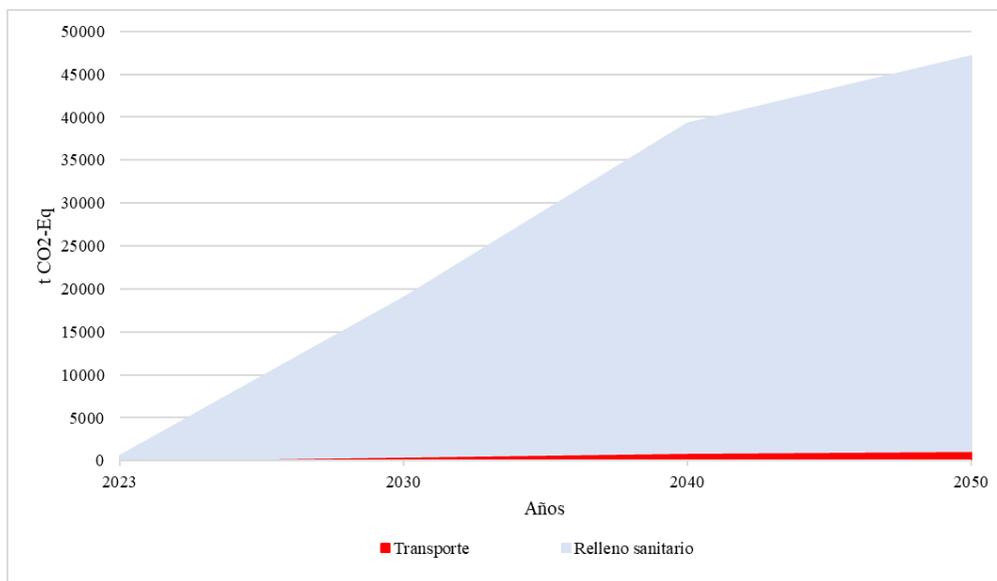


Figura 53 Emisiones por gestión de residuos BAU Escenario poblacional 2

Se observa que la mayor cantidad de emisiones de GEI en el escenario BAU para ambas proyecciones de población se atribuye a la descomposición anaerobia de residuos en el relleno sanitario, que constituye el 98% de las emisiones del sector en el escenario. Cabe recordar que las emisiones del relleno sanitario mostradas corresponden a los GEI generados por los residuos dispuestos en el año de estudio durante todo su periodo de descomposición. Las emisiones que le siguen a las del relleno sanitario son las generadas por el transporte de residuos, en este caso, por desplazar 166.000 o 136.000

toneladas de residuos por año al sitio de disposición final ubicado a 37 km de la fuente de generación. Al contrastar los resultados de emisiones directas del relleno sanitario con el inventario nacional del sector residuos para 2014 [67], se encuentra que las emisiones per cápita para Lagos de Torca en el periodo de estudio (entre 0.12 y 0.13 tCO₂-eq/año) son cercanas a las obtenidas por el inventario nacional de las emisiones provenientes de *Sitios gestionados de eliminación de desechos* (0.13 tCO₂-eq/año). Es importante tener en cuenta que para fines del inventario nacional no se considera el análisis de ciclo vida para los residuos dispuestos en los rellenos sanitarios, por lo que los resultados no son perfectamente comparables.

En la figura a continuación se muestra la comparación entre las emisiones asociadas a la gestión de residuos en los dos escenarios poblacionales analizados. En el 2050, año supuesto de ocupación total del proyecto de vivienda, se observa una diferencia de cerca de 10,000 tCO₂-eq atribuidas a la generación de adicional de aproximadamente 30,600 t de residuos en el caso del escenario poblacional 1. La diferencia en la generación de residuos entre ambos escenarios poblacionales tiene impacto sobre la capacidad de los sistemas de tratamiento que vayan a diseñarse para gestionar los residuos del proyecto de vivienda, y sobre la vida útil de los sitios de disposición final.

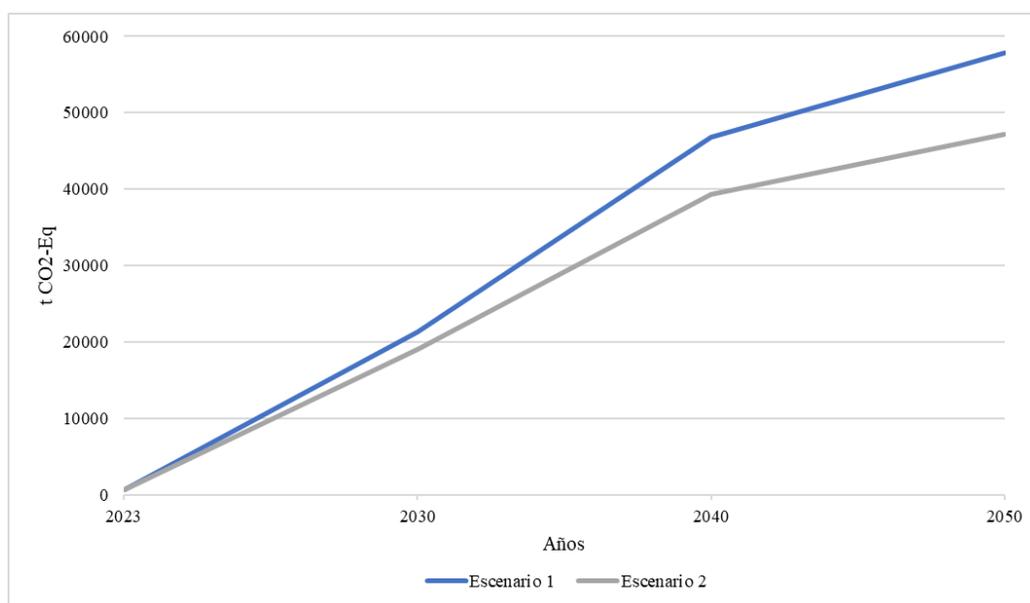


Figura 54. Comparación de líneas base entre escenarios poblacionales

7.4.3. Medidas de mitigación y mejora

Teniendo en cuenta los resultados de emisiones del esquema de gestión para los residuos de Lagos de Torca en el escenario BAU y el análisis previamente realizado para Ciudad Verde, se propone la implementación de sistemas de gestión descentralizada, especialmente de los residuos orgánicos rápidamente putrescibles que en el escenario BAU planteado para Lagos de Torca no son objeto de aprovechamiento, constituyen más del 50% de los residuos generados y su descomposición anaerobia genera la mayor cantidad de GEI en el relleno sanitario. De este modo, se evalúa el efecto de la instalación de plantas de compostaje y de digestión anaerobia en las que se aprovechen bioquímicamente los residuos orgánicos rápidamente putrescibles generados en Lagos de Torca. Por otro lado, se propone la instalación de dos estaciones de clasificación y aprovechamiento en el

proyecto urbano que reciban el material reciclable generado y recolectado por la PRO, y que permitan el aumento de las tasas de aprovechamiento de residuos inorgánicos tradicionalmente reciclados y orgánicos lentamente putrescibles.

Para las tres alternativas propuestas, las fuentes de emisión de GEI modeladas, además de las consideradas para la línea base (transporte de residuos y descomposición en el relleno), se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 33. Fuentes de emisión consideradas para la modelación de las opciones de mejora propuestas

Sistema de tratamiento	Fuente de emisión
Compostaje	Descomposición de residuos
	Consumo de combustible operacional
	Consumo de energía eléctrica
Digestión anaerobia	Descomposición de residuos
	Consumo de combustible operacional
	Consumo de energía eléctrica
	Ahorros en emisión por producción de energía eléctrica
Estación de clasificación y aprovechamiento	Ahorros en emisión por uso de materiales reciclados*

*Si bien estos ahorros en emisión se atribuyen al sector industria (fuera del sistema de análisis de este proyecto), se calculan y muestran las emisiones evitadas por el uso de materiales reciclados en lugar de materias primas vírgenes.

Compostaje

Dada la cantidad de unidades de vivienda del proyecto, el número de habitantes estimado en cada uno de los escenarios y la cantidad de residuos que se generarán al ocupar las viviendas construidas, se propone la instalación de dos plantas de compostaje cada una con capacidad para 43,000 t/año en el escenario 1 y 35,000 t/año en el escenario 2, para tratar el 100% de los residuos orgánicos rápidamente putrescibles y los residuos de poda de árboles y corte de césped generados en Lagos de Torca. La ubicación propuesta para las plantas de compostaje se determinará al contar con información detallada sobre los usos del suelo y de los equipamientos que se construirán en la microciudad, procurado localizaciones en zonas de alto impacto y que disminuyan al máximo los desplazamientos requeridos para el transporte de residuos desde la fuente hasta las plantas. El sistema de compostaje propuesto y modelado en el software WRATE® está compuesto por pilas planas para los residuos de cocina, de corte de césped y poda de árboles, con control de temperatura y volteo automáticos. Esta planta se encuentra completamente encerrada y cuenta con equipo de tratamiento de gases para control de emisiones y olores. El compost obtenido puede utilizarse como abono de zonas verdes existentes y proyectadas en Lagos de Torca, potenciales proyectos de agricultura urbana dentro de la ciudadela o para comercializar el producto con mercados externos. En la Figura 55 y la Figura 56 se muestran las emisiones de GEI del esquema de gestión de residuos de Lagos de Torca incorporando el aprovechamiento de los residuos rápidamente putrescibles y de poda y corte de césped mediante compostaje.

La instalación de plantas de compostaje dentro del proyecto urbano para el aprovechamiento de la totalidad de residuos orgánicos rápidamente putrescibles y residuos de poda y corte de césped muestran en ambos escenarios poblacionales una reducción de 68% de las emisiones del relleno sanitario en comparación con el escenario BAU. Asimismo, se observa una disminución del 58% de las emisiones por transporte de residuos al evitar el desplazamiento de cerca del 50% del total de los residuos generados en la microciudad por 37 km hasta el relleno sanitario Doña Juana. Si bien el

proceso de compostaje implica emisiones adicionales a las contempladas en el escenario BAU, por descomposición de residuos, consumo de combustible y energía operacionales, éstas constituyen sólo el 6% de las emisiones de GEI del sector. Además, la disminución total de emisiones de GEI al implementar compostaje respecto al escenario BAU es de 67% para los dos escenarios, lo que equivale a una mitigación de 82,744 tCO₂-eq en el escenario 1 y 75,896 en el escenario 2 para el periodo 2023-2050. Adicional a la mitigación en las emisiones directas y operacionales de los sistemas de tratamiento involucrados, se evidencia ahorros en emisión por reciclaje de materiales, que no cambia respecto a la línea base, pero también ahorro atribuido a las emisiones por transporte de abonos que son evitadas al utilizar el compost producido en las plantas de compostaje del proyecto de vivienda (Escenario 1: 2,616 tCO₂-eq, Escenario2: 2,194 tCO₂-eq). Por otro lado, aunque en los escenarios implementando compostaje se observa ahorros en emisión por la producción de energía a partir de biogás del relleno, en el BAU los ahorros en emisión por esta actividad eran mayores, pues en el caso de la implementación de compostaje los residuos cuya descomposición produce la mayor cantidad de biogás ya no llegan al relleno y están siendo gestionados de manera descentralizada. Sin embargo, las emisiones abatidas con la implementación del compostaje son mayores a los ahorros en emisión que se tendrían por la producción de energía a partir del biogás del relleno.

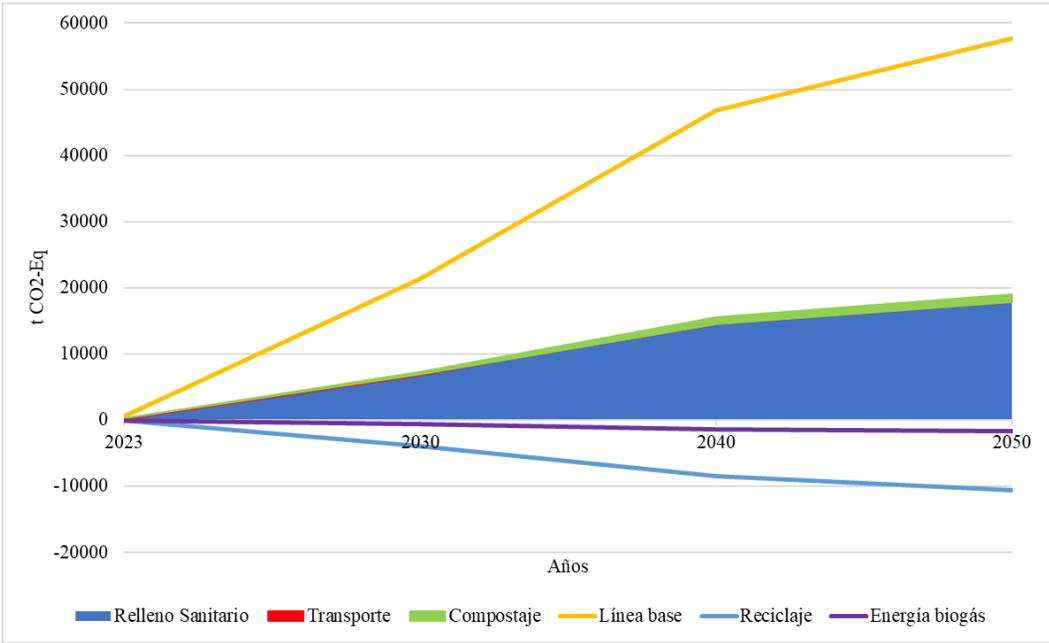


Figura 55. Emisiones de GEI por la gestión de residuos de Lagos de Torca implementando compostaje Escenario poblacional 1

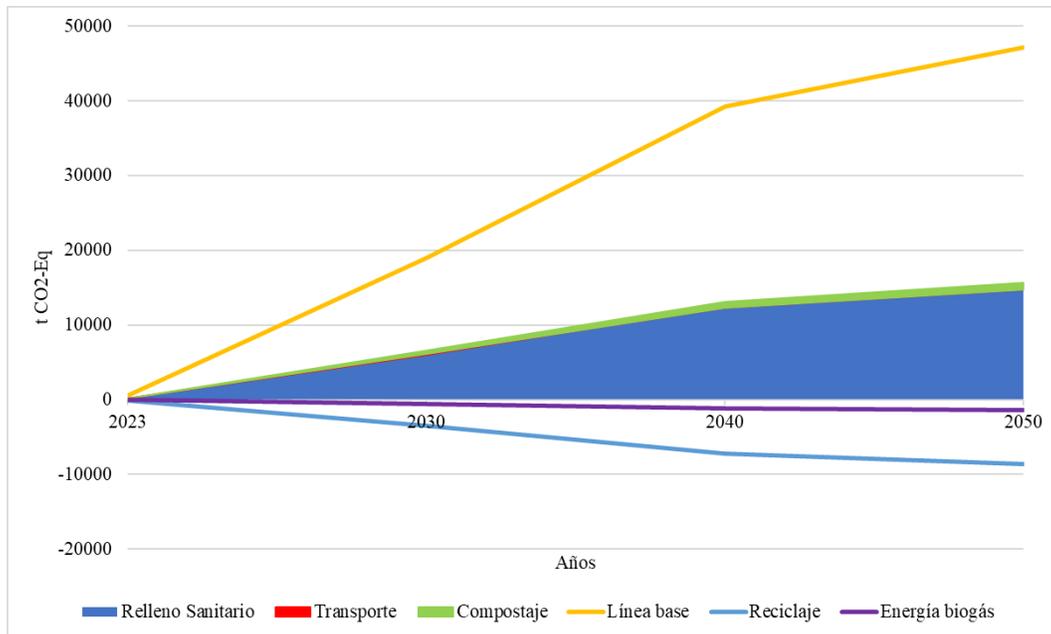


Figura 56. Emisiones de GEI por la gestión de residuos de Lagos de Torca implementando compostaje Escenario poblacional 2

Digestión anaerobia

Se propone la instalación de dos plantas de digestión anaerobia en el proyecto urbano con capacidad cada una de 41.500 t/año para el escenario 1 y 34.000 t/año para el escenario 2, en las que se reciba la totalidad de residuos rápidamente putrescibles generados de origen domiciliario. De manera similar a las plantas de compostaje anteriormente propuestas, éstas serían ubicadas en zonas de alto impacto que permitan disminuir los recorridos realizados por los vehículos recolectores desde la fuente de generación hasta las plantas de digestión anaerobia. Las plantas modeladas en el software WRATE® cuentan con una fase de pre-tratamiento, digestión anaerobia, deshidratación, compostaje de sólidos resultantes de la digestión, aprovechamiento de biogás y sistema de tratamiento de aire para control de olores y emisiones. El biogás generado durante la digestión anaerobia es quemado en unidades de cogeneración para producir energía eléctrica utilizada para operar los procesos internos de la instalación y proveer energía eléctrica a la microciudad en caso de excesos. El calor liberado se emplea en la generación de vapor que se inyecta en el digestor. En las siguientes imágenes se muestran los resultados de las emisiones de GEI por la gestión de residuos generados en Lagos de Torca incluyendo la digestión anaerobia como alternativa de aprovechamiento de los residuos rápidamente putrescibles.

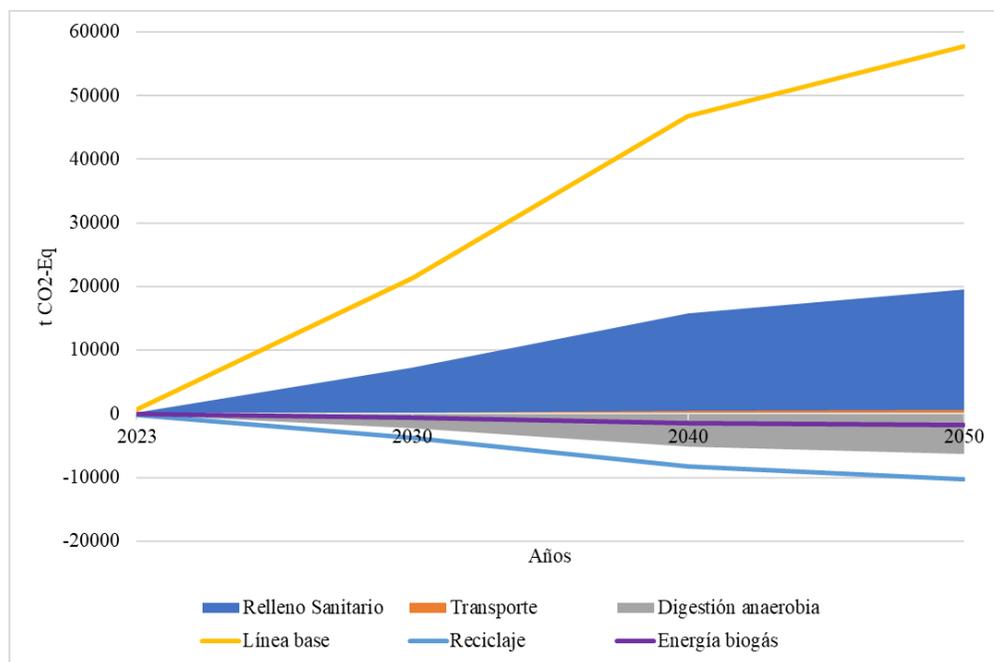


Figura 57. Emisiones GEI por gestión de residuos Lagos de Torca implementando digestión anaerobia Escenario poblacional 1

Se observa que la instalación de plantas de digestión anaerobia para el aprovechamiento bioquímico de residuos genera disminuciones para ambos escenarios analizados en las emisiones del relleno sanitario (reducción del 65%) y del transporte (reducción el 56%), y representa una mitigación total de 76% respecto a las emisiones del BAU con un abatimiento de 96,232.2 tCO₂-eq para el Escenario 1 y 80,685.5 tCO₂-eq para el Escenario 2. Este valor de mitigación considera la reducción en emisiones por evitar la descomposición de los residuos rápidamente putrescibles domiciliarios en el relleno sanitario y su transporte, además, se tiene en cuenta los ahorros en emisión por la producción de energía a partir de la quema de biogás de la digestión anaerobia de residuos. Si bien la implementación de esta medida no contempla el aprovechamiento bioquímico de los residuos de poda y corte de césped, a diferencia de la medida de compostaje, tiene asociado un valor de abatimiento mayor que el compostaje descentralizado, lo que se atribuye a los beneficios en mitigación adicionales por la producción de energía neutral en emisiones debido a que estas son biogénicas. De manera similar al compostaje, se evidencia beneficios en otros sectores por el reciclaje de materiales y por la quema de biogás en el relleno sanitario para generación de energía eléctrica.

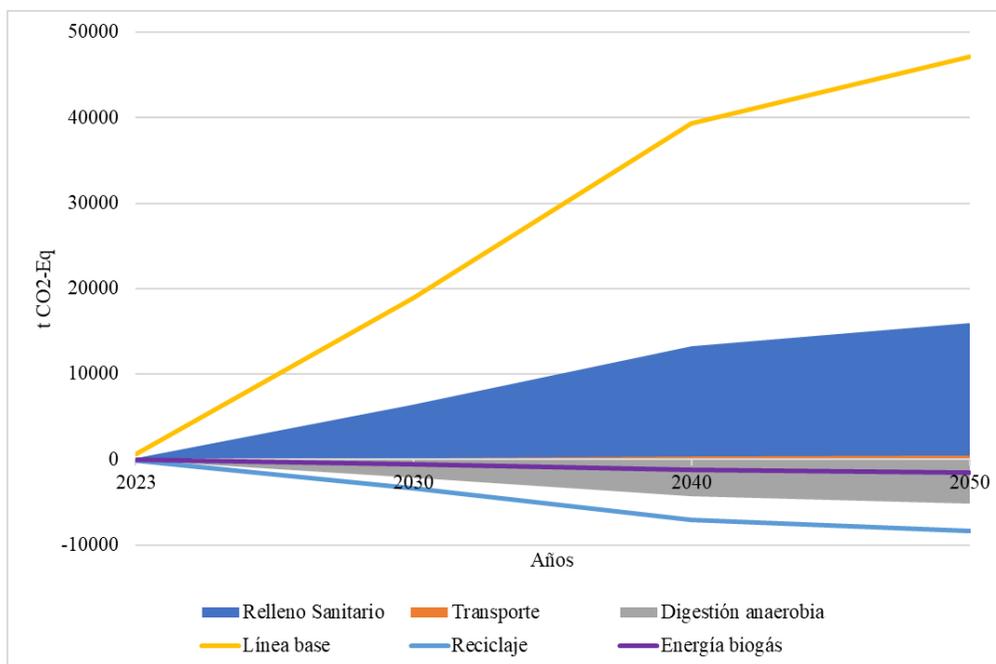


Figura 58. Emisiones GEI por gestión de residuos Lagos de Torca implementando digestión anaerobia Escenario poblacional 2

Estación de clasificación

Se propone la instalación en Lagos de Torca de dos centros de clasificación de material aprovechable que acopien y preparen los materiales para su comercialización. Estas estaciones tendrán capacidad para recibir el porcentaje de residuos aprovechables que se reciclan en el escenario BAU para Lagos de Torca, exceptuando el plástico y el vidrio, con los porcentajes de reciclaje más bajos, para los que la tasa de aprovechamiento aumentará a 30% y 63% respectivamente, acercando el nivel de aprovechamiento de estos materiales a los de los países de la OCDE [68][69]. Considerando como materiales recibidos el papel, cartón, plástico, vidrio y metales, cada estación de clasificación tendrá capacidad para 14,400 t/año en el Escenario 1 y 11,800 t/año en el Escenario 2. La ubicación de estas estaciones se propone en zonas de alto impacto y en las que se minimice las distancias recorridas por la población recicladora de oficio para llevar el material recolectado en las edificaciones hasta alguna de las estaciones de clasificación.

En las gráficas se observa que las emisiones por la disposición en el relleno y por el transporte de residuos implementando esta medida son muy cercanas a las de la línea base. En ambos escenarios poblacionales la mitigación es del 0.2% (Escenario 1: 257.3 tCO₂-eq y Escenario 2: 215.8 tCO₂-eq) respecto al BAU y se atribuye principalmente a la reducción de residuos a transportar hasta el relleno sanitario. Para la medida de la instalación de estaciones de clasificación y aprovechamiento en Lagos de Torca, el impacto significativo en la reducción en emisiones corresponde a las emisiones evitadas por no usar materias primas vírgenes para la manufactura de nuevos productos. Respecto al BAU, estos ahorros en emisión aumentan en 13,686 tCO₂-eq para el escenario 1 y en 11,475 tCO₂-eq para el escenario 2. En esta medida también se observan emisiones evitadas por la generación de energía eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario, que se asemejan a las de la línea base dado que los materiales que aumentaron su aprovechamiento fueron el plástico y el vidrio.

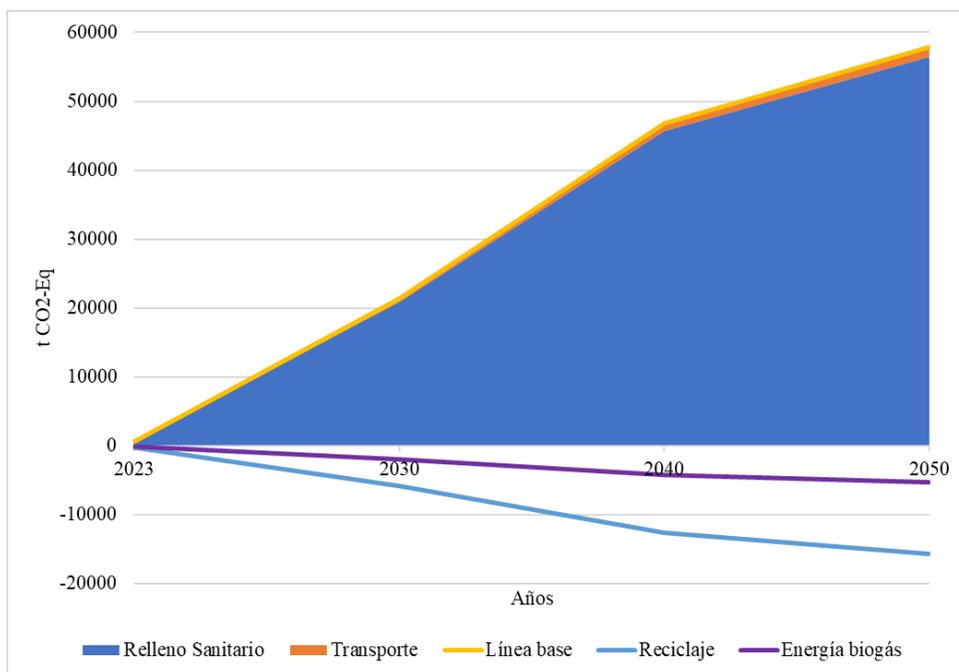


Figura 59. Emisiones GEI por gestión de residuos Lagos de Torca instalando estaciones de clasificación para material reciclable Escenario poblacional 1

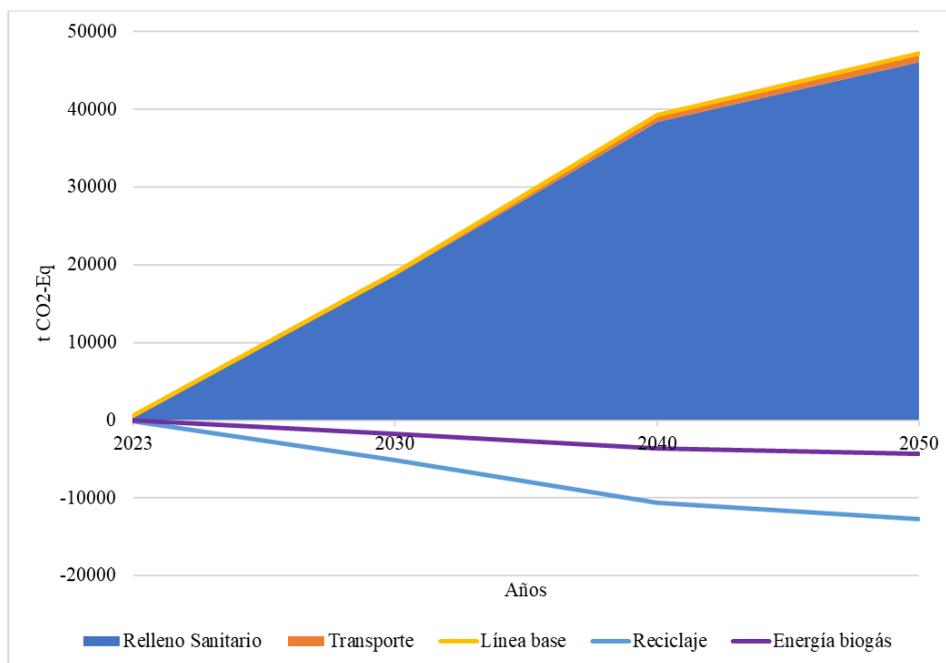


Figura 60. Emisiones GEI por gestión de residuos Lagos de Torca instalando estaciones de clasificación para material reciclable Escenario poblacional 2

Teniendo en cuenta los valores de emisiones de GEI para el BAU de Lagos de Torca en el periodo 2023-2050 y las medidas propuestas modeladas, se muestran a continuación la comparación entre los

perfiles de emisión de la línea base y las medidas propuestas para los dos escenarios poblacionales evaluados:

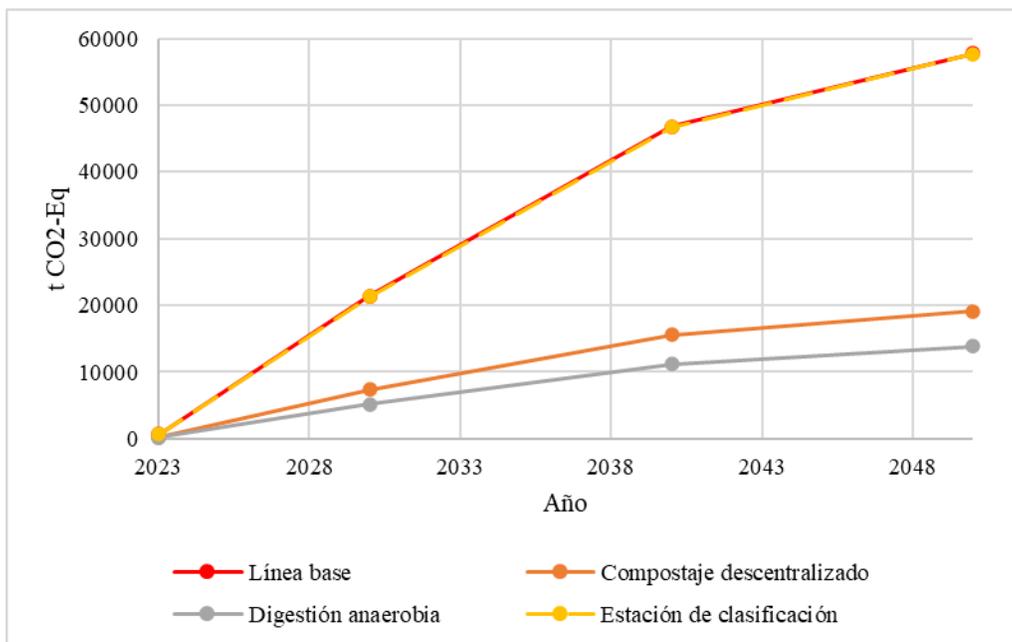


Figura 61. Comparación de perfiles de emisión entre el BAU y las medidas propuestas Escenario poblacional 1

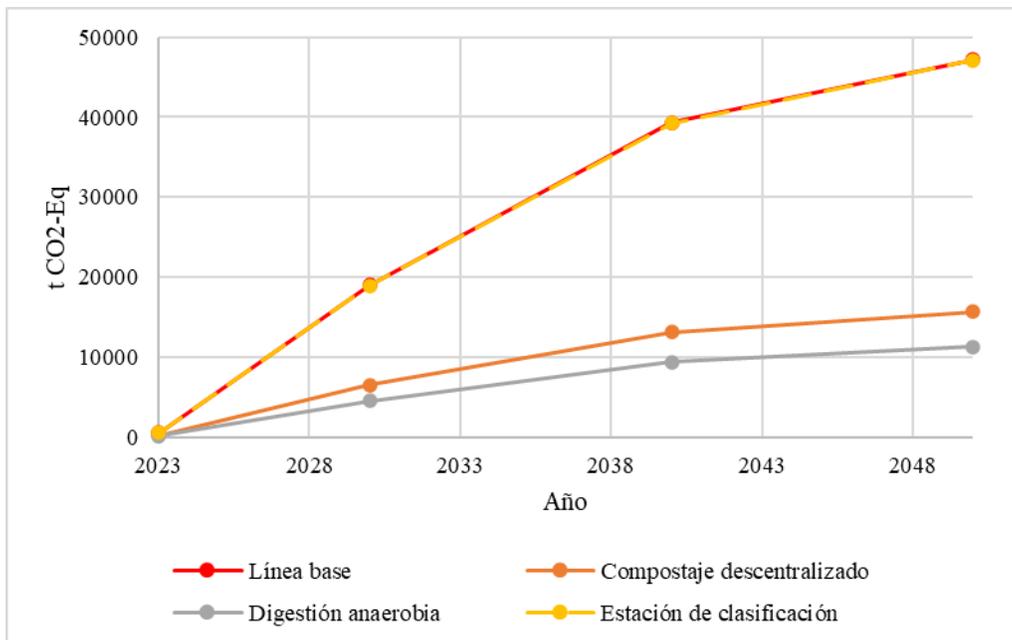


Figura 62. Comparación de perfiles de emisión entre el BAU y las medidas propuestas Escenario poblacional 2

Comparando las alternativas propuestas con las emisiones en el escenario BAU para Lagos de Torca, se evidencia mayor impacto en la mitigación con la aplicación de las medidas de aprovechamiento bioquímico de los residuos orgánicos rápidamente putrescibles, pues estos constituyen el 51.32% de

los residuos generados y son la principal fuente de gases de efecto invernadero en el relleno sanitario. Se observa que la digestión anaerobia presenta mayor mitigación que el compostaje aún cuando para la medida de digestión se excluyen del aprovechamiento los residuos de poda y corte de césped, lo que evidencia que la instalación de plantas de digestión anaerobia ofrece mayor mitigación respecto al escenario BAU debido a los ahorros en emisiones por la producción de energía a partir del biogás resultante de la digestión de los residuos rápidamente putrescibles. La instalación de estaciones de clasificación que aumentan la tasa de aprovechamiento de materiales determinados representa mayor cantidad de emisiones evitadas por el uso de material reciclado en la manufactura de productos. Si bien no generan una reducción significativa en la emisión de GEI son indispensables para el correcto funcionamiento del aprovechamiento bioquímico de residuos putrescibles. Dado que los materiales para los que se aumentó el nivel de aprovechamiento (plástico y vidrio) no son fuente significativa de gases de efecto invernadero en el relleno sanitario, no se observa impacto en mitigación en el principal emisor del sector residuos.

7.4.4. Recomendaciones

Considerando los resultados de emisiones del escenario BAU de Lagos de Torca, la modelación de medidas de mejora y los mensajes resultantes del análisis de Ciudad Verde, se formulan las siguientes recomendaciones preliminares. Es importante recordar que la información utilizada para los modelos y sus resultados pueden variar conforme se tenga datos ajustados al contexto del proyecto urbano en estudio.

- La aplicación y éxito de las medidas propuestas depende de la puesta en marcha de la recolección diferenciada de residuos acompañada de la correcta separación en la fuente, por lo que se recomienda implementar la recolección diferenciada tres veces por semana de los residuos sólidos domiciliarios generados en Lagos de Torca así: Recolección de residuos rápidamente putrescibles aprovechables dos veces por semana junto con los no aprovechables, y recolección de material reciclable una vez por semana. La implantación de la medida debe coordinarse con la Población Recicladora de Oficio del sector y la empresa de aseo que preste el servicio para el proyecto urbano. Uno de los factores que puede influenciar la separación en la fuente es la configuración de los espacios de almacenamiento de residuos en los conjuntos residenciales, así como de los ductos de conducción de los residuos, por lo que se recomienda la inclusión de cuartos de acopio diferenciados dentro de las edificaciones y, si existen ductos de conducción de residuos, que estos sean igualmente diferenciados para los residuos orgánicos aprovechables, el material reciclable y los residuos no aprovechables.
- De acuerdo con las opciones modeladas, en términos de mitigación de cambio climático, la digestión anaerobia de residuos rápidamente putrescibles representa la mayor mitigación al incluir producción de energía eléctrica útil para la operación de la planta o para exportar a la red en caso de excedentes. Se recomienda realizar la evaluación para la toma de decisión sobre la alternativa más conveniente considerando, además, otros indicadores de impacto ambiental, social y de factibilidad económica aprovechando que proyectos en fase de planeación, en los que los usos del suelo están por definirse, representan una oportunidad para la gestión descentralizada de residuos.
- Aunque en el escenario BAU se realiza la quema de cerca del 50% del biogás generado en el relleno sanitario Doña Juana y se aprovecha para la producción de energía eléctrica, lo que

implica reducción de emisiones de GEI, la disposición de residuos potencialmente aprovechables en rellenos tiene otros impactos asociados como potencial de eutrofización de fuentes hídricas (ver Anexo 15), disminución de la vida útil de los sitios de disposición final y desperdicio de los materiales y energía residual presente en los residuos.

- Los dos escenarios poblacionales analizados presentan porcentajes de abatimiento muy cercanos con la implementación de las alternativas propuestas, sin embargo, la diferencia en la población y la generación de residuos anual tiene implicaciones económicas y en el impacto ambiental de la construcción y mantenimiento de los sistemas de tratamiento requeridos para la gestión de los residuos generados en el proyecto de vivienda.

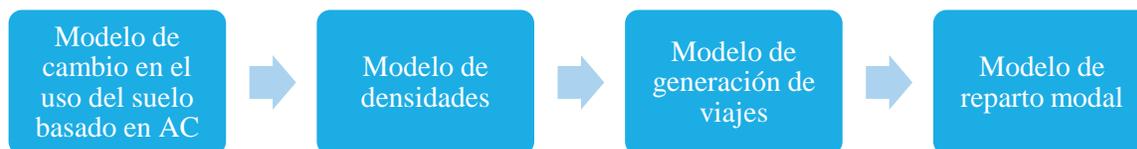
7.5. Movilidad sostenible

En términos de movilidad, el proyecto Ciudad Lagos de Torca contempla la prolongación y adecuación de las avenidas Boyacá y Ferrocarril (avenida Laureano Gomez), la Autopista Norte (Avenida Paseo de Los Libertadores) y la Carrera Séptima (Avenida Alberto Lleras Camargo). También se construirán las avenidas Arrayanes (calle 209), Guaymaral (calle 235), Polo (calle 200) y El Jardín (calle 222). El espacio público contará una red de ciclorrutas que comunicarán las áreas urbanas con los parques zonales y el Parque Metropolitano Guaymaral. En cuanto a equipamientos, dentro de este proyecto se proyecta la construcción del Hospital del Norte, el nuevo Portal de Transmilenio y el Centro de Intercambio Modal, además de bibliotecas, centros de salud, colegios, centros culturales, puestos de CAI de la Policía, iglesias y jardines infantiles.

Figura 63. Sistema vial Lagos de Torca



En este estudio el análisis de movilidad para Lagos de Torca se desarrolló en las fases que se presentan en la Figura 64:



AC: autómatas celulares.

Figura 64. Modelos usados en el análisis de Lagos de Torca.

Los modelos en la Figura 64 permiten:

- Modelo de cambio en el uso del suelo basado en autómatas celulares: Evaluar el índice de dispersión, el cual da información sobre el crecimiento de la huella urbana de Bogotá bajo diferentes escenarios (sin y con el desarrollo de Lagos de Torca). Los usos de suelo obtenidos a través de la modelación son insumo para el modelo de densidades.
- Modelo de densidades: Estimar la densidad de población para Lagos de Torca en el año 2050 a partir de la modelación de usos del suelo y variables como la distancia promedio a equipamientos colectivos, de transporte y el centro de empleo y el precio del suelo.
- Modelo de generación de viajes: Estimar el número de viajes a partir de los resultados de densidad obtenidos en la fase b y la distancia promedio al centro de empleo.
- Modelo de reparto modal: Estimar el reparto modal para Lagos de Torca en el año 2050 y sus implicaciones en indicadores de desempeño ambiental (emisiones de GEI y calidad del aire).

En las siguientes secciones se explica cada uno de los modelos, sus entradas y salidas y los análisis realizados.

7.5.1. Crecimiento de la huella urbana de Bogotá

Modelos de uso de suelo basados en autómatas celulares. Para estimar el impacto regional del proyecto Ciudad Lagos de Torca, teniendo en cuenta una perspectiva de planificación urbana, se construyó un modelo basado en autómatas celulares (AC) en el software Metronamica. A través este modelo, se simuló escenarios sobre ocupación del territorio y cambios de uso del suelo con horizonte al año 2050. Este tipo de herramientas son muy utilizadas porque permiten el análisis de dimensiones espaciales y temporales en los procesos de ocupación de territorio y por su simplicidad [70].

La estructura de un modelo AC consta de: i) datos de referencia en forma de ráster, ii) usos del suelo, iii) reglas que rigen cambios en los usos de suelo en un horizonte de tiempo, iv) actualización de las reglas que varían en de un periodo de tiempo a otro y v) la condición inicial de análisis [71].

Para el análisis del proyecto de Ciudad Lagos de Torca, se tomó como base el modelo de Bogotá desarrollado y calibrado en Metronamica® en el año 2018 para la Secretaría de Planeación Distrital [65]. Dicho ejercicio tiene como años base 2007-2009 y como periodo de calibración 2014-2016. El modelo se compone de una cuadrícula de celdas (píxeles) de 60x60m, en donde cada celda representa un tipo de uso de suelo. El potencial de transición de cada celda se calcula en pasos discretos, mientras se sigue un conjunto de reglas de vecindad que dependen de características espaciales como el potencial del vecindario, la proximidad a infraestructura de transporte (accesibilidad), la zonificación

y la aptitud ambiental[70]. Este tipo de estructura permite la formulación de diferentes escenarios según las políticas que se quieran evaluar.

Definición de escenarios. Con la creación de los escenarios se busca estimar los posibles efectos de la microciudad sobre la huella urbana de la región. Para ello, se desarrollaron tres escenarios con diferentes combinaciones de infraestructura de transporte y regulación del territorio.

Escenario 1 – Tendencial “Business as Usual”

La zonificación de este escenario mantiene el perímetro de expansión vigente para cada uno de los municipios evaluados¹ y para el caso de Bogotá, se basa en las restricciones según la reglamentación del Decreto 190 del 2004 (POT vigente). Como se presenta en la Figura 65, las áreas representadas con color rojo son zonas en donde los desarrollos urbanos se encuentran restringidos, y las áreas verdes corresponden a aquellas con desarrollo urbano permitido. El área en la que se ubica Lagos de Torca hace parte de las zonas con restricción para expansión, según los supuestos del escenario 1. La configuración de la infraestructura de transporte contempla la red vial de Bogotá y la infraestructura asociada al Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en su componente troncal con portales y estaciones. Además, se incluye la red vial regional de los municipios aledaños para el año 2016.

Escenario 2 – Máxima habilitación de suelo

La zonificación de este escenario habilita el desarrollo de Ciudad Norte, Ciudad Rio, Lagos de Torca y Lagos de Tunjuelo. Adicional a ello, en los municipios evaluados se habilita la expansión de suelo urbano y suburbano (ver Figura 66). En la infraestructura de transporte se habilitaron los siguiente proyectos: i) habilitación de suelo para la red vial y continuidad del metro en Ciudad Mosquera; ii) habilitación del sistema de transporte masivo modo férreo regional (línea Facatativá y Gachancipá); iii) la oferta de suelo urbanizable se instrumenta bajo estrategias de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) con un buffer alrededor de las estaciones asociadas al modo férreo; iv) habilitación de los planes viales regionales y centros de intercambio modal; v) habilitación de las tres pistas del Aeropuerto El Dorado II (AEDII) y finalmente se habilita la ocupación ordenada alrededor de AEDII, se incorpora una red de acceso complementaria al AEDII y se promueve el desarrollo de la zona de influencia del AEDII mediante la habilitación de una zona próxima para el desarrollo de suelo comercial y de servicios.

Escenario 3 – Lagos de Torca

A diferencia del escenario 2, en el escenario 3 se habilita únicamente el suelo del proyecto Ciudad Lagos de Torca. En lo que respecta a la infraestructura de transporte, se mantienen los mismos proyectos del escenario 2. Adicionalmente, se consideró el urbanismo de Lagos de Torca que incluye: un centro de intercambio modal (CIM Norte), portal y corredores de Transmilenio y reservas viales (ver Figura 67).

¹ Soacha, Sibaté, La Calera, Sopó, Tocancipá, Gachancipá, Zipaquirá, Cajicá, Tabio, Chía, Tenjo, Cota, Funza, Mosquera, Madrid, Facatativá y Bojacá.

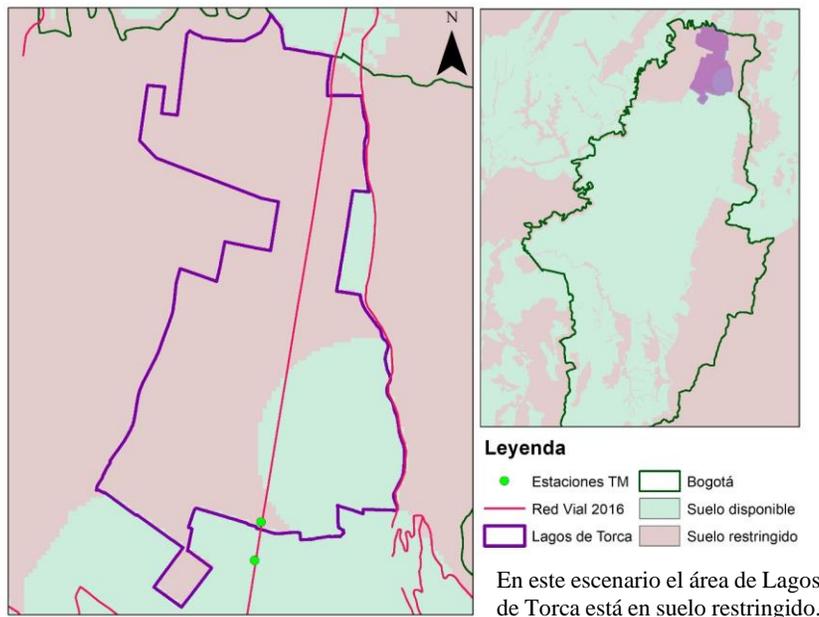


Figura 65. Zonificación e infraestructura de transporte – Escenario 1

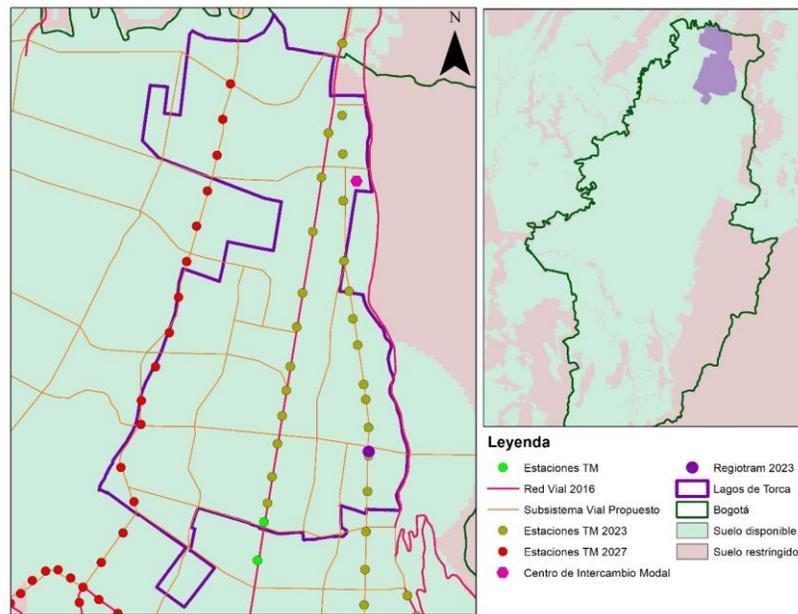


Figura 66. Zonificación e Infraestructura de transporte - Escenario 2

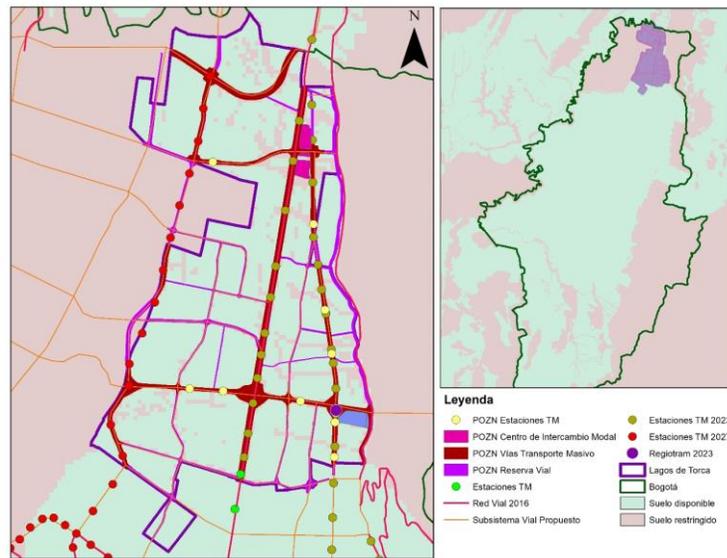


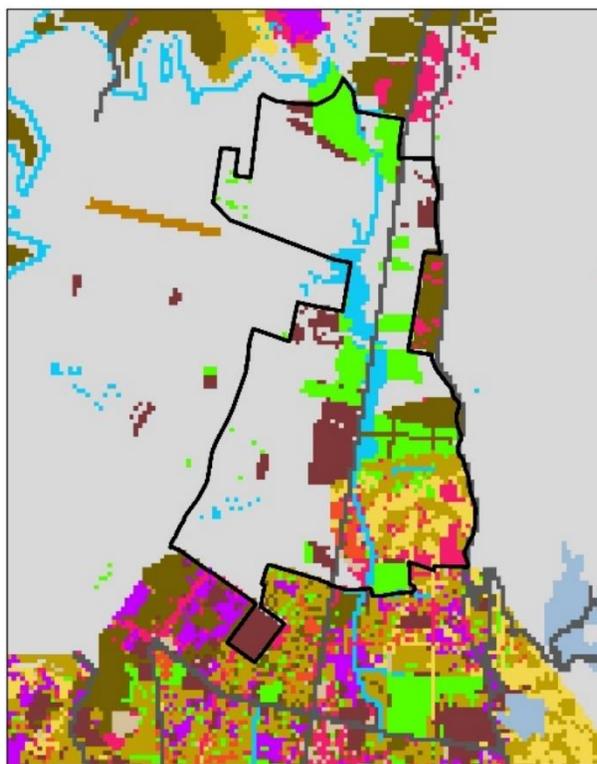
Figura 67. Zonificación e Infraestructura de transporte - Escenario 3

Resultados en usos del suelo. Los resultados de las simulaciones muestran diferentes patrones de ocupación del territorio en 2050 en cada uno de los escenarios (ver Figura 68).

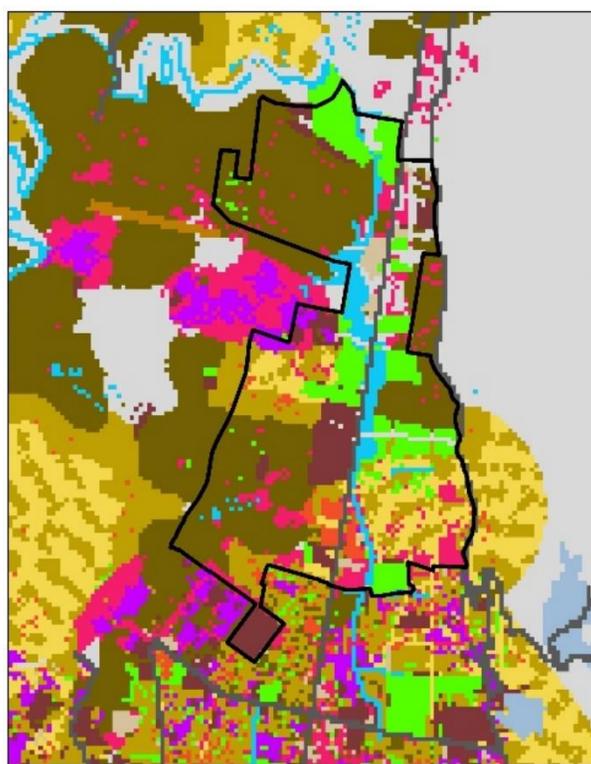
En el escenario 1 “Business as Usual” en el año 2050 no hay desarrollo de nuevos usos del suelo dentro del área delimitada para Lagos de Torca. Se observan algunos usos para parques y dotacional, y el uso residencial bajo (estratos 1-2) y medio (3-4) hacia el límite suroriental del área.

En el escenario 2, con la habilitación del desarrollo de Ciudad Norte y Lagos de Torca en la zona norte de Bogotá, se genera una ocupación predominante de usos de suelo residencial alto (estratos 5-6), suelo comercial y suelo de uso mixto (comercial+residencial) al interior del área delimitada para Lagos de Torca. En el límite del nororiental del proyecto se genera un nodo con uso “servicios”. Este nodo de servicios no se genera en los escenarios 1 y 3, por las restricciones impuestas para el desarrollo de suelo en dichos escenarios.

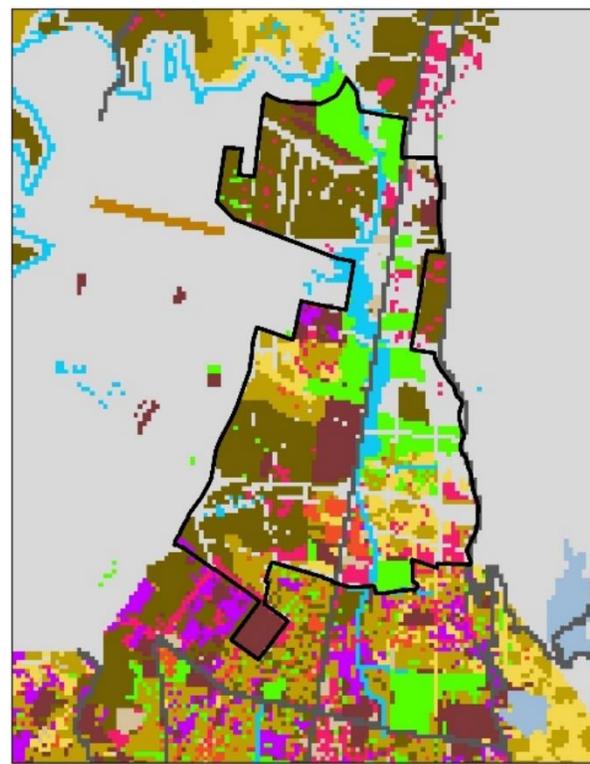
En el escenario 3, en donde solo se habilita suelo para Lagos de Torca y por lo tanto hay mayores restricciones en área para nuevos desarrollos en comparación con el escenario 2, se genera mayor uso de suelo residencial dentro del área delimitada para Lagos de Torca. En el escenario 3, el 82% de los usos activos es residencial y el 18% pertenece a los usos económicos comercial, industrial, mixto y dotacional. En el escenario 2, el 80% pertenece a uso residencial y el 20% a usos económicos. En el escenario 3 se observa área sin desarrollar en la zona nororiental del área para Lagos de Torca, ésta corresponde a áreas delimitadas para obras viales.



Modelo – Escenario 1



Modelo – Escenario 2



Modelo – Escenario 3

Figura 68. Resultados del modelo en usos del suelo año 2050

Leyenda

LT_Limite	Servicios
Disponible	Cuerpos de agua
Residencial Bajo	Parques
Residencial Medio	Dotacional
Residencial Alto	Aeropuertos
Industrial	Vías
Comercial	Relleno sanitario
Mixto	Minería

Índice de dispersión. El índice de dispersión es una aproximación al grado de expansión o compacidad de la ciudad, y se estima en función de las distancias de celdas según diferentes usos del suelo, en relación con el Distrito Central de Empleo (CBD por sus siglas en inglés). En este caso se usó como referencia el centroide de la UPZ Chicó Lago por ser la zona en donde se concentra la mayor cantidad de empleo en Bogotá [70].

El cambio en la ubicación de los usos residenciales y económicos respecto al centroide de la UPZ Chicó Lago en los diferentes escenarios en 2050 respecto al año base, muestra que los usos de suelo activos (residencial + económicos), presentan una mayor dispersión (+ 35%) en el escenario 1 respecto a los otros dos escenarios. En este escenario la huella urbana de la región crece un 35% (Figura 69) respecto al año base. Hay que recordar que este escenario es el de mayores restricciones en uso del suelo para el desarrollo en Bogotá. Al haber una mayor restricción en el área de Bogotá, la huella urbana crece expandiéndose a otros municipios vecinos como: Zipaquirá, Gachancipá, Tabio, Tocancipá, Cajicá, Chía, Sopó, Tenjo, Cota, La Calera, Funza, Madrid, Mosquera, Facatativá, Bojacá, Soacha y Sibaté.

Por su parte, en el escenario 3 en cual se habilitó solamente el suelo de Ciudad Lagos de Torca, la dispersión es menor respecto a los otros dos escenarios. El índice de dispersión en el escenario 3 es menor en nueve puntos porcentuales respecto al escenario 1. El escenario 3 resulta en una región más compacta. Esto trae beneficios para la movilidad.

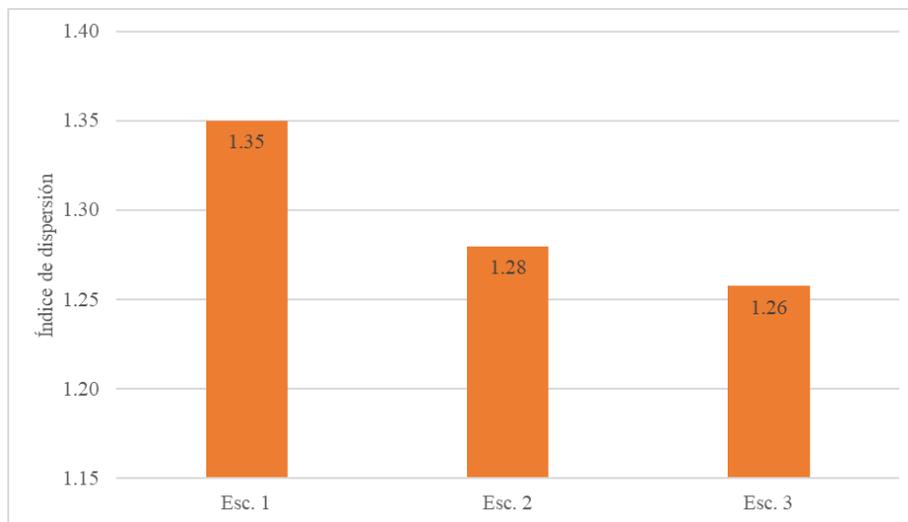


Figura 69. Índice de dispersión 2050

7.5.2. Estimación de población y número de viajes

Modelo de Densidades – Random Forest

Random Forest es una herramienta de clasificación y regresión. El algoritmo crea una serie de estimadores, también llamados árboles de decisión. Cada uno de estos estimadores representa una decisión y todos los estimadores no correlacionados trabajan juntos haciendo que el modelo sea poderoso. La predicción global es tomada por el promedio de decisiones individuales tomadas por cada estimador. El algoritmo Random Forest permite predecir sobre un vector Y dada una matriz X de variables calibradas. Las variables utilizadas para entrenar el modelo pueden ser categóricas y continuas. Esta característica, de entradas de tipo múltiple, posicionó la utilidad del modelo Random Forest sobre otros modelos de mínimos cuadrados ordinarios y regresiones ponderadas geográficamente.

Para utilizar el modelo como algoritmo de predicción éste debe entrenarse. El entrenamiento consiste en crear cada estimador usando una porción de datos y variables calibradas seleccionada aleatoriamente, condicionadas por un porcentaje aleatorio de las variables explicativas. Estas series de estimadores se denominan Random Forest en función de la forma en que se construye cada estimador. Una vez que el modelo está entrenado puede predecir sobre cualquier conjunto de datos. Es fundamental validar el modelo de predicción sobre el conjunto de datos, lo cual se realiza comparando estadísticas descriptivas.

Entradas del modelo. Las entradas del modelo se ordenan en cuatro grupos: i) predicciones del uso de suelo desarrolladas a través del modelo de usos de suelo basado en AC; ii) información del valor catastral del suelo y estratificación socioeconómica (SES) para Bogotá del año 2016; iii) información geográfica sobre equipamientos de educación, salud, recreación (parques) y trabajo (CBD), y finalmente; iv) información geográfica de la red vial principal, estaciones del sistema de transporte público masivo y rutas alimentadores del sistema de transporte público masivo. Una vez recopilada y analizada la información se determinaron diez variables diferentes, nueve explicativas y una dependiente (ver Tabla 34).

Tabla 34. Variables del modelo de densidad

Variable dependiente	Variables independientes
<ul style="list-style-type: none"> - Densidad de la población 	<ul style="list-style-type: none"> - Valor del suelo [COP por metro cuadrado] - Estratificación socioeconómica (SES): Bajo (estratos 1 y 2); Medio (estratos 3 y 4); Alto (estratos 5 y 6) - Distancia a servicios educativos - Distancia a servicios de salud - Distancia a parques públicos zonales - Distancia al Distrito Central de Empleo - Distancia a la red vial principal - Distancia a estaciones del sistema de transporte público masivo - Distancia a rutas alimentadores del sistema de transporte público masivo

Tomando como unidad de análisis las celdas de 60 x 60 del modelo de uso de suelo basado en AC, a través de análisis geográfico se determinó la distancia euclidiana promedio de cada celda del modelo a cada variable explicativa. La Figura 70 permite observar el *Model Builder* construido para llenar la información de cada variable en cada una de las celdas.

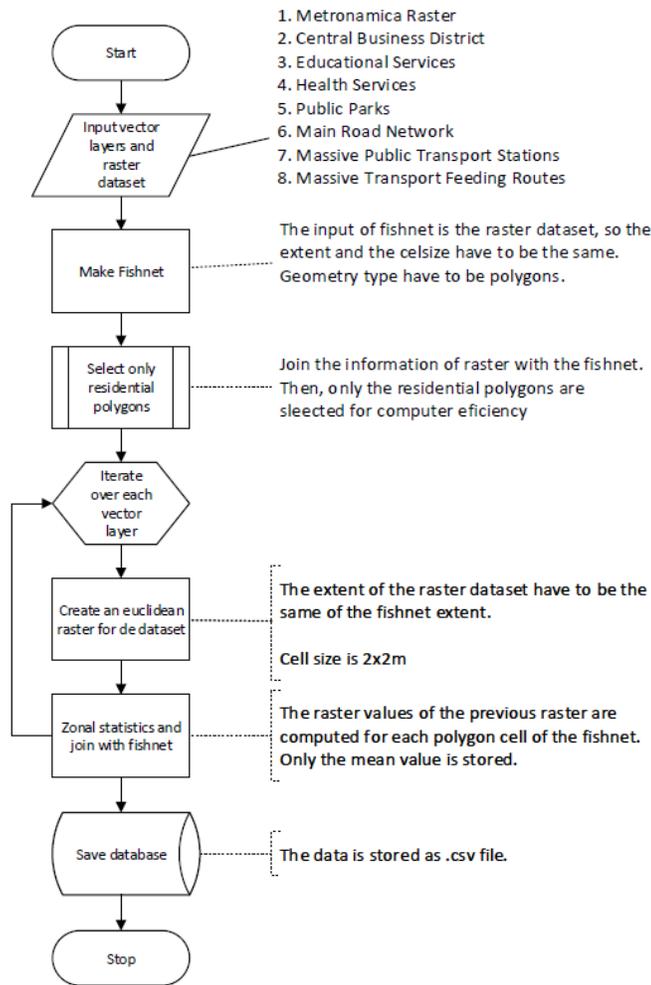


Figura 70. Diagrama de flujo para la generación de la tabla de datos

Es importante aclarar que la calibración de variables no incluye los municipios vecinos, por lo tanto, el modelo solo fue entrenado para Bogotá. Este modelo se calibró mediante varias iteraciones de la base de datos Random Forest. Una vez entrenado el modelo se validó comparando la población real de cada celda con la predicha, obteniendo como resultado R^2 0.9287, lo que muestra la precisión del modelo entrenado.

Resultados. Una vez corrido el modelo para la información de Lagos de Torca, se pudo estimar una población de **264,013** habitantes para el año 2050 (ver Tabla 35). Como se explicó anteriormente esta población está directamente relacionada con las dinámicas del uso del suelo para este año y con la distancia media a diferentes servicios y equipamientos de la ciudad.

Tabla 35. Población por SES - 2050

Uso residencial	Población Modelo
1. Bajo: estratos 1-2	56,768
2. Medio: estratos 3-4	61,179
3. Alto: estratos 5-6	146,066
Total general	264,013

Modelo de generación de viajes

El modelo de generación de viajes se basa en un modelo de mínimos cuadrados (OLS por su nombre en inglés). Este modelo está calibrado analizando la tasa de generación de viajes por cada celda (60 x 60), su densidad, los estratos socioeconómicos y la distancia media al CBD. Bajo estas variables y considerando la interacción entre la densidad, los estratos y controlado por la distancia de cada celda al CBD, el modelo puede describirse mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2- Ecuación modelo de generación de viajes

$$T_{OverBlock} = \beta_0 + \beta_1(High * PopulationDensity) + \beta_2(Medium * PopulationDensity) + \beta_3(CBD) + \beta_4(CBD^2)$$

En donde:

T_i : Viajes generados en cada celda

$High * PopulationDensity_i$: Población por hectárea en cada celda de estrato alto

$Medium * PopulationDensity_i$: Población por hectárea en cada celda de estrato medio

CBD_i : Distancia media de cada celda al CBD

En la Tabla 36 se presentan los resultados calibrados del modelo OLS. Como se puede observar hay una relación positiva entre los viajes generados y la densidad, y esta relación aumenta con el estrato.

Tabla 36. Modelo de generación de viajes calibrados

VARIABLES	Modelo 1; ***p<0.01	Error estándar
Densidad en bloque de estratos bajos	0.484***	(0.0764)
Densidad en bloque de estratos medios	0.712***	(0.0966)
Densidad en bloque de estratos altos	2.049***	(0.407)
Distancia media al CBD	0.176***	(0.0244)
Distancia media al CBD al cuadrado	-6.77e-06***	(1.17e-06)
Constante	350.0***	(115.4)
Observaciones	5,523	
R-cuadrado	0.032	

Resultados. Con los parámetros estimados a partir del modelo Random Forest y aplicando la Ecuación 2 se estimaron los viajes generados para cada celda en el área de Lagos de Torca. Se obtuvo que en el área de estudio para el año 2050 se generarían **368,194** viajes (ver Tabla 37), es importante aclarar que estos son únicamente viajes con destino al CBD, en este caso al centroide de la UPZ Chico Lago.

Tabla 37. Resultados de viajes y tasa de viajes por SES - 2050

Tipo de uso residencial	Población	Viajes	Tasa de Viajes
1. Bajo (estratos 1-2)	56,768	45,186	0.796
2. Medio (estratos 3-4)	61,179	65,401	1.069
3. Alto (estratos 5-6)	146,066	257,607	1.764
Total general	264,013	368,194	1.395

7.5.3. Reparto modal

Modelo de Reparto Modal

Las encuestas de preferencias declaradas (PD) y de preferencias reveladas (PR) son usadas tradicionalmente para la investigación del transporte, especialmente en el área del comportamiento del viaje. Los datos de las encuestas PD son útiles para proporcionar información sobre cómo es probable que las preferencias de selección de modo varíen con los cambios del mercado. Los datos PR se recopilan a través de encuestas de viaje que requieren alta calidad y precisión a niveles desagregados dependiendo de los objetivos de modelación. Con base en las fortalezas de cada tipo de información (PD - PR) se formuló un modelo Logit Multinomial Mixto PD-PR de elección modal para la ciudad-región de Bogotá, el cual se aplicó a para el análisis de Ciudad Lagos de Torca. El modelo considera el uso conjunto de los datos PD y PR y representa el componente de elección de modo de un modelo de transporte de cuatro pasos que interactúa con un modelo de uso del suelo.

Entradas del modelo. Las entradas principales del modelo son: i) preferencias declaradas, tomadas de la consultoría “*Tarifas Sistema de Transporte Público 2018*”. Esta consultoría contemplo la elección de modo entre 7 alternativas: automóvil, motocicleta, Transmilenio, bus, tren, metro y bicicleta, para ocho diferentes escenarios; ii) preferencias reveladas, este componente de datos se obtuvo a través del procesamiento de información de la *Encuesta de Movilidad 2015* y de consultas a partir de la API de Google.

El modelo puede describirse por las siguientes funciones de utilidad:

En transporte individual privado:

$$U_{MODO-TI} = ASC_{MODO} + (bc + bc_{PEI} * PEI + bc_{tamh} * TH + bc_{mot} * MOT) * COSTO_{MODO} + (bt + bt_{IB} * IB + bt_{IA} * IA) * T_{MODO}$$

En transporte público:

$$U_{MODO-TP} = ASC_{MODO} + (bc + bc_{PEI} * PEI + bc_{th} * TH + bc_{mot} * MOT) * COSTO_{MODO} + (bt + bt_{IB} * IB + bt_{IA} * IA) * T_{MODO} + bg_{MODO-TP} * G$$

La variable dependiente es la utilidad de cada modo (U_{MODO-i}) y las variables independientes están definidas en la Tabla 38.

Tabla 38. Variables independientes modelo de reparto modal

Nombre	Notación	Tipo
Costo	C	Continua
PEI	PEI	Dummy
Tamaño hogar	TH	Dummy
Motivo	MOT	Dummy
Tiempo	T	Continua
Ingreso bajo	IB	Dummy
Ingreso alto	IA	Dummy
Género	G	Dummy

Este modelo contempla variables propias de las características socioeconómicas de la población y de los viajes como: tamaño el hogar, motivo de viaje, tipo de ingreso, género y disponibilidad de modo. Estas variables se estimaron a partir de la *Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019 (EODH 2019)*, a continuación, se explican cada uno de los supuestos usados para su estimación.

- Tamaño promedio del hogar: Esta variable se define como el número de personas que conforman el hogar. Acorde con la EODH 2019 el tamaño promedio del hogar para Bogotá fue de 3.11 hab/hogar, según el nivel de ingreso se obtienen la información que se presenta en la Tabla 34.

SES	Tamaño promedio del hogar
Bajo	3.44
Medio	2.80
Alto	2.51

SES: bajo (estratos 1-2), medio (estratos 3-4), alto (estratos 5-6)

- **Motivo del viaje:** La aplicación de esta variable en el modelo se usa a través del tipo de ocupación de la población, la EODH 2019 presenta 3 clasificaciones para establecer este indicador i) trabajo; ii) estudio y; iii) otros (Tabla 39). Sin embargo, y para efectos de aplicación del modelo se reagrupó en dos categorías: i) ocupado (trabajo y estudio) y; ii) no ocupado (otros) (ver Tabla 40).

Tabla 39. Clasificación porcentual ocupación para Bogotá 2019

Estrato	Estudiante	Trabajador	Otros
1	27.3%	41.6%	31.1%
2	24.6%	45.7%	29.7%
3	22.5%	46.1%	31.4%
4	19.6%	48.5%	31.9%
5	19.1%	49.9%	31.0%
6	16.7%	53.6%	29.7%

Tabla 40. Clasificación porcentual ocupación para Bogotá 2019 acorde SES

SES	Ocupado	No ocupado
Bajo	69.6%	30.4%
Medio	68.4%	31.6%
Alto	69.7%	30.3%

- **Género:** El género de la población se encuentra distribuido porcentualmente 46.7% hombres y 53.3% mujeres.
- **Disponibilidad de modo:** La disponibilidad de automóviles y motocicletas (ver Tabla 41) es un atributo que influye en el reparto modal de los viajes.

Tabla 41. Clasificación porcentual disponibilidad de modo para Bogotá 2019 acorde SES

SES	Automóvil	Motocicleta	Ninguno
1.Bajo	6%	6%	88%
2.Medio	24%	4%	72%
3.Alto	53%	2%	45%

Teniendo en cuenta que el modelo predice el reparto modal acorde a las características socioeconómicas de la población, se generaron 12 perfiles que contemplan la combinación de variables para cada uno de los casos (Tabla 42).

Tabla 42. Perfiles de modelación

Perfil	Ingreso (SES)	Género	Ocupación
1	Bajo	Hombre	Ocupado

2	Bajo	Hombre	No ocupado
3	Bajo	Mujer	Ocupado
4	Bajo	Mujer	No ocupado
5	Medio	Hombre	Ocupado
6	Medio	Hombre	No ocupado
7	Medio	Mujer	Ocupado
8	Medio	Mujer	No ocupado
9	Alto	Hombre	Ocupado
10	Alto	Hombre	No ocupado
11	Alto	Mujer	Ocupado
12	Alto	Mujer	No ocupado

Una vez establecidos los perfiles se procedió a hacer el cálculo de los viajes con base en las funciones de utilidad y se definió el reparto modal para el escenario de Lagos de Torca en el año 2050 (ver Tabla 43 y Figura 71).

Tabla 43. Viajes por modo para cada perfil - 2050

Perfil	Viajes	Proporción de uso del modo para el tipo de usuario						
		Motocicleta	Automóvil	Transmilenio	Bus	Tren	Bicicleta	Caminata
1	14,702	153	177	1,494	2,366	9,091	797	624
2	6,421	69	70	648	1,034	3,927	378	295
3	16,748	92	109	1,375	2,510	11,873	442	346
4	7,314	42	43	600	1,102	5,153	210	165
5	20,898	142	1,094	2,035	3,175	12,638	1,086	727
6	9,675	68	456	941	1,478	5,817	548	367
7	23,806	85	672	1,897	3,412	16,721	610	408
8	11,021	41	278	879	1,593	7,715	309	207
9	83,899	336	6,763	5,538	5,587	62,650	3,004	21
10	36,528	150	2,567	2,437	2,476	27,445	1,443	10
11	95,571	194	3,784	4,937	5,742	79,288	1,614	11
12	41,610	87	1,423	2,166	2,536	34,619	773	5
Total	368,194	1,460	17,436	24,948	33,012	276,936	11,215	3,186

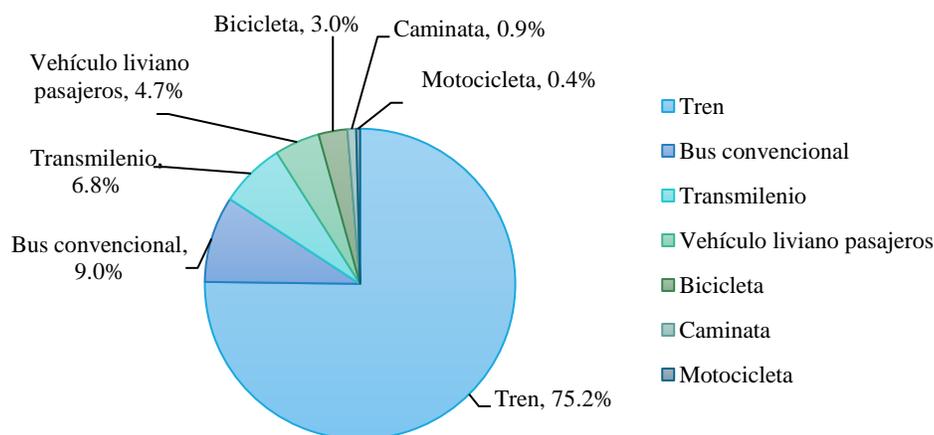


Figura 71. Reparto modal Lagos de Torca en 2050

Los resultados sobre la distribución modal en 2050 muestran que los modos de transporte público predominan en los viajes totales. El 91% de los viajes se realizan en tren, bus y Transmilenio. El transporte privado (automóviles y motocicletas) representan el 5.1%, y modos no motorizados (caminata y bicicleta) tienen una participación del 3.9%. Vale la pena aclarar que en este análisis no se consideran aspectos de capacidad de los diferentes modos, lo cual debería tenerse en cuenta en análisis posteriores.

Teniendo en cuenta la cantidad de viajes estimados para Lagos de Torca en 2050, las distancias de los viajes y su distribución modal, se obtiene un indicador de emisión de CO₂e de 203 g por cada viaje. Esto es la mitad del valor obtenido para Ciudad Verde, que ya es bajo por la importante participación del transporte público. Esta mejora se debe principalmente a la alta participación de modos de transporte masivos y eléctricos como es el tren.

Resulta crítico en movilidad, en la calidad de vida de los habitantes y en términos de emisiones GEI, la transición que se logre entre las opciones de transporte disponibles en las primeras etapas de Lagos de Torca y las que se plantean en los planes del Distrito para el año 2050.

7.5.4. Escenarios por población

Acorde con los escenarios de población planteados (i) mínimo, ii) moderado, y iii) saturado) se llevó a cabo un análisis de sensibilidad con el objetivo de obtener el rango de viajes para cada uno de los escenarios acorde a la población proyectada. En este sentido se realizó una distribución uniforme de las tasas de movilidad, tomando como valor mínimo la tasa para el SES bajo (0.796 viajes/persona), y como máximo la tasa para el SES alto (1.764 viajes/persona). Este ejercicio se hizo para 100 simulaciones y se obtuvieron los resultados que se presentan en la Figura 72.

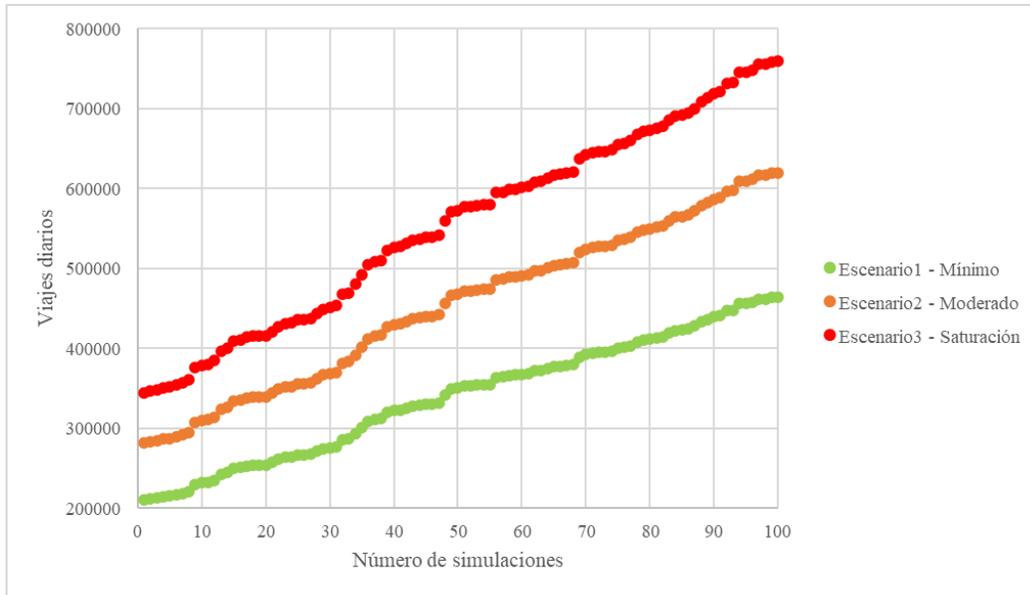


Figura 72. Viajes generados por escenario modelado

Como puede verse en la Figura 72 el rango de viajes generados para el escenario 1 – mínimo (población: 264,013) oscila entre los 210,154 como valor mínimo y 464,926 como valor máximo. Para el caso del escenario 2 – moderado (población: 352,643), el rango de viajes se encuentra entre 280,704 como valor mínimo y 621,004 como valor máximo. Finalmente, el escenario 3 – saturado (población: 431,954), tiene un rango de viajes entre 343,835 como valor mínimo y 760,671 como valor máximo. Es pertinente aclarar que con la metodología empleada el reparto modal permanece constante para estos tres escenarios, ya que depende de las características socioeconómicas de la población y no del número de habitantes en la zona de estudio. Un análisis posterior sobre el reparto modal para la población de Lagos de Torca debería abarcar la capacidad de dichos modos teniendo cuenta los escenarios posibles sobre el número de viajes diarios.

7.5.5. Indicadores para Lagos de Torca

De los 18 indicadores propuestos para evaluar la sostenibilidad de la movilidad de una micro-ciudad, se estimaron seis para Lagos de Torca (ver Tabla 44).

Tabla 44. Indicadores Lagos de Torca - 2050

Indicador	Valor	Unidades
Tasa de movilidad	1.395	Viajes diarios/persona
Participación del transporte público en los viajes totales	91	Porcentaje
Participación de modos no motorizados en los viajes totales	3.9	Porcentaje
Nivel de emisiones de dióxido de carbono equivalente por viaje	202.7	g CO _{2eq} /viaje
Nivel de emisiones de material particulado fino por viaje	0.012	g PM _{2.5} /viaje

Exposición personal a material particulado fino en transporte	44.4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM _{2.5}
---	------	--

Los tres últimos indicadores de la Tabla 44 están determinados en gran proporción por el desempeño ambiental de la flota. Para esta aproximación se consideraron las mismas tecnologías que aquellas utilizadas para el análisis de Ciudad Verde, excepto para el caso del tren eléctrico que es una nueva categoría. Los resultados de estos tres indicadores son significativamente mejores en Lagos de Torca, respecto a los estimados para Ciudad Verde. Esto se debe a la alta participación del tren en los viajes totales. Se esperaría todavía un mejor desempeño que el estimado aquí, considerando las mejoras adicionales por nuevas tecnologías y con mejores estándares ambientales en todos los modos de transporte disponibles en las próximas décadas en la ciudad.

Para Lagos de Torca no fue posible estimar 12 indicadores de los propuestos, debido a que no se cuenta con la información requerida. Sin embargo, en su mayor parte, corresponde a información con la que podría contarse como parte del diseño de la micro-ciudad. Cuatro indicadores de accesibilidad dependerán de la oferta local en cuanto a alternativas para conectar la micro-ciudad con el sistema de transporte público de Bogotá, incluyendo la oferta para modos no motorizados. Estas alternativas también serán determinantes en la asequibilidad al transporte, pues como se observó en Ciudad Verde el costo del transporte informal, que surge muchas veces ante la falta de otras opciones, representa una alta proporción de los gastos totales que debe asumir la población para su transporte.

Cinco indicadores adicionales sobre accesibilidad, autocontención y tiempos de viaje para acceder al trabajo y a la educación, están directamente relacionados con la oferta de equipamientos, de empleo y de servicios de educación y salud al interior del proyecto. Finalmente, dos indicadores de percepción dependerán de la calidad del servicio de transporte que se ofrezca a la población y de la calidad del entorno en la micro-ciudad.

Todos estos aspectos deberían ser parte de los criterios de diseño de las micro-ciudades, así como la gradualidad de la implementación de las intervenciones. Como se mencionó en otras secciones de este estudio, no se identifican alternativas para proveer transporte sostenible al interior del proyecto, ni en su conexión con el transporte público de Bogotá en las etapas iniciales de la micro-ciudad. Esto contrasta con los planes de movilidad del Distrito al 2050, que suponen para Lagos de Torca que más del 95% de los viajes se realicen en modos de transporte sostenible (público más no motorizado). Adicionalmente, la experiencia de Ciudad Verde muestra que no es suficiente con dejar áreas disponibles para los equipamientos, sino que se requiere implementar mecanismos que garanticen su construcción desde la fase inicial del proyecto.

7.6. Edificaciones e infraestructura urbana

7.6.1. Línea base de emisiones de edificaciones residenciales

Con respecto a las edificaciones residenciales de Lagos de Torca, en la presente sección se presenta el análisis realizado en torno a la estimación del carbono incorporado y de las emisiones asociadas a la operación.

Emisiones incorporadas

Tal y como se explica en puntos anteriores, las emisiones incorporadas son las emisiones que se generan durante las primeras etapas del ciclo de vida. Se incluye dentro del análisis las emisiones asociadas a la extracción de materia prima, al transporte hasta la fábrica, a la producción de los materiales, al transporte hasta la obra y a la construcción de la edificación. Se analizan de manera detallada cinco materiales: cemento, acero, ladrillo, vidrio y agregados. La cuantificación incluye el carbono emitido por las edificaciones residenciales construidas durante el periodo de análisis (2020 a 2050).

Con el fin de poder cuantificar las emisiones incorporadas, primero es necesario poder caracterizar las edificaciones que se van a construir en el proyecto urbano a través de prototipos de viviendas. Debido a esto se define un prototipo para cada tipología edilicia: uno ‘VIP’, uno ‘VIS’ y uno ‘no VIS’.

Vivienda de Interés Prioritario (VIP)

Tabla 45. Línea base de emisiones incorporadas de las VIP en Lagos de Torca

Emisiones incorporadas CO2-eq (t/año)								
Año	Cemento	Acero	Ladrillo	Vidrio	Agregados	Transporte	Construcción	Total
2020	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	1,656	989	476	52	13	188	133	3,508
2024	4,477	2,674	1,286	141	35	508	360	9,481
2025	8,631	5,155	2,478	272	67	979	694	18,277
2026	9,144	5,461	2,626	289	71	1,037	735	19,363
2027	8,492	5,072	2,439	268	66	964	683	17,984
2028	7,482	4,469	2,149	236	58	849	602	15,845
2029	7,482	4,469	2,149	236	58	849	602	15,845
2030	7,482	4,469	2,149	236	58	849	602	15,845
2031	9,923	5,927	2,850	313	77	1,126	798	21,014
2032	7,934	4,738	2,278	250	62	900	638	16,800
2033	6,498	3,881	1,866	205	51	737	522	13,760
2034	6,498	3,881	1,866	205	51	737	522	13,760
2035	6,492	3,878	1,864	205	50	737	522	13,749
2036	4,841	2,891	1,390	153	38	549	389	10,252
2037	4,841	2,891	1,390	153	38	549	389	10,252
2038	4,836	2,888	1,389	153	38	549	389	10,241
2039	4,328	2,585	1,243	137	34	491	348	9,166
2040	4,328	2,585	1,243	137	34	491	348	9,166
2041	4,328	2,585	1,243	137	34	491	348	9,166
2042	4,133	2,469	1,187	130	32	469	332	8,753
2043	2,441	1,458	701	77	19	277	196	5,169
2044	2,436	1,455	700	77	19	276	196	5,158

2045	2,441	1,458	701	77	19	277	196	5,169
2046	2,436	1,455	700	77	19	276	196	5,158
2047	2,441	1,458	701	77	19	277	196	5,169
2048	2,436	1,455	700	77	19	276	196	5,158
2049	5	3	1	0	0	1	0	11
2050	0	0	0	0	0	0	0	0

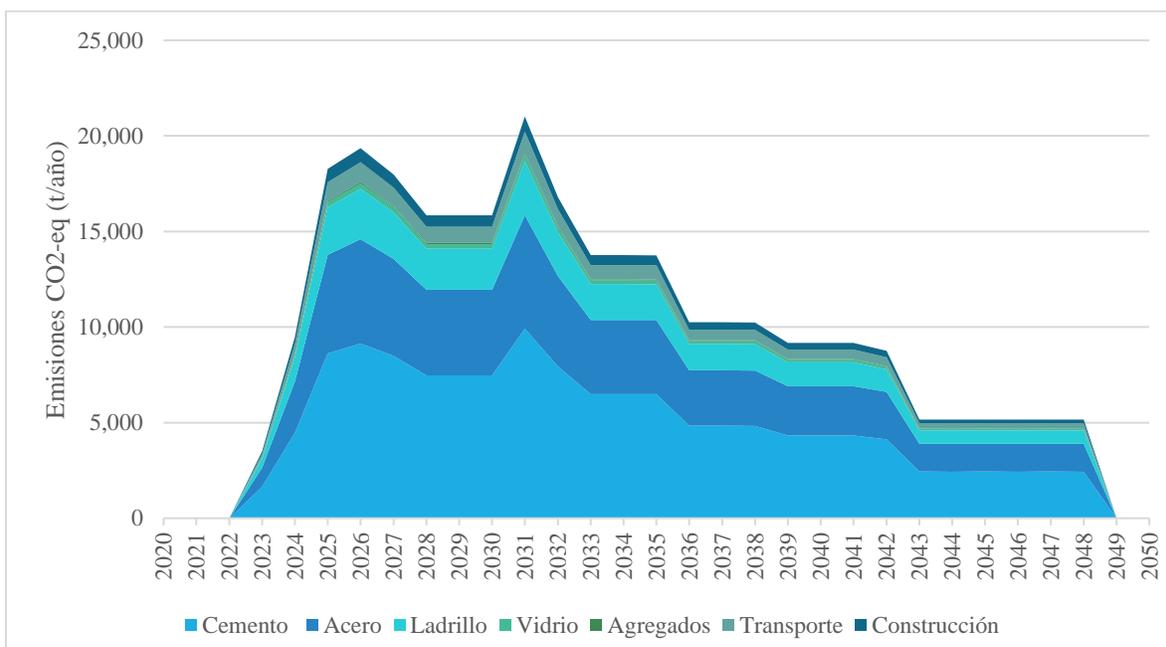


Figura 73. Línea base de emisiones incorporadas de VIP en Lagos de Torca

Vivienda de Interés Social (VIS)

Tabla 46. Línea base de emisiones incorporadas de las VIS en Lagos de Torca

Emisiones incorporadas CO2-eq (t/año)								
Año	Cemento	Acero	Ladrillo	Vidrio	Agregados	Transporte	Construcción	Total
2020	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	3,555	976	160	55	30	373	422	5,572
2024	9,609	2,639	433	149	82	1,009	1,140	15,061
2025	18,525	5,088	834	287	157	1,946	2,198	29,034
2026	19,626	5,390	884	304	167	2,062	2,328	30,759
2027	18,228	5,006	821	282	155	1,915	2,162	28,568
2028	16,059	4,411	723	248	136	1,687	1,905	25,170
2029	16,059	4,411	723	248	136	1,687	1,905	25,170
2030	16,059	4,411	723	248	136	1,687	1,905	25,170
2031	21,299	5,850	959	329	181	2,237	2,527	33,382
2032	17,028	4,677	767	263	145	1,789	2,020	26,688
2033	13,946	3,830	628	216	118	1,465	1,654	21,858
2034	13,946	3,830	628	216	118	1,465	1,654	21,858
2035	13,935	3,827	627	216	118	1,464	1,653	21,840

2036	10,391	2,854	468	161	88	1,092	1,233	16,285
2037	10,391	2,854	468	161	88	1,092	1,233	16,285
2038	10,380	2,851	467	161	88	1,090	1,231	16,268
2039	9,290	2,551	418	144	79	976	1,102	14,560
2040	9,290	2,551	418	144	79	976	1,102	14,560
2041	9,290	2,551	418	144	79	976	1,102	14,560
2042	8,872	2,437	399	137	75	932	1,052	13,905
2043	5,239	1,439	236	81	44	550	622	8,212
2044	5,228	1,436	235	81	44	549	620	8,194
2045	5,239	1,439	236	81	44	550	622	8,212
2046	5,228	1,436	235	81	44	549	620	8,194
2047	5,239	1,439	236	81	44	550	622	8,212
2048	5,228	1,436	235	81	44	549	620	8,194
2049	11	3	0	0	0	1	1	17
2050	0	0	0	0	0	0	0	0

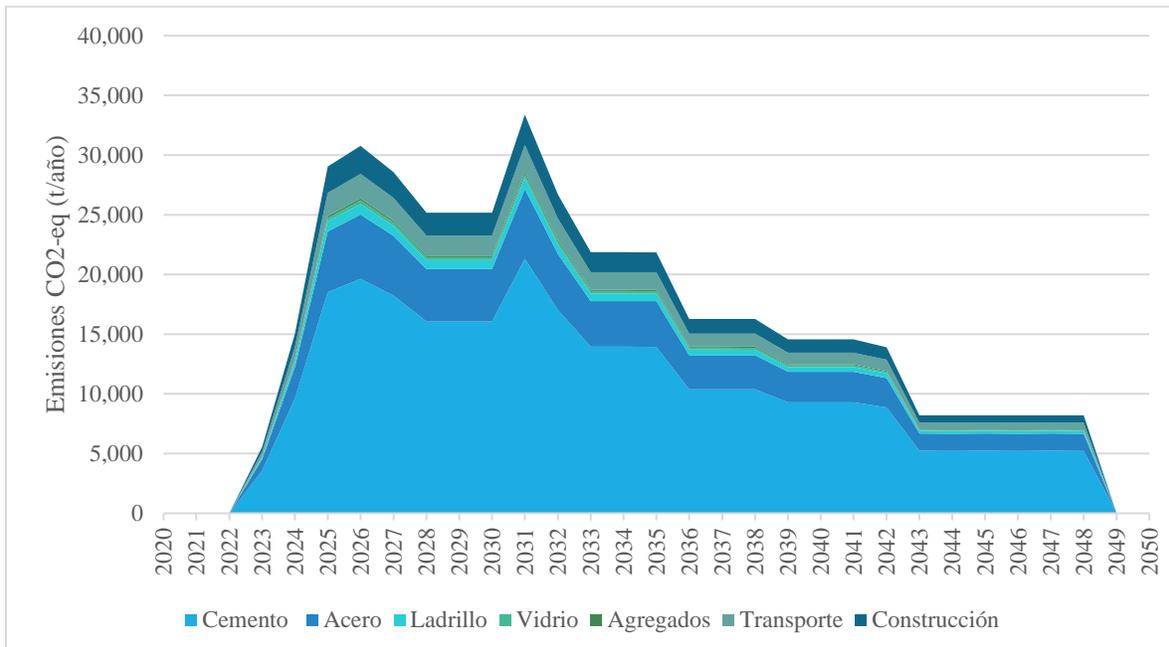


Figura 74. Línea base de emisiones incorporadas de VIS en Lagos de Torca

No VIS

Tabla 47. Línea base de emisiones incorporadas de las no VIS en Lagos de Torca

Emisiones incorporadas CO2-eq (t/año)								
Año	Cemento	Acero	Ladrillo	Vidrio	Agregados	Transporte	Construcción	Total
2020	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	15,015	5,151	888	210	90	1,219	1,611	24,183
2024	40,597	13,927	2,400	568	243	3,297	4,356	65,388
2025	78,249	26,844	4,626	1,095	469	6,354	8,396	126,033
2026	82,867	28,428	4,899	1,159	497	6,729	8,891	133,470

2027	76,994	26,414	4,552	1,077	462	6,252	8,261	124,012
2028	67,821	23,267	4,010	949	407	5,507	7,277	109,237
2029	67,821	23,267	4,010	949	407	5,507	7,277	109,237
2030	67,821	23,267	4,010	949	407	5,507	7,277	109,237
2031	89,901	30,842	5,315	1,258	539	7,300	9,646	144,801
2032	71,912	24,670	4,251	1,006	431	5,839	7,716	115,826
2033	58,911	20,210	3,483	824	353	4,784	6,321	94,887
2034	58,865	20,194	3,480	823	353	4,780	6,316	94,812
2035	58,896	20,205	3,482	824	353	4,783	6,319	94,862
2036	43,897	15,059	2,595	614	263	3,565	4,710	70,703
2037	43,850	15,043	2,592	613	263	3,561	4,705	70,629
2038	43,866	15,049	2,593	614	263	3,562	4,707	70,653
2039	39,233	13,459	2,319	549	235	3,186	4,210	63,191
2040	39,233	13,459	2,319	549	235	3,186	4,210	63,191
2041	39,233	13,459	2,319	549	235	3,186	4,210	63,191
2042	37,436	12,843	2,213	524	225	3,040	4,017	60,296
2043	22,127	7,591	1,308	310	133	1,797	2,374	35,639
2044	22,111	7,585	1,307	309	133	1,796	2,372	35,614
2045	22,080	7,575	1,305	309	132	1,793	2,369	35,564
2046	22,111	7,585	1,307	309	133	1,796	2,372	35,614
2047	22,080	7,575	1,305	309	132	1,793	2,369	35,564
2048	22,111	7,585	1,307	309	133	1,796	2,372	35,614
2049	15	5	1	0	0	1	2	25
2050	0	0	0	0	0	0	0	0

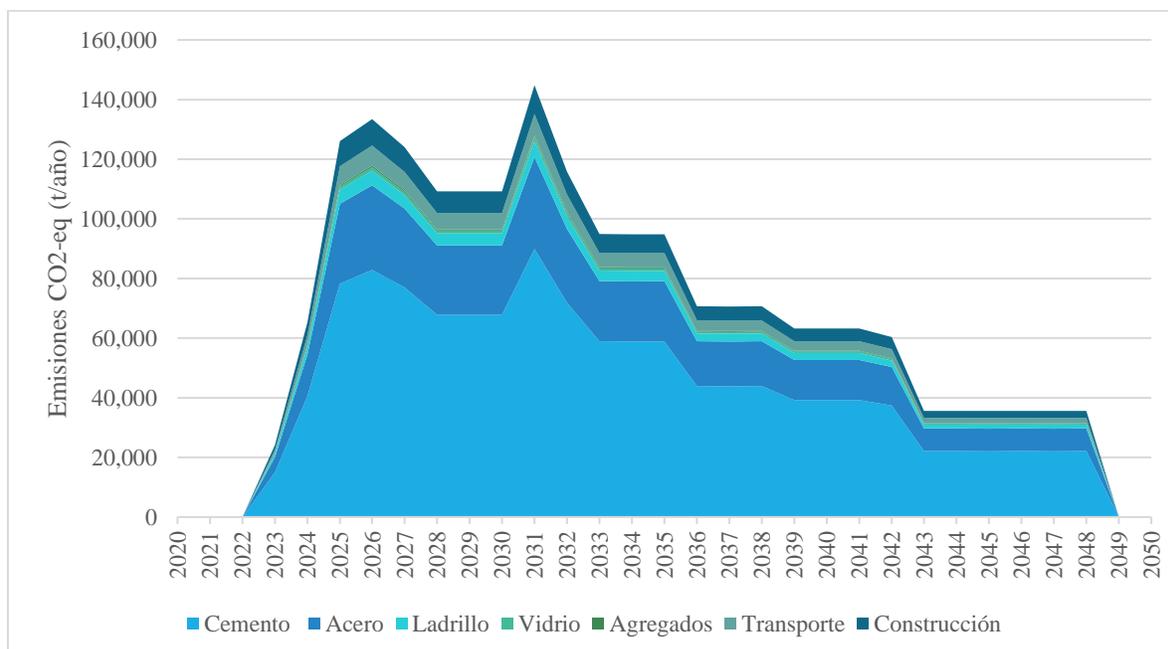


Figura 75. Línea base de emisiones incorporadas de las no VIS en Lagos de Torca

Todas las edificaciones

Tabla 48. Emisiones incorporadas según tipología edilicia en Lagos de Torca

Emisiones incorporadas CO2-eq (t/año)				
Año	VIP	VIS	No VIS	Total
2020	0	0	0	0
2021	0	0	0	0
2022	0	0	0	0
2023	3508	5572	24183	33263
2024	9481	15061	65388	89929
2025	18277	29034	126033	173345
2026	19363	30759	133470	183593
2027	17984	28568	124012	170564
2028	15845	25170	109237	150252
2029	15845	25170	109237	150252
2030	15845	25170	109237	150252
2031	21014	33382	144801	199197
2032	16800	26688	115826	159314
2033	13760	21858	94887	130504
2034	13760	21858	94812	130429
2035	13749	21840	94862	130451
2036	10252	16285	70703	97241
2037	10252	16285	70629	97166
2038	10241	16268	70653	97163
2039	9166	14560	63191	86917
2040	9166	14560	63191	86917
2041	9166	14560	63191	86917
2042	8753	13905	60296	82954
2043	5169	8212	35639	49020
2044	5158	8194	35614	48967
2045	5169	8212	35564	48945
2046	5158	8194	35614	48967
2047	5169	8212	35564	48945
2048	5158	8194	35614	48967
2049	11	17	25	53
2050	0	0	0	0

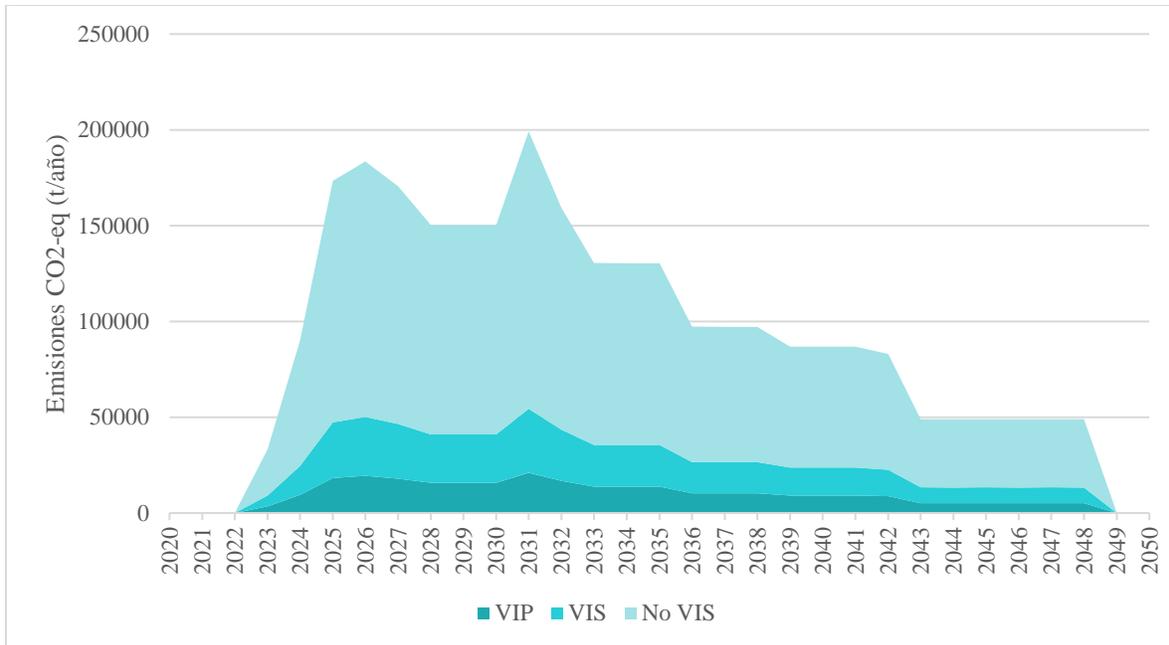


Figura 76. Línea base de emisiones incorporadas según tipología en Lagos de Torca

Emisiones en operación

En esta sección se presentan las emisiones de CO₂-eq asociadas al consumo de energía en la operación de equipos domésticos según el tipo de vivienda (VIP y VIS o No VIS). Esta cuantificación se realizó para el escenario de desarrollo en Lagos de Torca definido para el periodo 2023 - 2050. Para la evaluación de las emisiones se consideraron los consumos de energía por iluminación, y los principales equipos domésticos por uso (cocción, refrigeración, calentamiento de agua, televisión, plancha, lavado de ropa y computadores) [72], [73]. De esta forma, se presenta el total de las emisiones cuantificadas según lo descrito, para los tipos de vivienda mencionados.

Cabe mencionar que se define una línea base para dos de los escenarios de evolución del tamaño promedio del hogar, el escenario de saturación (3.2 habitantes/hogar) y el escenario moderado (evolución de 3.2 a 2.6 habitantes/hogar), presentados en la Figura 77. Este factor afecta la estimación del consumo de los equipos a lo largo del tiempo, por la consideración del efecto de la transición demográfica descrita en el anexo en el que se describe la metodología aplicada para el cálculo del consumo.

Para la estimación de los consumos de energía sobre los que se cuantifican las emisiones se aplicó la misma metodología utilizada para la cuantificación de Ciudad Verde. Sin embargo, para algunos usos se modificaron los supuestos desde los que se parte. Dado que la operación de Lagos de Torca comienza a en el año 2023, se asume que tanto para VIS y VIP como para el tipo No VIS, la iluminación de todos los hogares operará con bombillos de tecnología LED y contarán con equipos de lavado de ropa eficientes energéticamente [72]. Por otro lado, para los equipos de refrigeración se asumió que en los hogares de tipología No VIS contará con equipos de alta eficiencia energética, y para VIS y VIP se tendrán las mismas condiciones que en Ciudad Verde [72], [73].

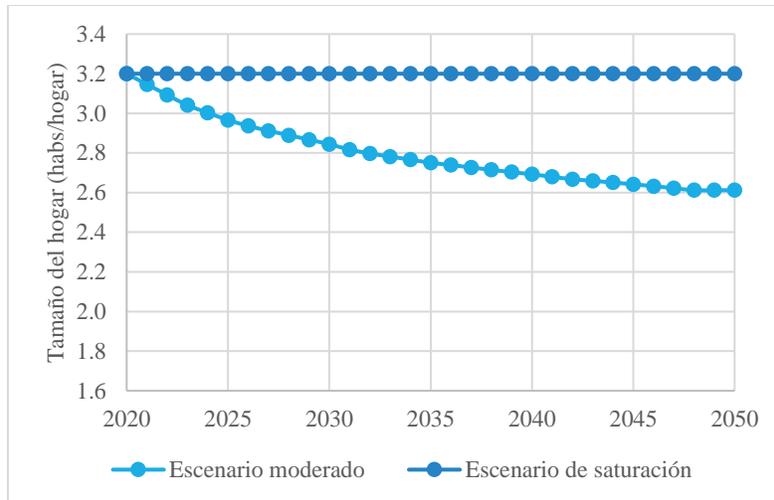


Figura 77. Escenarios de transición del tamaño del hogar

VIS y VIP

- Escenario “moderado” de tamaño del hogar

La Tabla 49 presenta la evolución de las unidades de vivienda y las emisiones de CO₂-eq. para este escenario; asociadas a la operación de ese *stock*, desagregadas entre gas natural y electricidad. Adicionalmente, la Figura 78 ilustra el comportamiento de las emisiones en el tiempo y el aporte por equipo doméstico al valor de cada año.

Tabla 49. Emisiones asociadas a la operación de vivienda bajo el escenario moderado de tamaño del hogar

Emisiones CO ₂ -eq VIS y VIP (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	646	173.36	281.71	455.06
2024	2,392	644.32	1,030.90	1,675.21
2025	5,758	1,556.74	2,452.11	4,008.85
2026	9,324	2,531.17	3,934.06	6,465.23
2027	12,636	3,442.08	5,288.97	8,731.05
2028	15,554	4,252.64	6,464.31	10,716.95
2029	18,472	5,068.34	7,621.28	12,689.61
2030	21,390	5,888.94	8,760.13	14,649.07
2031	25,260	6,972.98	10,253.01	17,225.99
2032	28,354	7,857.28	11,435.31	19,292.59
2033	30,888	8,580.53	12,394.84	20,975.36
2034	33,422	9,283.97	13,344.52	22,628.49
2035	35,954	9,987.04	14,283.69	24,270.73
2036	37,842	10,517.51	14,979.18	25,496.69
2037	39,730	11,048.39	15,667.71	26,716.10
2038	41,616	11,572.07	16,343.42	27,915.49

Emisiones CO ₂ -eq VIS y VIP (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2039	43,304	12,034.90	16,936.42	28,971.32
2040	44,992	12,496.91	17,522.48	30,019.39
2041	46,680	12,956.66	18,096.67	31,053.33
2042	48,292	13,394.36	18,633.90	32,028.26
2043	49,244	13,658.51	18,944.74	32,603.25
2044	50,194	13,921.07	19,248.57	33,169.65
2045	51,146	14,183.24	19,547.03	33,730.28
2046	52,096	14,443.90	19,838.66	34,282.56
2047	53,048	14,704.24	20,125.13	34,829.37
2048	53,998	14,963.15	20,405.07	35,368.22
2049	54,000	14,984.11	20,405.71	35,389.82
2050	54,000	15,004.88	20,405.71	35,410.60

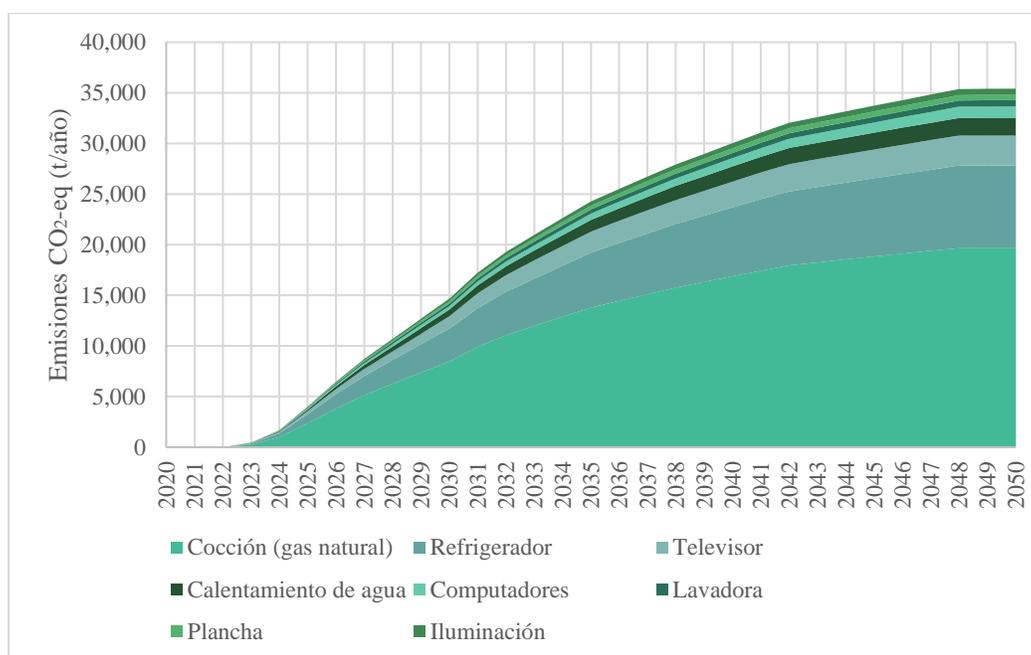


Figura 78. Línea base de emisiones por operación de equipos domésticos bajo el escenario moderado de tamaño del hogar (VIP y VIS)

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

La Tabla 50 presenta la evolución de las unidades de vivienda y las emisiones de CO₂-eq. para este escenario; asociadas a la operación de ese *stock*, desagregadas entre gas natural y electricidad. Adicionalmente, la Figura 79 ilustra el comportamiento de la línea base de emisiones en el tiempo, y el aporte de cada equipo doméstico a esta.

Tabla 50. Emisiones asociadas a la operación de vivienda bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar

Emisiones CO ₂ -eq VIS y VIP (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00

Emisiones CO₂-eq VIS y VIP (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	646	176.95	296.45	473.40
2024	2392	661.12	1,098.34	1,759.46
2025	5758	1,605.97	2,645.54	4,251.51
2026	9324	2,622.64	4,286.49	6,909.14
2027	12636	3,580.21	5,812.43	9,392.63
2028	15554	4,438.87	7,158.76	11,597.64
2029	18472	5,309.59	8,506.66	13,816.25
2030	21390	6,192.28	9,856.07	16,048.36
2031	25260	7,364.51	11,645.95	19,010.46
2032	28354	8,326.93	13,080.14	21,407.07
2033	30888	9,118.28	14,257.71	23,375.99
2034	33422	9,890.91	15,436.85	25,327.77
2035	35954	10,667.16	16,616.69	27,283.85
2036	37842	11,256.18	17,500.36	28,756.54
2037	39730	11,848.68	18,385.37	30,234.05
2038	41616	12,435.76	19,264.67	31,700.43
2039	43304	12,956.88	20,046.08	33,002.96
2040	44992	13,479.62	20,827.48	34,307.10
2041	46680	14,004.01	21,608.89	35,612.90
2042	48292	14,507.31	22,355.10	36,862.41
2043	49244	14,813.75	22,795.79	37,609.54
2044	50194	15,120.73	23,235.56	38,356.29
2045	51146	15,429.54	23,676.25	39,105.79
2046	52096	15,738.96	24,116.03	39,854.99
2047	53048	16,050.26	24,556.72	40,606.98
2048	53998	16,362.23	24,996.50	41,358.72
2049	54000	16,387.87	24,997.41	41,385.28
2050	54000	16,413.32	24,997.41	41,410.73

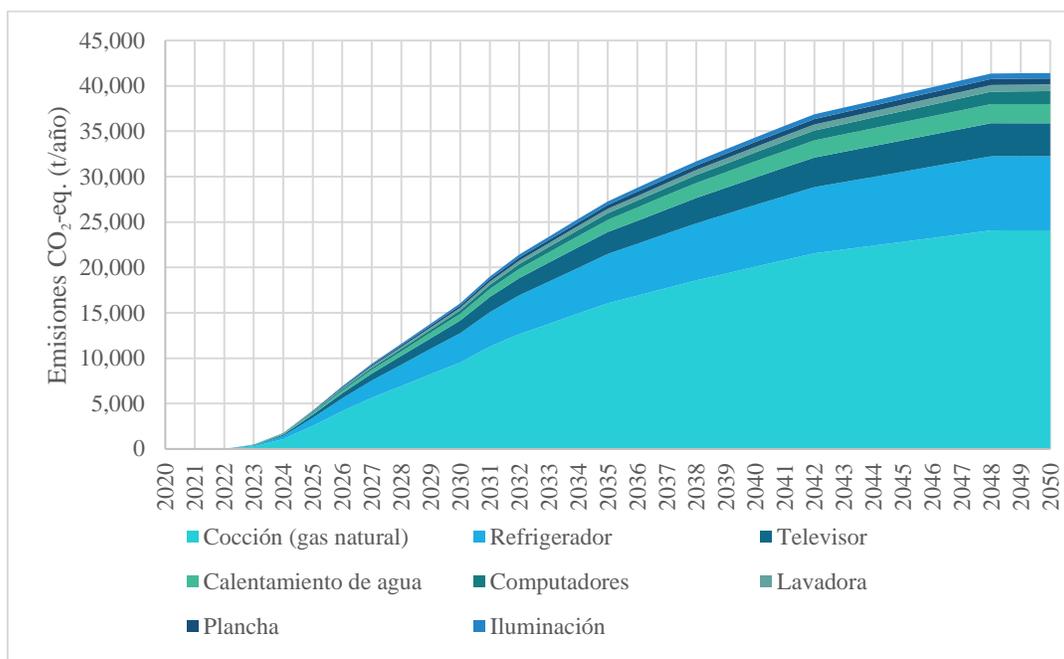


Figura 79. Línea base de emisiones por operación de equipos domésticos bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar (VIP y VIS)

No VIS

- Escenario “moderado” de tamaño del hogar

En la Tabla 51 se presenta el flujo de entregas de vivienda No VIS y las emisiones de CO₂-eq. asociadas a la operación de ese *stock*, desagregadas entre gas natural y electricidad. Adicionalmente, la Figura 80 presenta el comportamiento de la línea base de emisiones en el tiempo, y el aporte de cada equipo doméstico a esta.

Tabla 51. Emisiones asociadas a la operación de vivienda bajo el escenario moderado de tamaño del hogar

Emisiones CO ₂ -eq No VIS (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	969	164.01	338.71	502.73
2024	3,589	610.38	1,241.43	1,851.81
2025	8,639	1,475.93	2,956.54	4,432.46
2026	13,987	2,401.77	4,748.25	7,150.02
2027	18,956	3,269.69	6,391.22	9,660.90
2028	23,333	4,044.20	7,820.45	11,864.65
2029	27,710	4,825.03	9,230.70	14,055.72
2030	32,087	5,612.09	10,622.22	16,234.31
2031	37,889	6,650.38	12,445.70	19,096.08
2032	42,530	7,502.33	13,897.47	21,399.80

Emisiones CO ₂ -eq No VIS (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2033	46,332	8,194.96	15,082.26	23,277.22
2034	50,131	8,856.78	16,257.24	25,114.02
2035	53,932	9,517.68	17,424.22	26,941.90
2036	56,765	10,013.67	18,296.21	28,309.88
2037	59,595	10,508.35	19,161.26	29,669.61
2038	62,426	11,002.53	20,001.85	31,004.38
2039	64,958	11,446.06	20,727.56	32,173.62
2040	67,490	11,889.08	21,444.77	33,333.85
2041	70,022	12,329.92	22,147.47	34,477.39
2042	72,438	12,749.62	22,804.30	35,553.93
2043	73,866	13,006.83	23,184.72	36,191.55
2044	75,293	13,262.99	23,557.18	36,820.16
2045	76,718	13,517.95	23,921.50	37,439.45
2046	78,145	13,772.49	24,279.01	38,051.49
2047	79,570	14,025.92	24,628.67	38,654.60
2048	80,997	14,279.02	24,971.88	39,250.90
2049	80,998	14,309.77	24,972.06	39,281.82
2050	80,998	14,340.93	24,972.06	39,312.99

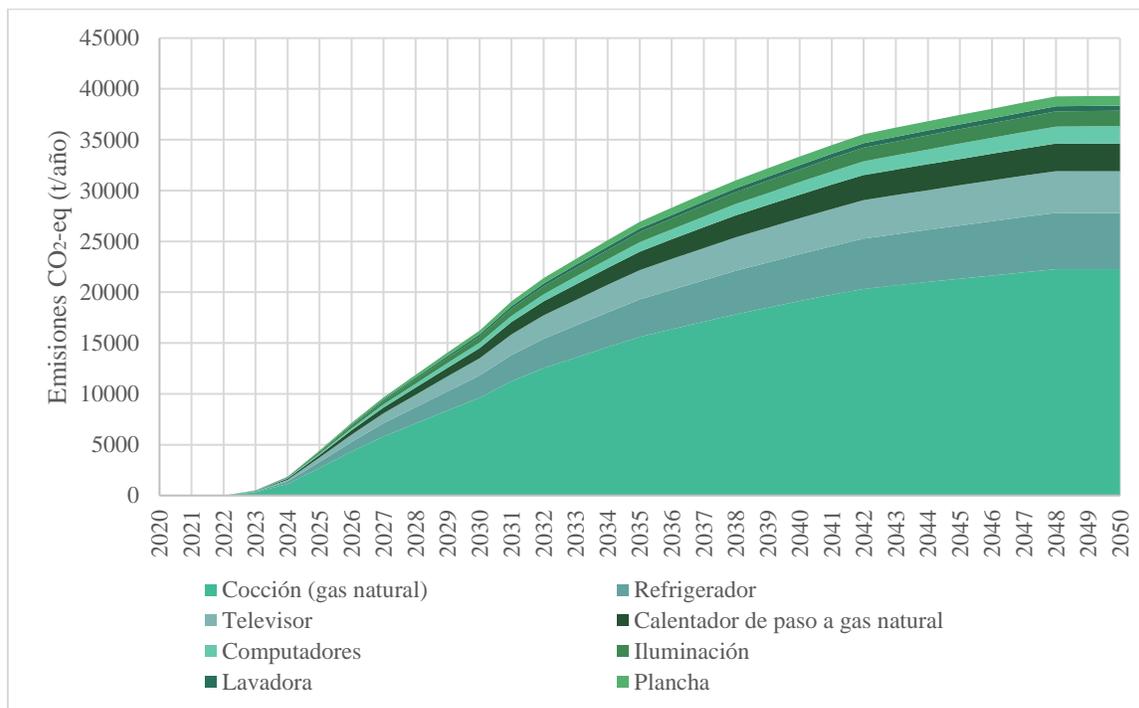


Figura 80. Línea base de emisiones por operación de equipos domésticos bajo el escenario moderado de tamaño del hogar (No VIS)

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

En la Tabla 52 se presenta el flujo de entregas de vivienda No VIS y las emisiones de CO₂-eq. asociadas a la operación de ese *stock*, desagregadas entre gas natural y electricidad. Adicionalmente, la Figura 81 presenta el comportamiento de la línea base de emisiones en el tiempo, y el aporte de cada equipo doméstico a esta.

Tabla 52. Emisiones asociadas a la operación de vivienda bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar

Emisiones CO₂-eq No VIS (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	969	168.20	356.44	524.64
2024	3589	629.96	1,322.64	1,952.60
2025	8639	1,533.26	3,189.75	4,723.01
2026	13987	2,508.28	5,173.62	7,681.91
2027	18956	3,430.62	7,023.76	10,454.39
2028	23333	4,261.32	8,660.59	12,921.90
2029	27710	5,106.44	10,303.05	15,409.50
2030	32087	5,966.14	11,951.12	17,917.26
2031	37889	7,107.56	14,136.53	21,244.09
2032	42530	8,051.03	15,896.46	23,947.48
2033	46332	8,822.84	17,349.04	26,171.88
2034	50131	9,563.93	18,806.26	28,370.19
2035	53932	10,308.44	20,270.17	30,578.61
2036	56765	10,870.67	21,375.69	32,246.36
2037	59595	11,434.79	22,484.89	33,919.69
2038	62426	12,001.66	23,577.01	35,578.67
2039	64958	12,513.51	24,533.30	37,046.81
2040	67490	13,027.79	25,489.58	38,517.38
2041	70022	13,544.59	26,445.87	39,990.45
2042	72438	14,041.44	27,358.34	41,399.78
2043	73866	14,348.90	27,897.67	42,246.57
2044	75293	14,657.93	28,436.61	43,094.55
2045	76718	14,968.36	28,974.81	43,943.17
2046	78145	15,281.05	29,513.76	44,794.80
2047	79570	15,595.23	30,051.95	45,647.17
2048	80997	15,911.73	30,590.90	46,502.62
2049	80998	15,949.42	30,591.27	46,540.69
2050	80998	15,987.60	30,591.27	46,578.87

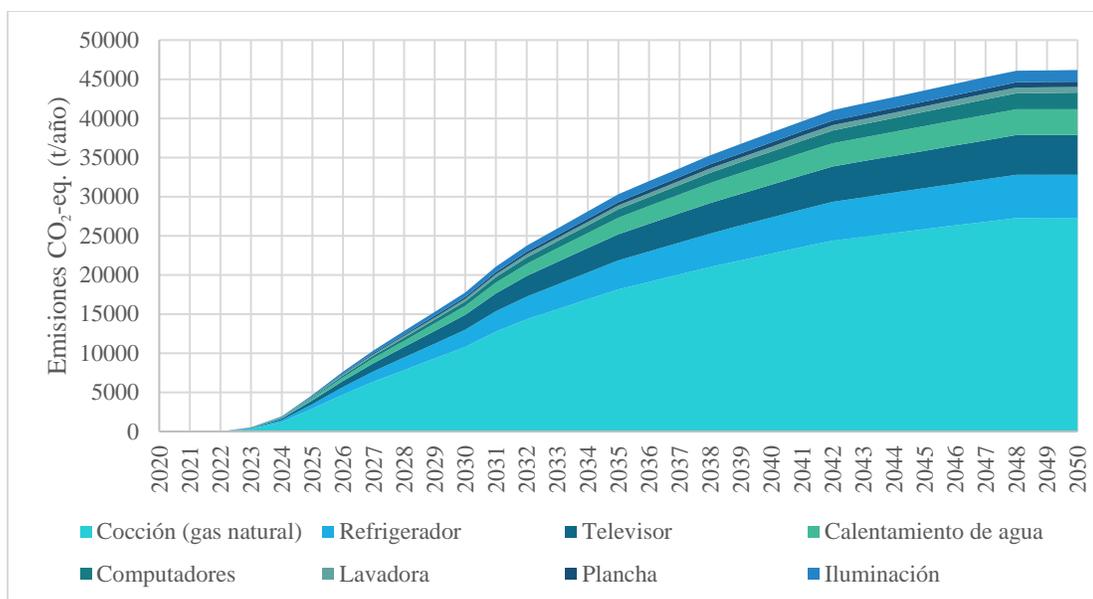


Figura 81. Línea base de emisiones por operación de equipos domésticos bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar (No VIS)

Totales operación residencial

Finalmente, para tener un diagnóstico de la línea base de emisiones de la operación de vivienda en Lagos de Torca para el periodo 2020 – 2050, bajo los escenarios definidos en este estudio, se compilan los resultados presentados anteriormente para el total de las viviendas operativas en el proyecto de desarrollo para cada año.

- Escenario “moderado” del tamaño del hogar

Tabla 53. Emisiones asociadas a la operación del total de vivienda de Lagos de Torca, bajo el escenario moderado de tamaño del hogar

Emisiones CO ₂ -eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	1,615	337.37	620.42	957.79
2024	5,981	1,254.70	2,272.32	3,527.03
2025	14,397	3,032.66	5,408.65	8,441.31
2026	23,311	4,932.94	8,682.31	13,615.25
2027	31,592	6,711.77	11,680.19	18,391.96
2028	38,887	8,296.84	14,284.76	22,581.60
2029	46,182	9,893.37	16,851.97	26,745.34
2030	53,477	11,501.04	19,382.35	30,883.38
2031	63,149	13,623.36	22,698.71	36,322.07
2032	70,884	15,359.61	25,332.78	40,692.39

2033	77,220	16,775.48	27,477.10	44,252.58
2034	83,553	18,140.75	29,601.76	47,742.51
2035	89,886	19,504.72	31,707.92	51,212.64
2036	94,607	20,531.18	33,275.39	53,806.57
2037	99,325	21,556.75	34,828.96	56,385.71
2038	104,042	22,574.61	36,345.27	58,919.88
2039	108,262	23,480.96	37,663.98	61,144.94
2040	112,482	24,385.99	38,967.25	63,353.24
2041	116,702	25,286.58	40,244.14	65,530.72
2042	120,730	26,143.98	41,438.20	67,582.18
2043	123,110	26,665.34	42,129.46	68,794.81
2044	125,487	27,184.06	42,805.75	69,989.81
2045	127,864	27,701.20	43,468.53	71,169.73
2046	130,241	28,216.39	44,117.66	72,334.05
2047	132,618	28,730.16	44,753.81	73,483.97
2048	134,995	29,242.17	45,376.95	74,619.12
2049	134,998	29,293.87	45,377.77	74,671.64
2050	134,998	29,345.82	45,377.77	74,723.58

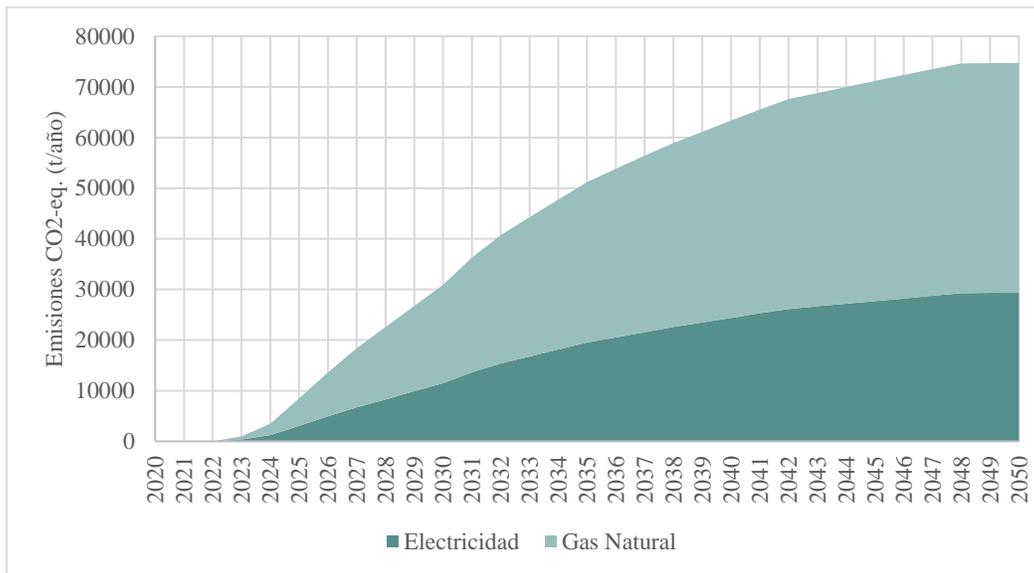


Figura 82. Línea base de emisiones de la operación del total de la vivienda entregada en Lagos de Torca, bajo el escenario moderado del tamaño del hogar

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

Tabla 54. Emisiones asociadas a la operación del total de vivienda de Lagos de Torca, bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar

Emisiones CO ₂ -eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00

2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	1615	345.15	652.89	998.04
2024	5981	1,291.08	2,420.98	3,712.06
2025	14397	3,139.24	5,835.29	8,974.53
2026	23311	5,130.93	9,460.12	14,591.05
2027	31592	7,010.83	12,836.19	19,847.02
2028	38887	8,700.19	15,819.35	24,519.54
2029	46182	10,416.03	18,809.71	29,225.75
2030	53477	12,158.42	21,807.20	33,965.62
2031	63149	14,472.06	25,782.48	40,254.54
2032	70884	16,377.96	28,976.60	45,354.55
2033	77220	17,941.11	31,606.76	49,547.87
2034	83553	19,454.84	34,243.12	53,697.96
2035	89886	20,975.60	36,886.86	57,862.46
2036	94607	22,126.86	38,876.05	61,002.90
2037	99325	23,283.48	40,870.26	64,153.74
2038	104042	24,437.42	42,841.69	67,279.10
2039	108262	25,470.39	44,579.37	70,049.77
2040	112482	26,507.41	46,317.06	72,824.47
2041	116702	27,548.60	48,054.75	75,603.35
2042	120730	28,548.75	49,713.44	78,262.18
2043	123110	29,162.65	50,693.45	79,856.11
2044	125487	29,778.66	51,672.18	81,450.84
2045	127864	30,397.90	52,651.06	83,048.96
2046	130241	31,020.01	53,629.78	84,649.79
2047	132618	31,645.49	54,608.67	86,254.16
2048	134995	32,273.96	55,587.39	87,861.35
2049	134998	32,337.29	55,588.69	87,925.98
2050	134998	32,400.92	55,588.69	87,989.60

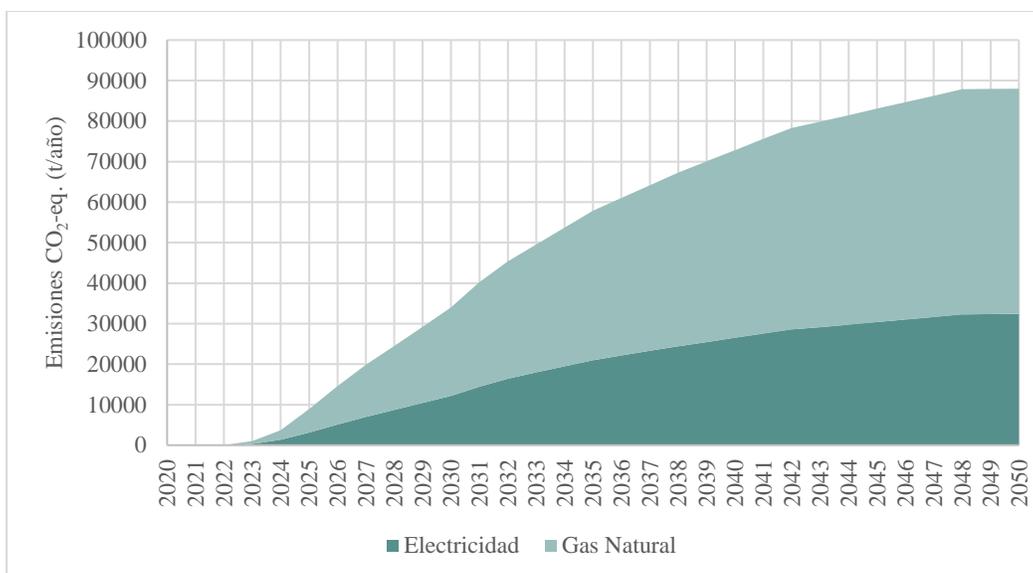


Figura 83. Línea base de emisiones de la operación del total de la vivienda entregada en Lagos de Torca, bajo el escenario moderado del tamaño del hogar

De estos resultados se evidencia que, bajo el escenario propuesto, la consideración de la reducción del tamaño del hogar en el tiempo (del escenario moderado de tamaño del hogar) representa una reducción en los consumos y por ende en las emisiones asociadas a la operación al total de la vivienda, al compararse con las emisiones obtenidas del escenario de saturación del tamaño del hogar. Esta diferencia en la línea base de emisiones obtenida para la operación de vivienda en Lagos de Torca es superior a 13,000 tCO₂-eq. para el año 2050 cuando se tiene el total del desarrollo de la vivienda del proyecto.

Escenario de confort

- Escenario “moderado” de tamaño del hogar

En esta sección se agregan las emisiones de CO₂-eq del sector vivienda, asociadas al consumo de energía en la operación del sistema de calefacción bajo un escenario de confort térmico. Para la definición de esta nueva línea base de confort se partió de la línea base de emisiones asociadas a la operación de electrodomésticos bajo el escenario moderado de tamaño del hogar, para luego sumar las emisiones provenientes del consumo de electricidad por la calefacción. La Tabla 55 presenta el total de las emisiones cuantificadas según lo descrito, discriminando entre los dos energéticos considerados. Asimismo, la Figura 84 presenta el comportamiento de la línea base de emisiones por equipos domésticos y la línea base de emisiones de confort.

Tabla 55. Emisiones asociadas al sector residencial bajo escenario moderado y escenario de confort

Emisiones CO ₂ -eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	1,615	1,933	620	2,554

Emisiones CO₂-eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2024	5,981	7,165	2,272	9,437
2025	14,397	17,259	5,408	22,668
2026	23,311	27,968	8,682	36,651
2027	31,592	37,930	11,680	49,610
2028	38,887	46,724	14,284	61,009
2029	46,182	55,529	16,851	72,381
2030	53,477	64,346	19,382	83,728
2031	63,149	76,026	22,698	98,725
2032	70,884	85,406	25,332	110,738
2033	77,220	93,083	27,477	120,560
2034	83,553	100,706	29,601	130,308
2035	89,886	108,328	31,707	140,036
2036	94,607	114,020	33,275	147,295
2037	99,325	119,708	34,828	154,536
2038	104,042	125,387	36,345	161,732
2039	108,262	130,463	37,663	168,127
2040	112,482	135,538	38,967	174,505
2041	116,702	140,609	40,244	180,853
2042	120,730	145,447	41,438	186,885
2043	123,110	148,320	42,129	190,449
2044	125,487	151,188	42,805	193,993
2045	127,864	154,054	43,468	197,522
2046	130,241	156,918	44,117	201,035
2047	132,618	159,780	44,753	204,534
2048	134,995	162,641	45,376	208,018
2049	134,998	162,696	45,377	208,074
2050	134,998	162,748	45,377	208,126

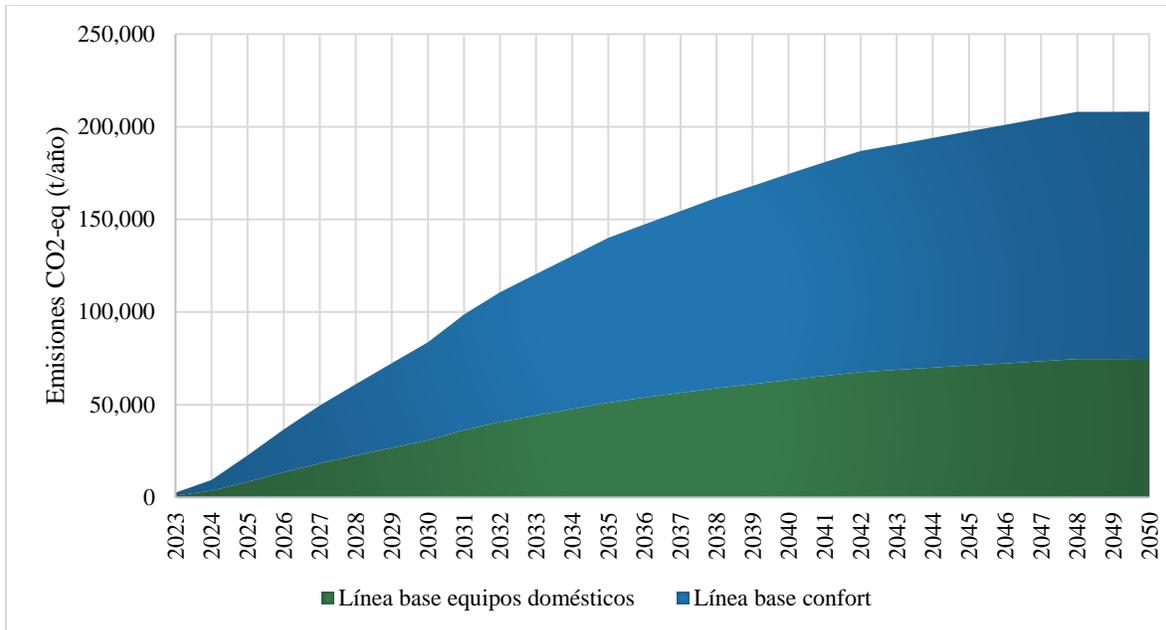


Figura 84. Emisiones asociadas al sector residencial bajo escenario moderado y escenario de confort

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

En esta sección se agregan las emisiones de CO₂-eq del sector vivienda, asociadas al consumo de energía en la operación del sistema de calefacción bajo un escenario de confort térmico. Para la definición de esta nueva línea base de confort se partió de la línea base de emisiones asociadas a la operación de electrodomésticos bajo el escenario de saturación de tamaño del hogar, para luego sumar las emisiones provenientes del consumo de electricidad por la calefacción. La Tabla 56 presenta el total de las emisiones cuantificadas según lo descrito, discriminando entre los dos energéticos considerados. Asimismo, la Figura 85 presenta el comportamiento de la línea base de emisiones por equipos domésticos y la línea base de emisiones de confort.

Tabla 56. Emisiones asociadas al sector residencial bajo escenario de saturación y escenario de confort

Emisiones CO ₂ -eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2020	0	0.00	0.00	0.00
2021	0	0.00	0.00	0.00
2022	0	0.00	0.00	0.00
2023	1615	1,941	652	2,594
2024	5981	7,201	2,420	9,622
2025	14397	17,366	5,835	23,201
2026	23311	28,166	9,460	37,626
2027	31592	38,229	12,836	51,066
2028	38887	47,127	15,819	62,947
2029	46182	56,052	18,809	74,862
2030	53477	65,003	21,807	86,810

Emisiones CO ₂ -eq total (t/año)				
Año	Viviendas	Electricidad	Gas natural	Total
2031	63149	76,875	25,782	102,657
2032	70884	86,424	28,976	115,401
2033	77220	94,248	31,606	125,855
2034	83553	102,020	34,243	136,263
2035	89886	109,799	36,886	146,686
2036	94607	115,615	38,876	154,491
2037	99325	121,434	40,870	162,305
2038	104042	127,249	42,841	170,091
2039	108262	132,453	44,579	177,032
2040	112482	137,660	46,317	183,977
2041	116702	142,871	48,054	190,926
2042	120730	147,851	49,713	197,565
2043	123110	150,817	50,693	201,511
2044	125487	153,782	51,672	205,454
2045	127864	156,750	52,651	209,401
2046	130241	159,721	53,629	213,351
2047	132618	162,696	54,608	217,304
2048	134995	165,673	55,587	221,260
2049	134998	165,739	55,588	221,328
2050	134998	165,803	55,588	221,392

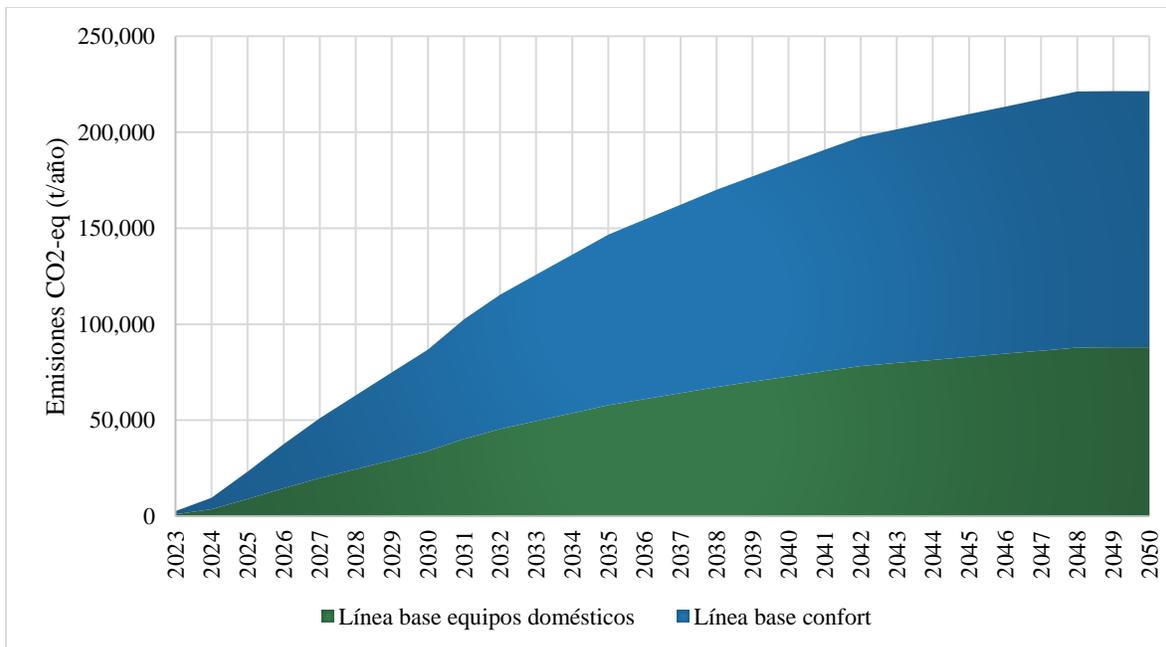


Figura 85. Emisiones asociadas al sector residencial bajo escenario de saturación y escenario de confort

Emisiones totales del sector

En esta sección se presentan las emisiones de CO₂-eq totales del sector. Se incluyen las emisiones asociadas tanto a la construcción como a la operación de las viviendas. En las Figuras Figura 86 y Figura 87 se

presentan las emisiones asociadas al escenario moderado del tamaño del hogar. En la primera figura (Figura 86) se grafican las emisiones del escenario base mientras que en la segunda (Figura 87) se grafican las del escenario de confort. Por otra parte, en las Figuras Figura 88Figura 89 se presentan las emisiones asociadas al escenario de saturación del tamaño del hogar. En la Figura 88 se presentan las emisiones del escenario base y en la Figura 89 las del escenario de confort.

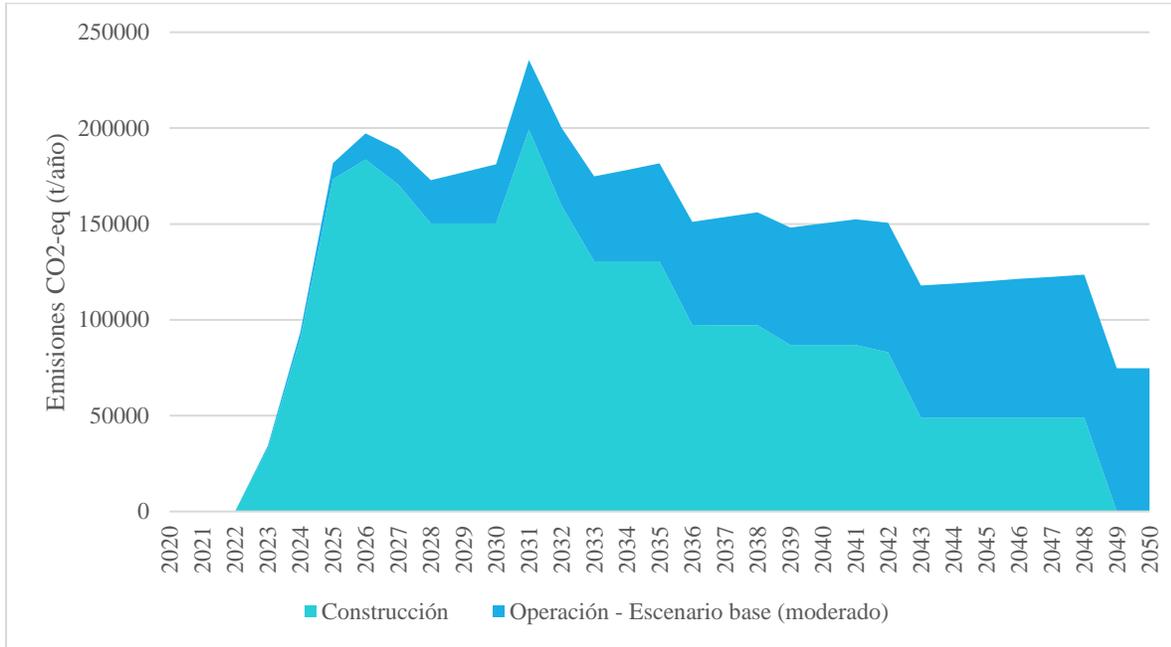
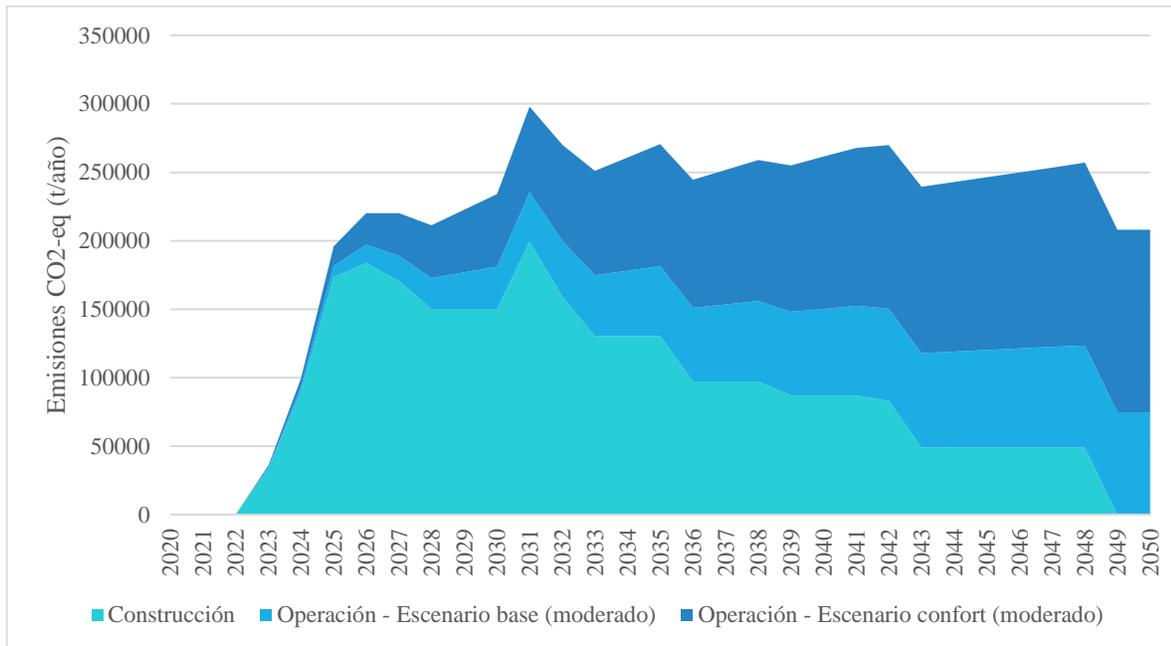


Figura 86. Emisiones asociadas a la totalidad del sector Edificaciones e Infraestructura Urbana – Escenario base (moderado)



87. Emisiones asociadas a la totalidad del sector Edificaciones e Infraestructura Urbana – Escenario confort (moderado)

Figura

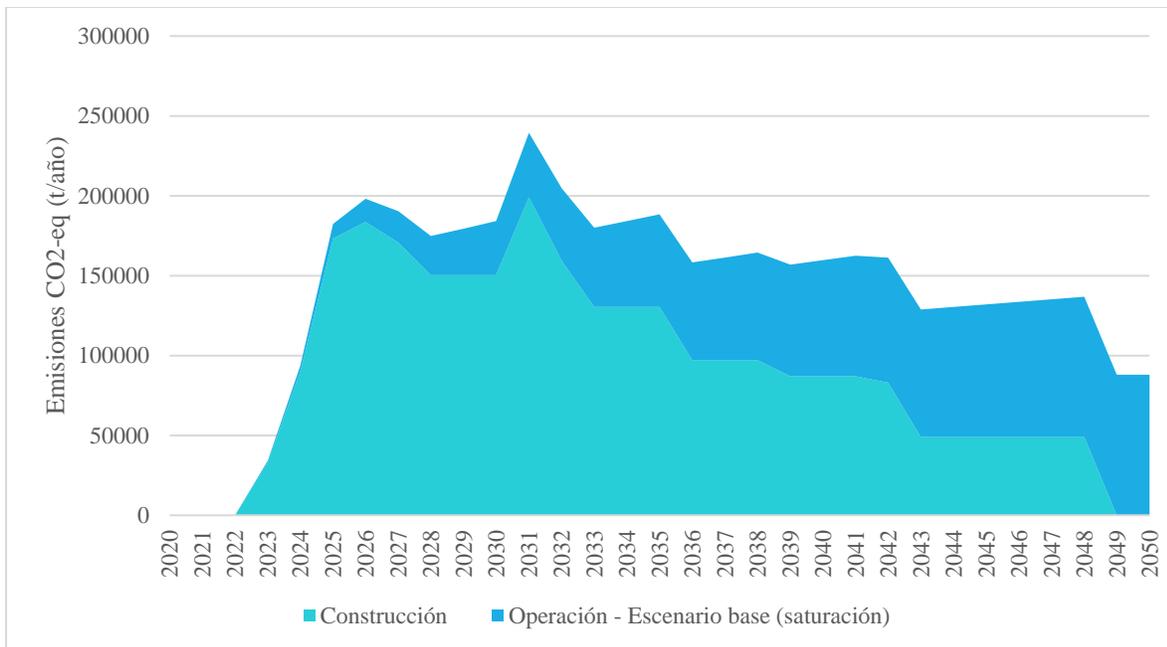


Figura 88. Emisiones asociadas a la totalidad del sector Edificaciones e Infraestructura Urbana – Escenario base (saturación)

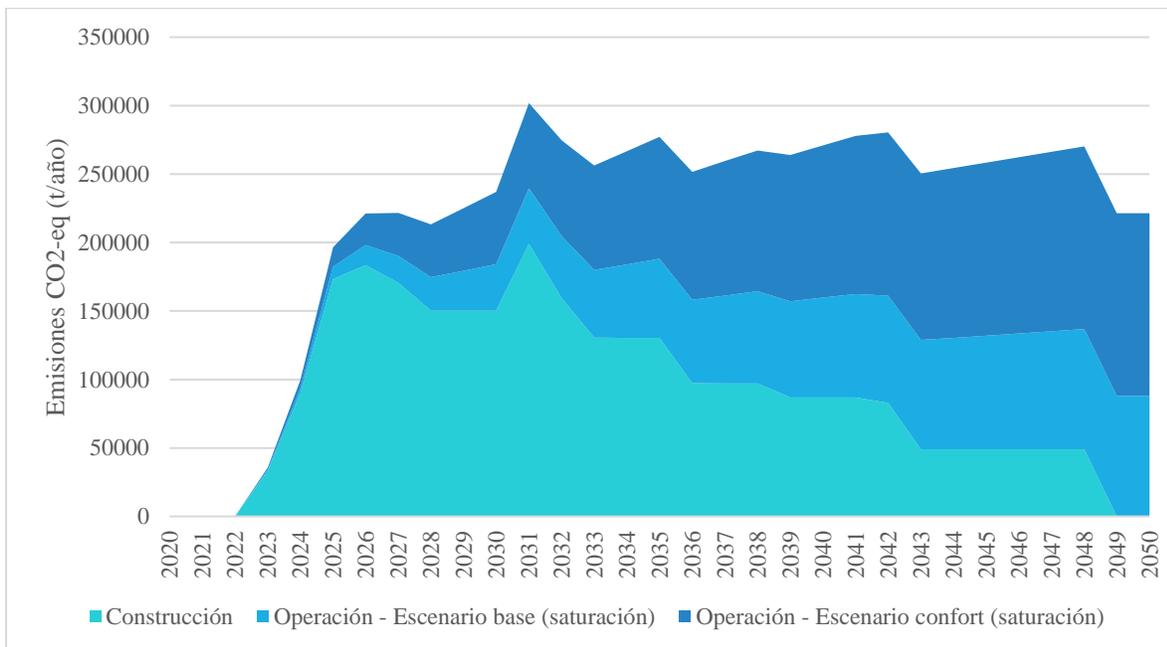


Figura 89. Emisiones asociadas a la totalidad del sector Edificaciones e Infraestructura Urbana – Escenario confort (saturación)

7.6.2. Medidas de mitigación y mejora

En esta sección se presentan tanto las medidas de mitigación y mejora como la formulación de recomendaciones generales respecto al proyecto urbano Lagos de Torca.

Medidas de mitigación emisiones embebidas

Dado que el proyecto Lagos de Torca no ha sido construido, todavía existe la posibilidad de implementar una mayor cantidad de medidas de mitigación desde el diseño y recopilar información fundamental para futuras investigaciones.

Medidas de mitigación y curvas de costos marginales de abatimiento

Las medidas de mitigación de GEI incluye una amplia gama de posibles acciones que permiten disminuir las emisiones. En el presente análisis se van a evaluar las mismas dos medidas planteadas para las viviendas de Ciudad Verde: el reemplazo del cemento por cenizas volantes y el reemplazo de ladrillos por bloques de tierra comprimida.

La implementación de estas dos medidas depende de su viabilidad: por un lado, la disponibilidad de cenizas volantes aptas, que puede ser limitada y, por otro lado, el reemplazo de los ladrillos que se circunscribe a tipologías que incluyan muros no estructurales de ladrillo. Debido a esto, se definen dos escenarios de implementación: un escenario ideal (escenario A), en el que el 80% de las edificaciones construidas durante el periodo de análisis implementan las medidas y otro escenario (escenario B), menos optimista, en el que solo el 40% de las edificaciones las implementan.

En la Figura 90 se presentan los cambios en la línea de emisiones al implementar cada una de las medidas de mitigación en el escenario A. Por otra parte, la Figura 91 ilustra el potencial de abatimiento.

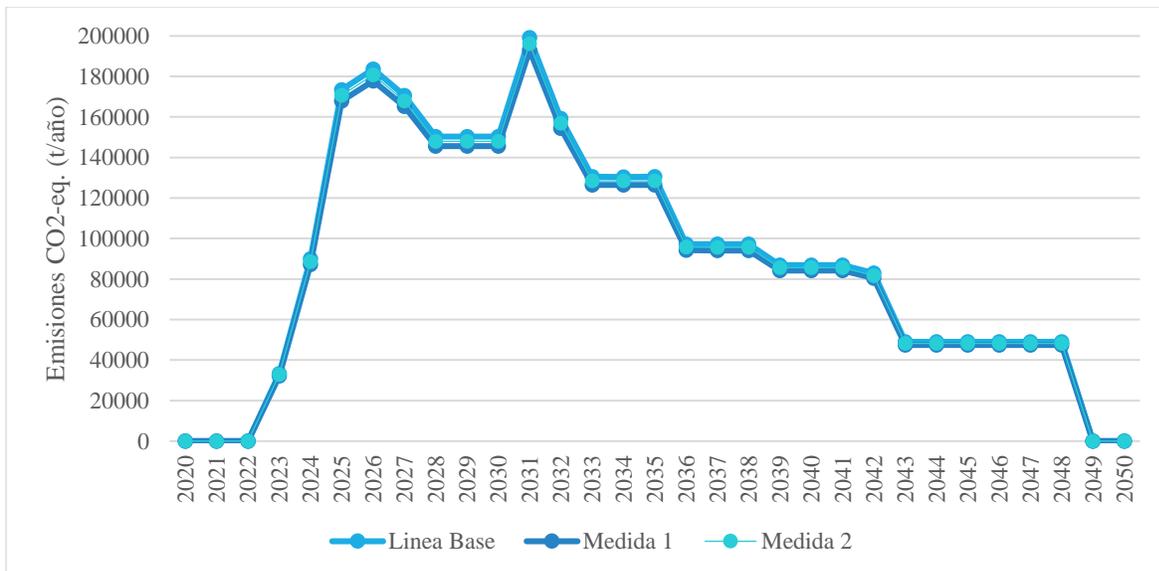


Figura 90. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida en el escenario A

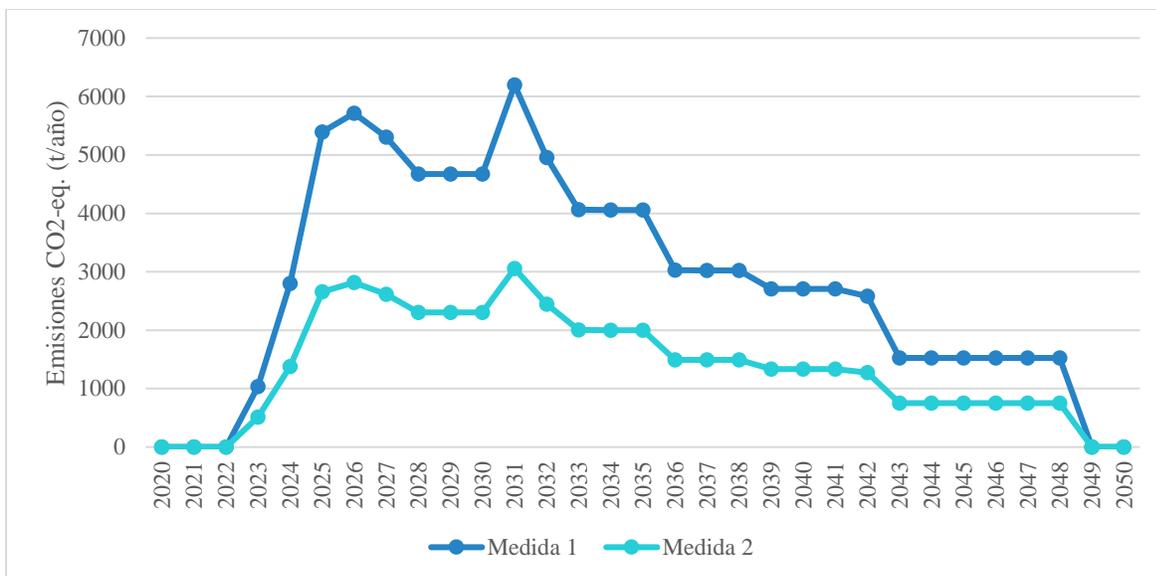


Figura 91. Abatimiento de emisiones por medida en el escenario A.

En la Figura 92 se presentan los cambios respecto a la línea base de las emisiones resultantes al implementar cada una de las medidas de mitigación en el escenario B. Por otra parte, la Figura 93 ilustra el potencial de abatimiento.

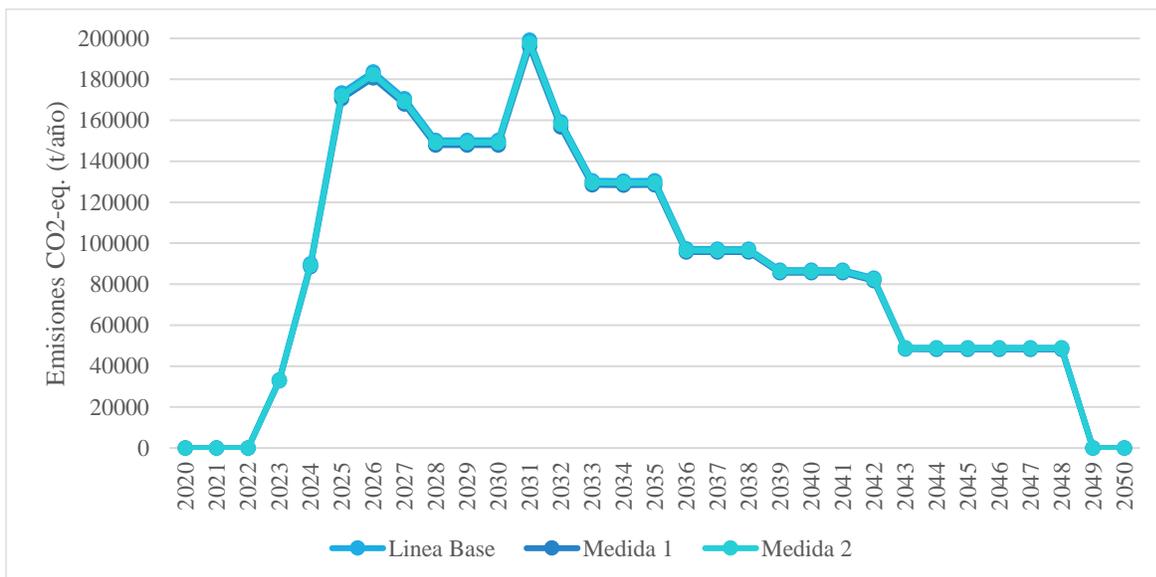


Figura 92. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida en el escenario B

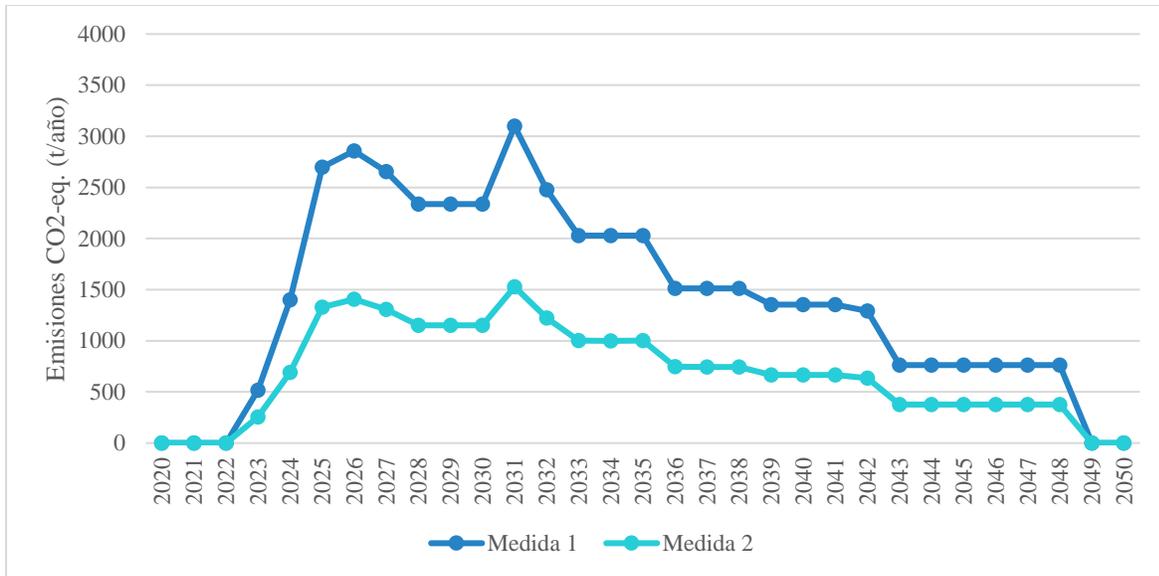


Figura 93. Abatimiento de emisiones por medida en el escenario B

Finalmente, para la evaluación de las medidas propuestas, se calculó la costo-eficiencia de cada una tanto para el escenario A como para el escenario B. Para ilustrar estos resultados se ensambló una curva MACC para cada escenario tal y como se presenta en la Figura 94 y la Figura 95.

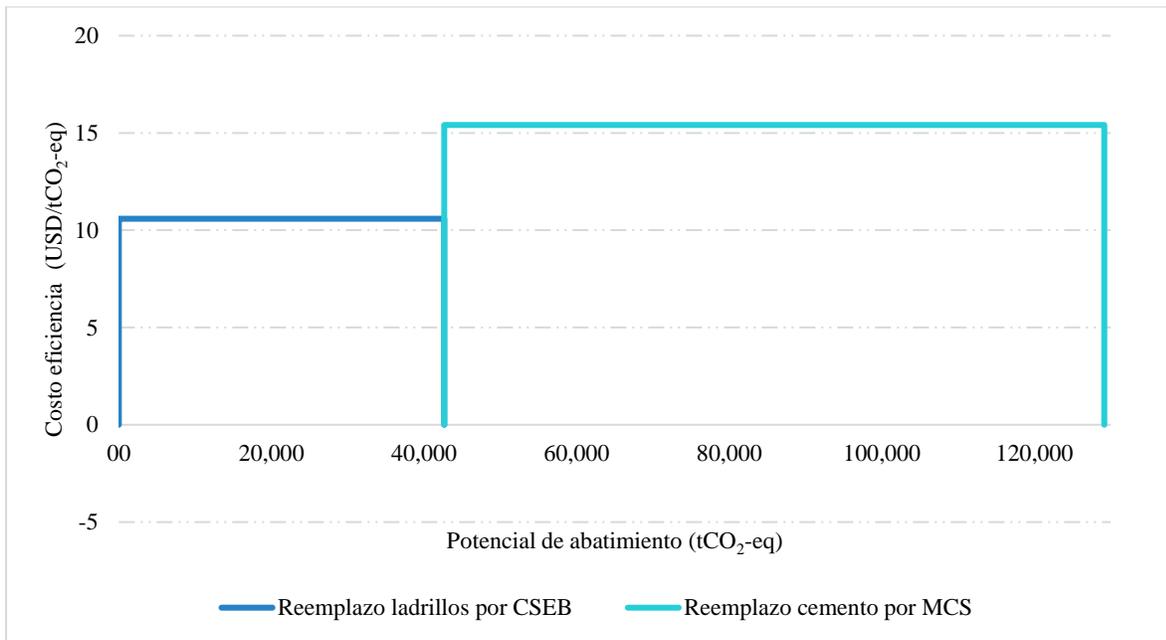


Figura 94. Curva de costos marginales de abatimiento para el carbono incorporado (escenario A)

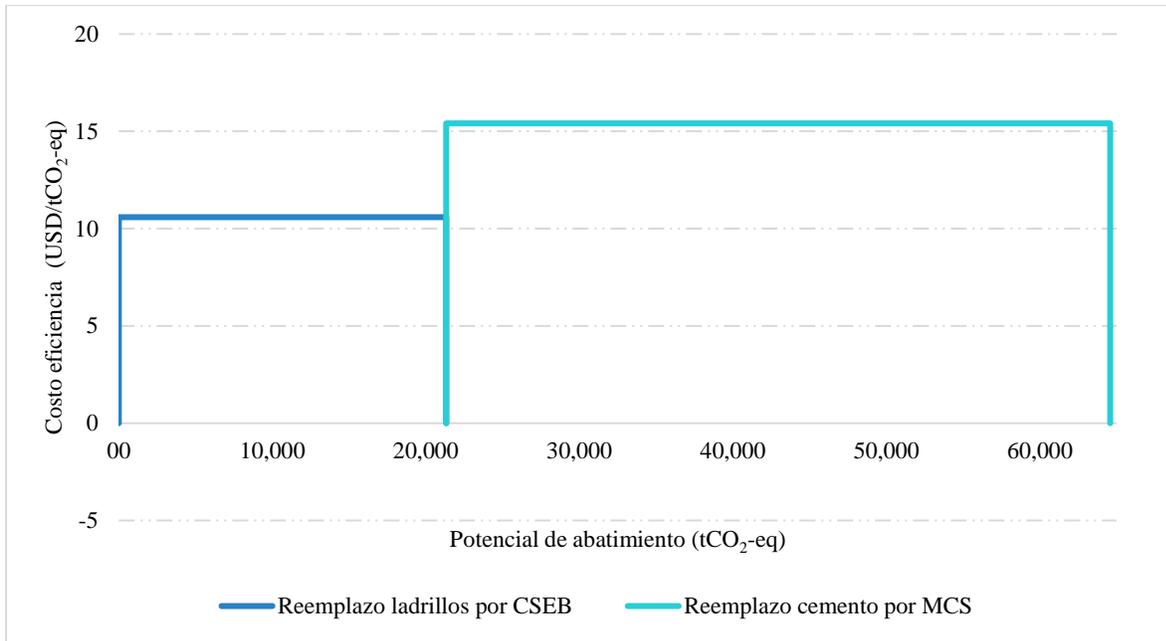


Figura 95. Curva de costos marginales de abatimiento para el carbono incorporado (escenario B)

Recomendaciones generales

Existen diferentes investigaciones internacionales enfocadas en catalogar información y en generar valores de referencia – benchmarks - respecto al carbono incorporado de las edificaciones [74]–[76]. Un estudio reciente publicado por el departamento de arquitectura de la Universidad de Washington evidencia algunos problemas que existen actualmente en este campo investigativo. Ese estudio destaca las grandes incertidumbres que hay respecto al inventario del ciclo de vida, a la metodología definida para el análisis de ciclo de vida, al alcance que se le da a la edificación y a la cantidad de información que se ha recopilado [77]. En Colombia se han realizado algunos estudios respecto al carbono embebido de las edificaciones [78]–[80], sin embargo, parecen repetirse los mismos problemas evidenciados en el estudio mencionado anteriormente, ya que no hay información clara disponible respecto a la metodología seguida o a la totalidad de factores incluidos que se deben abarcar dentro del análisis de la edificación, no hay información completa y certificada del impacto ambiental de cada uno de los materiales y no se cuenta con un número considerable de edificaciones estudiadas.

Dada la importancia que tienen las emisiones de GEI en esta etapa y que cada vez parece mejorar la eficiencia energética en la etapa operativa, resulta determinante poder analizar sistemáticamente el carbono incorporado de las edificaciones. Para lograr tal objetivo se requiere abordar los problemas mencionados anteriormente, definir una metodología y recolectar un número importante de datos relevantes. Debido a que el proyecto urbano Lagos de Torca planea construir un número importante de edificaciones y que además estas edificaciones no son homogéneas (a diferencia de como ocurre en Ciudad Verde, en donde la mayoría es VIP – VIS de 6 pisos), este proyecto presenta una excelente oportunidad, difícilmente repetible, para que se pueda recoger valiosa y amplia información respecto al carbono incorporado y al análisis del ciclo de vida de las edificaciones. La información recolectada debería ser lo más completa posible, aunque primordialmente se debe incluir: (1) cantidades de material utilizados en cimentación, estructura y muros; (2) consumo de recursos durante la construcción (combustibles, electricidad y agua); (3) generación de residuos; y (4) generación de desechos. De igual manera, resulta importante registrar buenas prácticas de

sostenibilidad en torno a la arquitectura, ingeniería, diseño urbano y a estrategias para la reducción del consumo de agua y de energía, entre otros.

Medidas de mitigación emisiones en operación

Para el abatimiento de emisiones en el escenario de operación residencial planteado para Lagos de Torca, se plantea la implementación de 3 medidas de reemplazo de equipos para VIS y VIP y 2 medidas para No VIS (Tabla 57). En los supuestos para la construcción de la línea base se consideró que en toda la vivienda la operación partiría con tecnología LED para iluminación y equipos de lavado eficientes, y adicionalmente en la vivienda No VIS contarían con refrigeradores eficientes desde el inicio de la operación. Por esta razón, solo se plantean medidas de mitigación para los usos de refrigeración (VIS y VIP), calentamiento de agua y cocción. La evaluación de estas medidas de mitigación se realizó para los dos escenarios de línea base planteados según la consideración de la variabilidad del tamaño del hogar.

Tabla 57. Medidas de mitigación propuestas para la operación residencial en Lagos de Torca

Tipo vivienda	Uso	Medida
VIS y VIP	Refrigeración	Reemplazo de equipos por refrigeradores con mayor eficiencia energética (ver Capítulo 6)
	Calentamiento de agua	Reemplazo de equipos (duchas eléctricas y calentadores de paso a gas) por calentadores de paso eléctricos (ver Capítulo 6)
	Cocción	Reemplazo de equipos existentes por estufas de inducción eléctricas (ver Capítulo 6)
No VIS	Calentamiento de agua	Reemplazo de equipos (duchas eléctricas y calentadores de paso a gas) por calentadores de paso eléctricos (ver Capítulo 6)
	Cocción	Reemplazo de equipos existentes por estufas de inducción eléctricas (ver Capítulo 6)

VIP y VIS

En las Figuras 96 y 98 se presentan los cambios en la línea de emisiones al implementar la serie de medidas propuestas para VIS y VIP bajo los escenarios moderado y de saturación del tamaño del hogar, respectivamente. De la misma forma, para estos dos escenarios, las Figuras 97 y 99 ilustran el potencial de abatimiento de cada una de las medidas para cada año en el periodo de estudio.

- Escenario “moderado” del tamaño del hogar

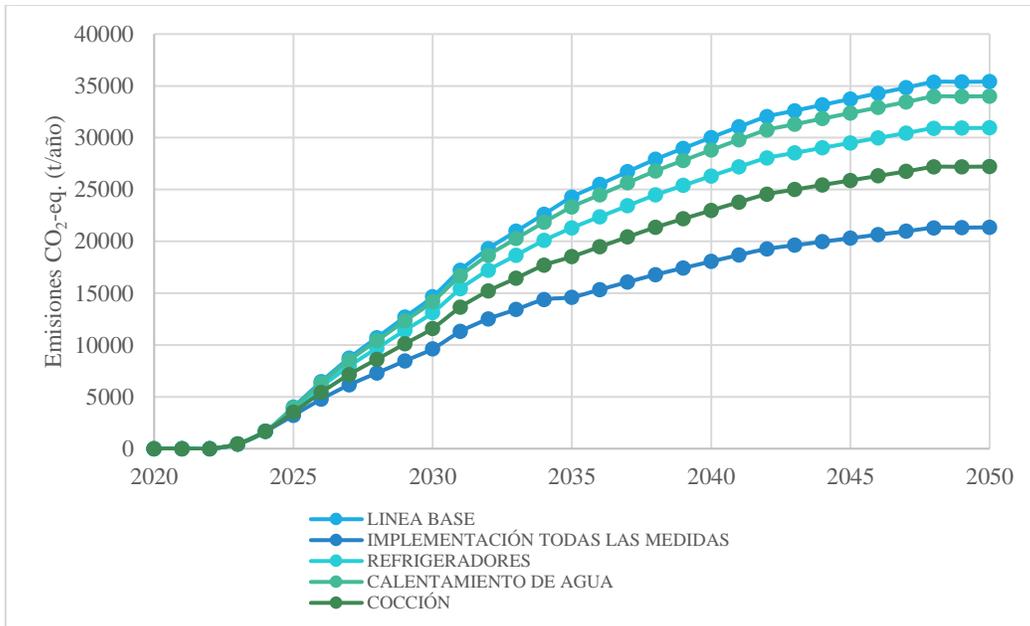


Figura 96. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida (VIS y VIP)

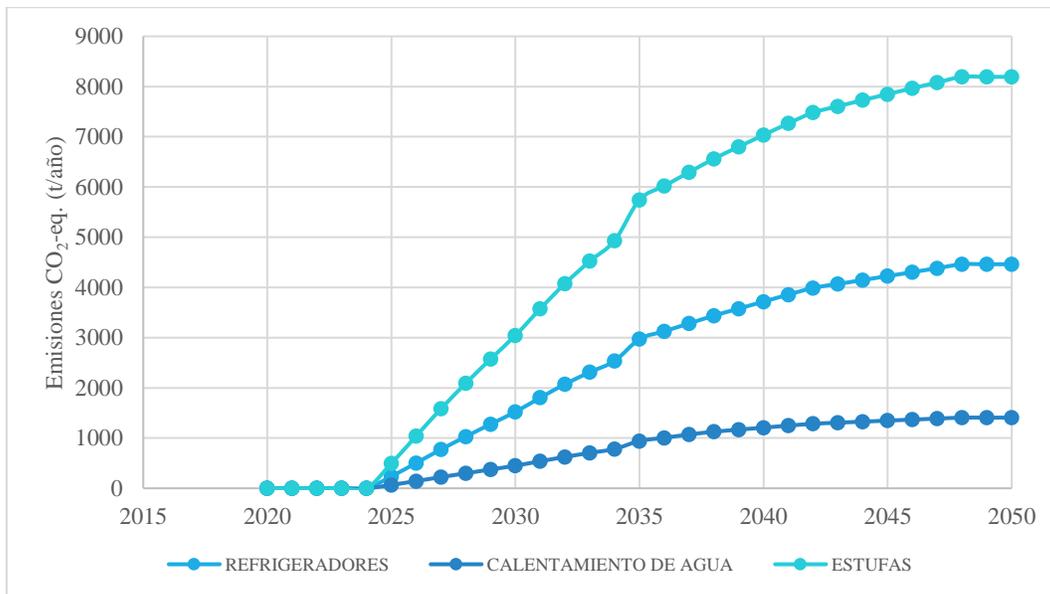


Figura 97. Abatimiento de emisiones por medida (VIS y VIP)

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

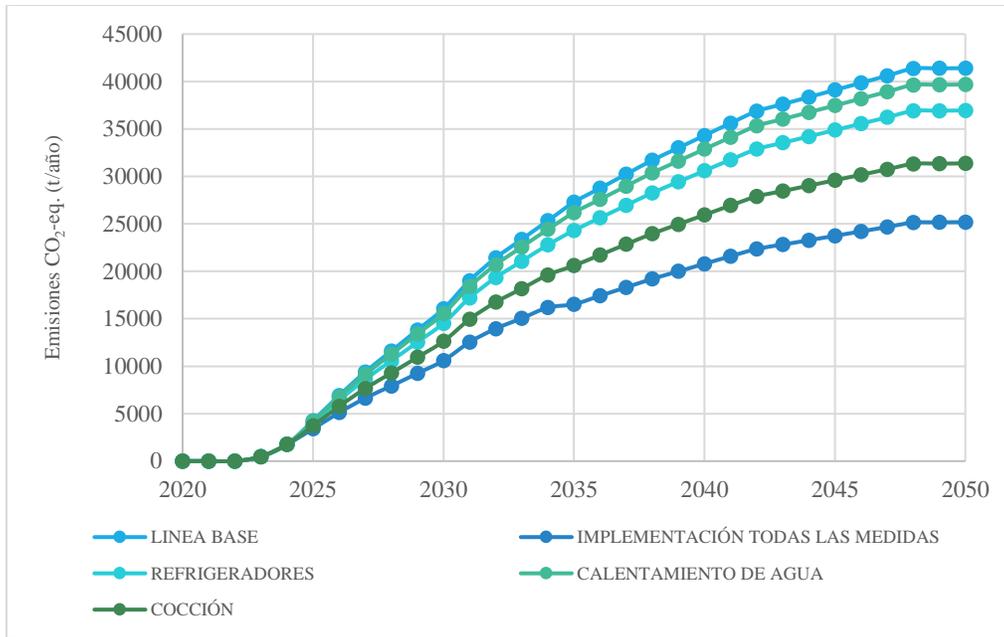


Figura 98. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida (VIS y VIP)

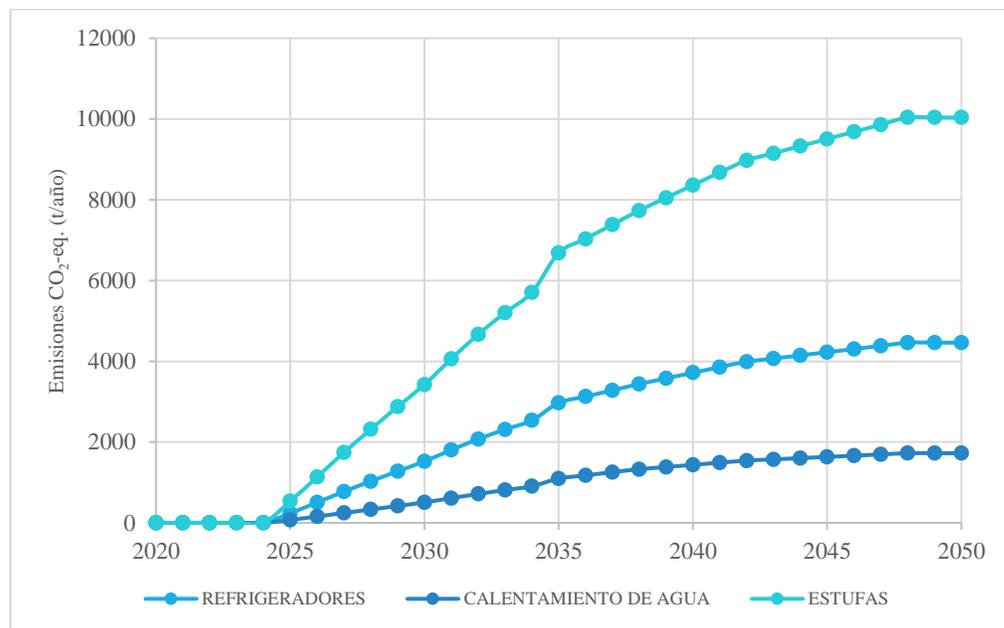


Figura 99. Abatimiento de emisiones por medida (VIP y VIS)

No VIS

En las Figuras 100 y 102 se presentan los cambios en la línea base de emisiones al implementar las medidas de mitigación propuestas de forma aislada y conjunta bajo los escenarios moderado y de saturación del tamaño del hogar, respectivamente. De la misma forma, para estos dos escenarios, las Figuras 101 y 103 ilustran el potencial de abatimiento de cada una de las medidas para cada año en el periodo de estudio.

- Escenario “moderado” del tamaño del hogar

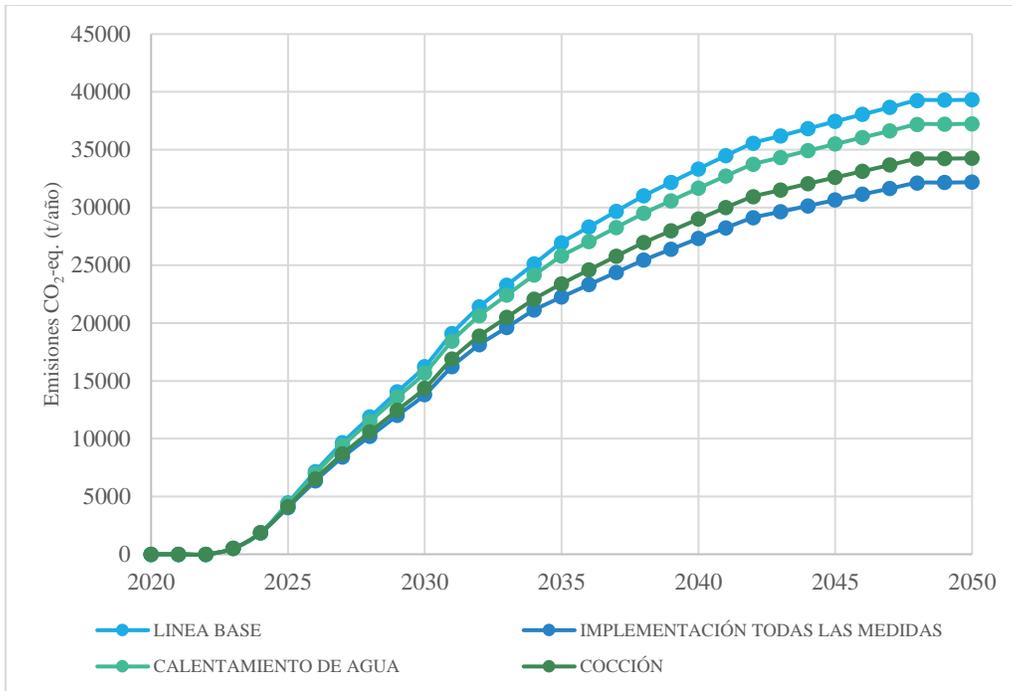


Figura 100. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida (No VIS)

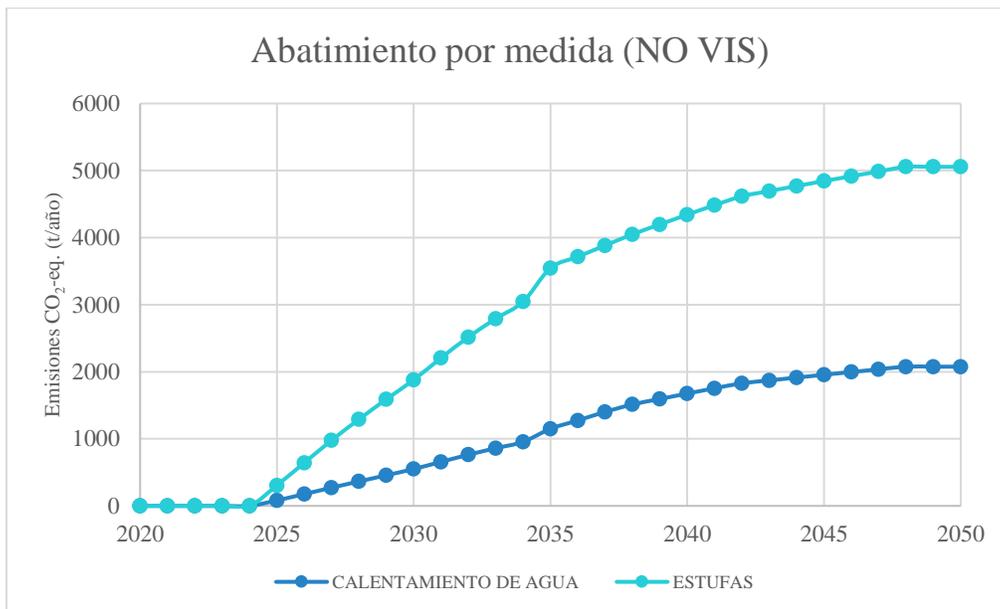


Figura 101. Abatimiento de emisiones por medida (No VIS)

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

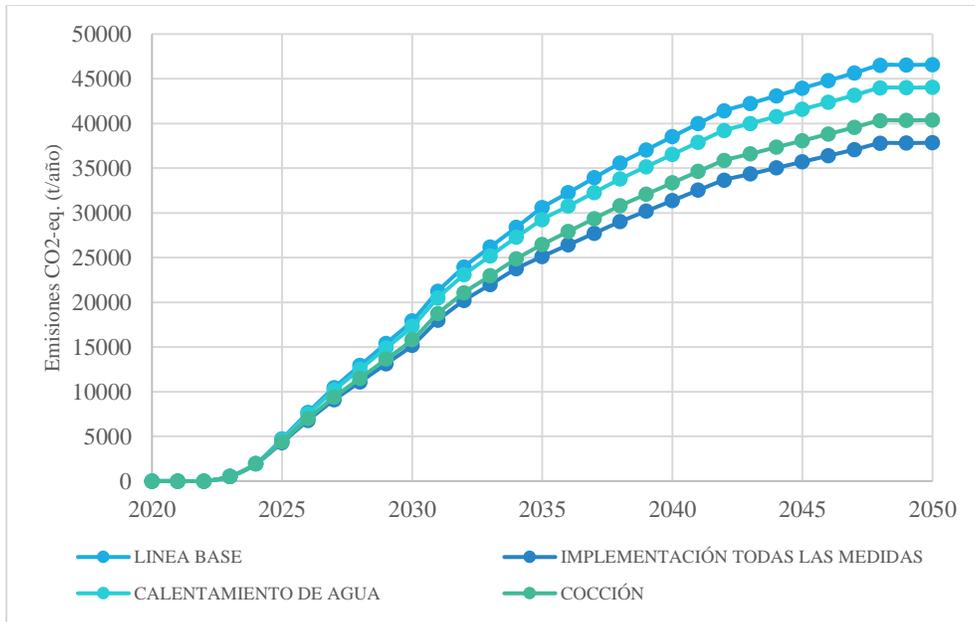


Figura 102. Curvas de emisiones para el caso de estudio según la aplicación de cada medida (No VIS)

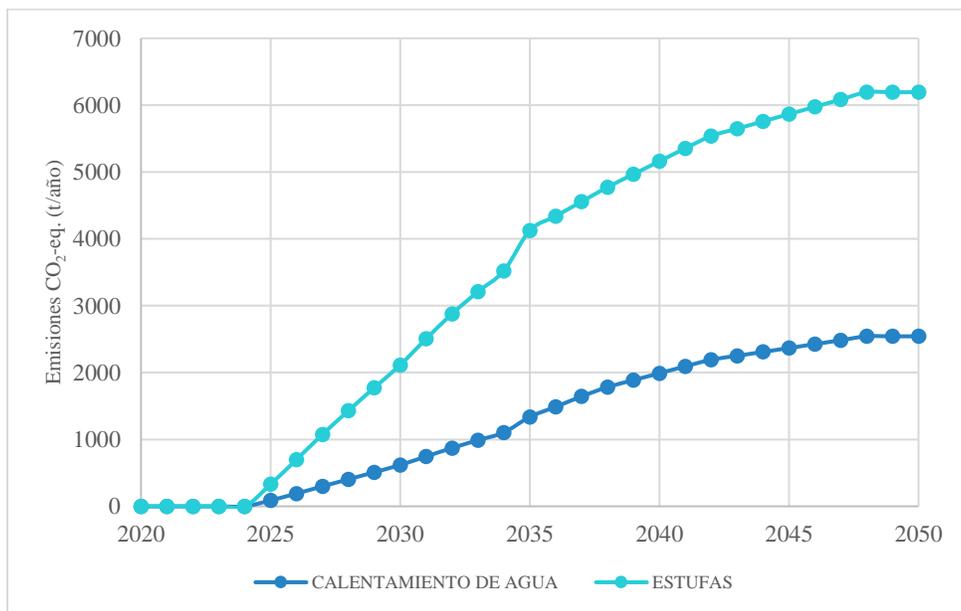


Figura 103. Abatimiento de emisiones por medida (No VIS)

Curvas de costos marginales de abatimiento

Finalmente, para la evaluación de las medidas propuestas, se calculó la costo-eficiencia de cada una para los dos escenarios de línea base y consumo sobre los que se implementaron. Para ilustrar estos resultados se ensambló una curva MACC para cada escenario, agrupando en la misma las medidas de vivienda No VIS y VIS y VIP.

- Escenario “moderado” del tamaño del hogar

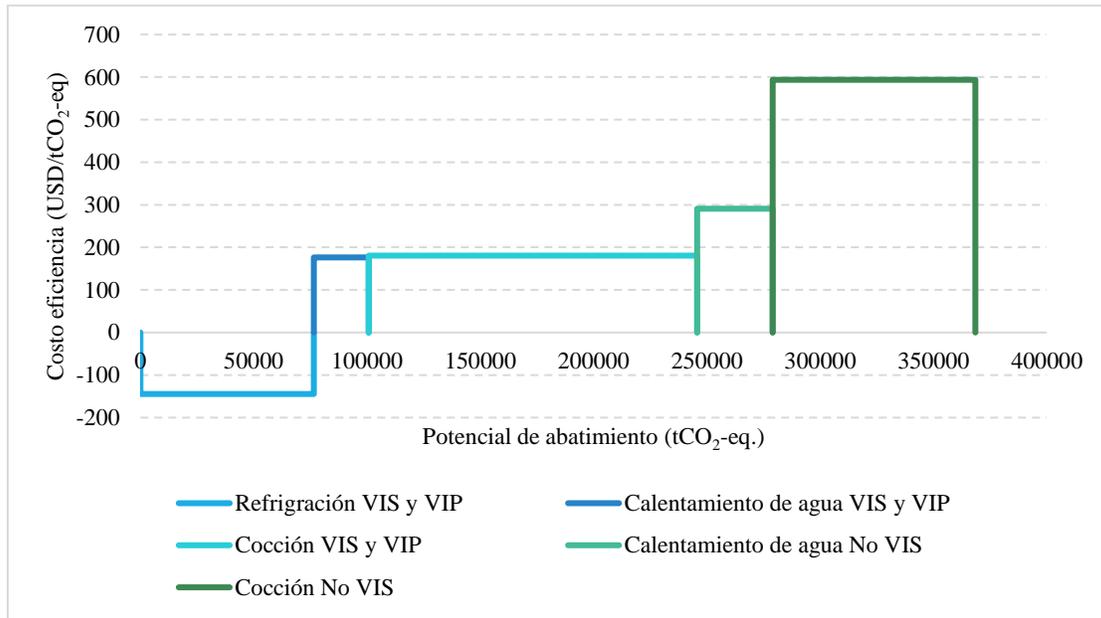


Figura 104. Curva de costos marginales de abatimiento para las medidas de operación residencial (Escenario moderado del tamaño del hogar)

Con la implementación de todas las medidas en este escenario se tiene un potencial de abatimiento total de 398,497 tCO₂-eq. Como se evidencia en la Figura 104, de este total, el abatimiento de 76,546 tCO₂-eq, correspondiente a la medida de remplazo de neveras en VIS y VIP, genera un ahorro monetario por cada tonelada de emisiones abatidas. El restante potencial abatimiento requiere de una inversión entre 176 y 595 dólares por cada tonelada de emisiones reducidas, según la medida que se desee implementar.

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

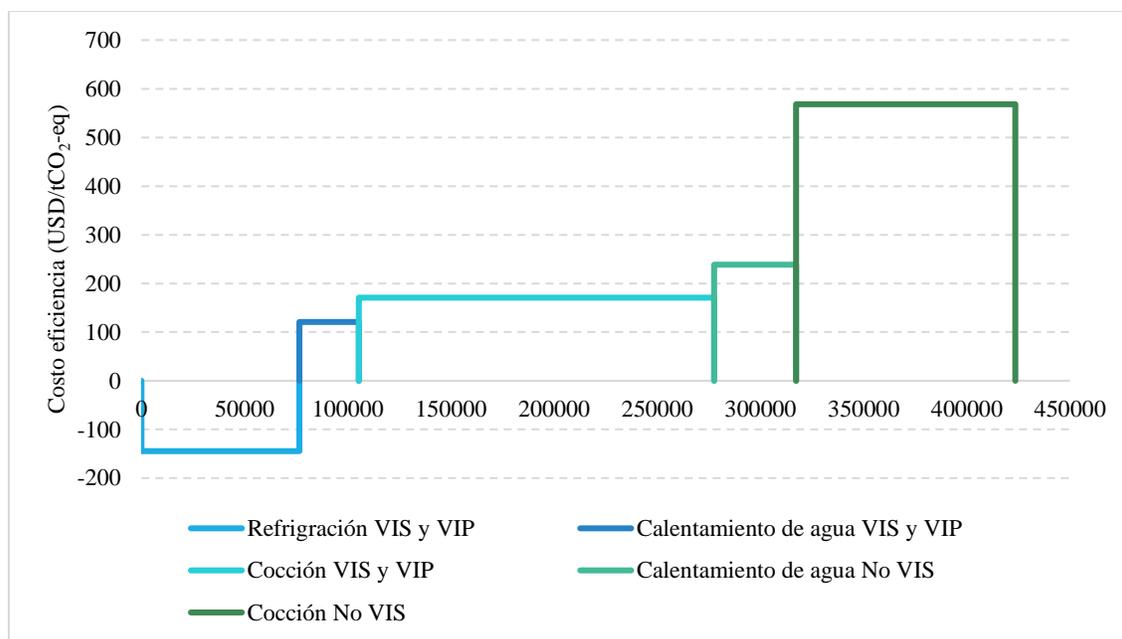


Figura 105. Curva de costos marginales de abatimiento para las medidas de operación residencial (Escenario de saturación del tamaño del hogar)

Con la implementación de todas las medidas en este escenario se tiene un potencial de abatimiento total de 423,573 tCO₂-eq. Como se evidencia en la Figura 105, del total presentado, el abatimiento de 76,546 tCO₂-eq corresponde a la medida de remplazo de neveras en VIS y VIP, que genera un ahorro monetario por cada tonelada de emisiones abatidas. El restante potencial abatimiento requiere de una inversión entre 121 y 568 dólares por cada tonelada de emisiones reducidas, según la medida que se desee implementar.

Al comparar los dos escenarios presentados, se evidencia que el comportamiento de las medidas de mitigación es similar. Debido a la variación de la línea base de emisiones y consumos entre los dos escenarios, el abatimiento presentado tiene una variación cercana a 30,000 tCO₂-eq. Sin embargo, en los dos escenarios las medidas conservan los mismos ordenes de magnitud tanto para el abatimiento como para la costo-eficiencia de la implementación de las medidas de mitigación propuestas.

Escenario de confort

- Escenario “moderado” del tamaño del hogar

En la Figura 106 se presenta la línea de emisiones para operación la operación de las viviendas bajo el escenario moderado del tamaño de hogar, comparando la línea base de confort con las potenciales emisiones generadas al implementar las medidas pasivas que efectivamente generan un ahorro en el consumo por calefacción. Los resultados de la implementación de estas medidas pasivas agrupadas en portafolios se presentan en la Figura 107.

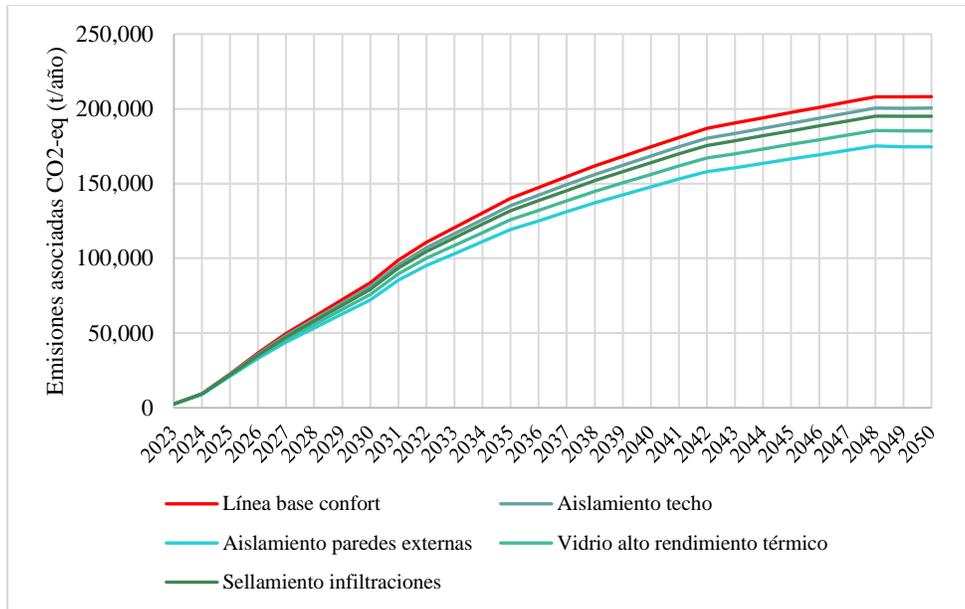


Figura 106. Mitigación de emisiones en sector residencial bajo escenario de confort por medida individual

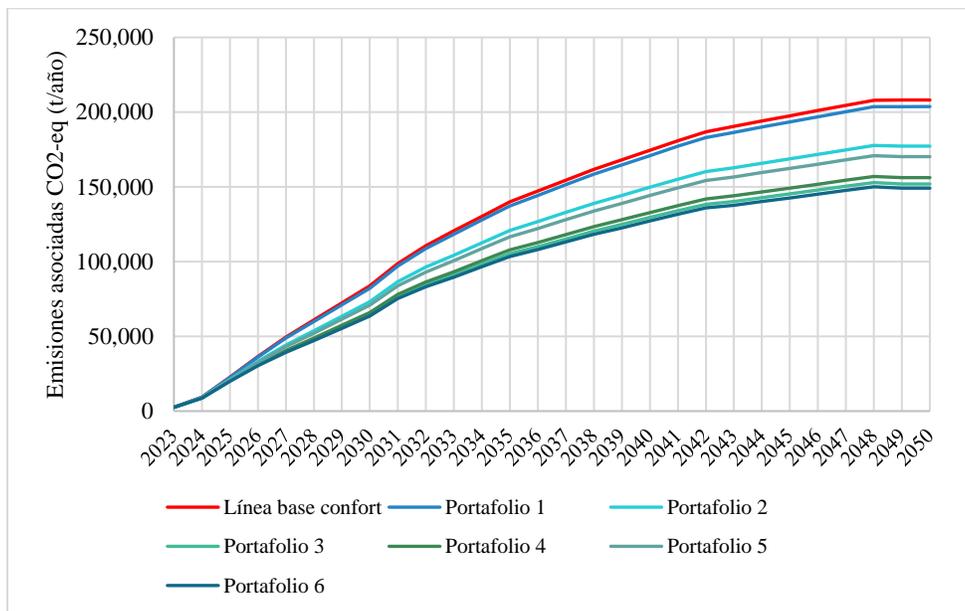


Figura 107. Mitigación de emisiones en sector residencial bajo escenario de confort por portafolio

Asimismo, el potencial de abatimiento para el escenario de confort se muestra en la Figura 108 para el caso de implementación individual de las medidas. La Figura 109 presenta los abatimientos para el caso de implementación por portafolios.

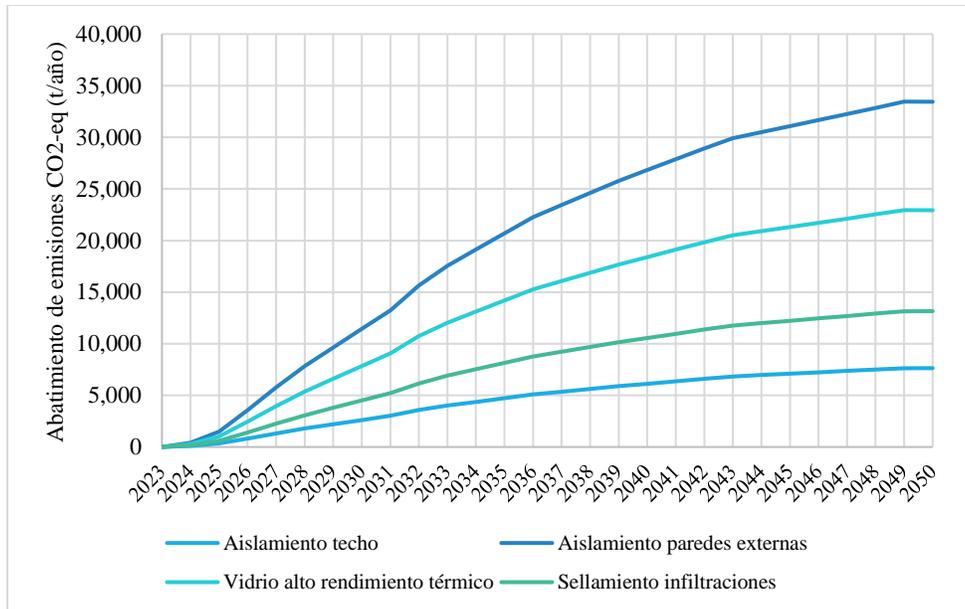


Figura 108. Potencial de abatimiento en sector residencial bajo escenario de confort por medida individual

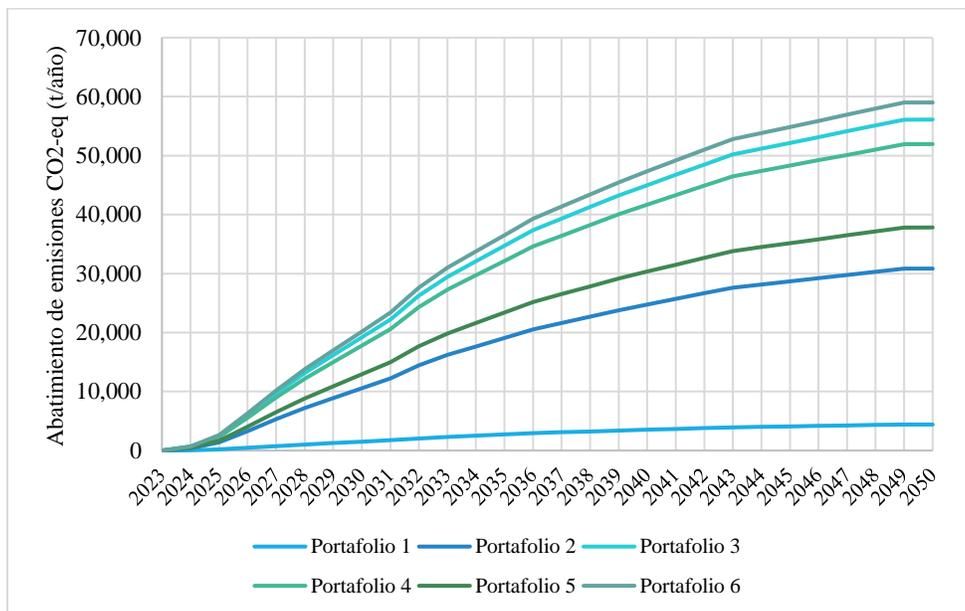


Figura 109. Potencial de abatimiento en sector residencial bajo escenario de confort por portafolio

Los resultados de costo-eficiencia junto con el abatimiento de cada medida se presentan en una curva de costos marginales. En la Figura 110 puede observarse la curva en el caso de implementación individual de las medidas y la Figura 111 presenta los resultados en el caso de implementación por portafolio. Como la línea base de confort incluye la implementación de calefacción, los costos asociados a este sistema mecanizado no se tienen en cuenta para el análisis de costo-efectividad.

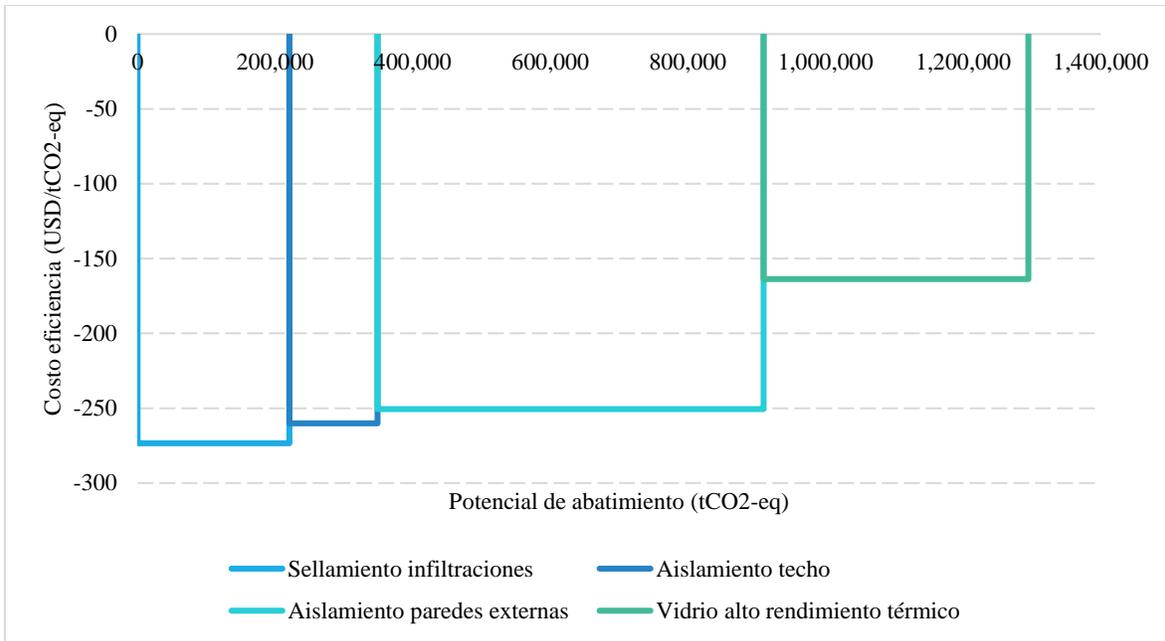


Figura 110. Curva de costos marginales de abatimiento para el sector residencial bajo escenario de confort por medida

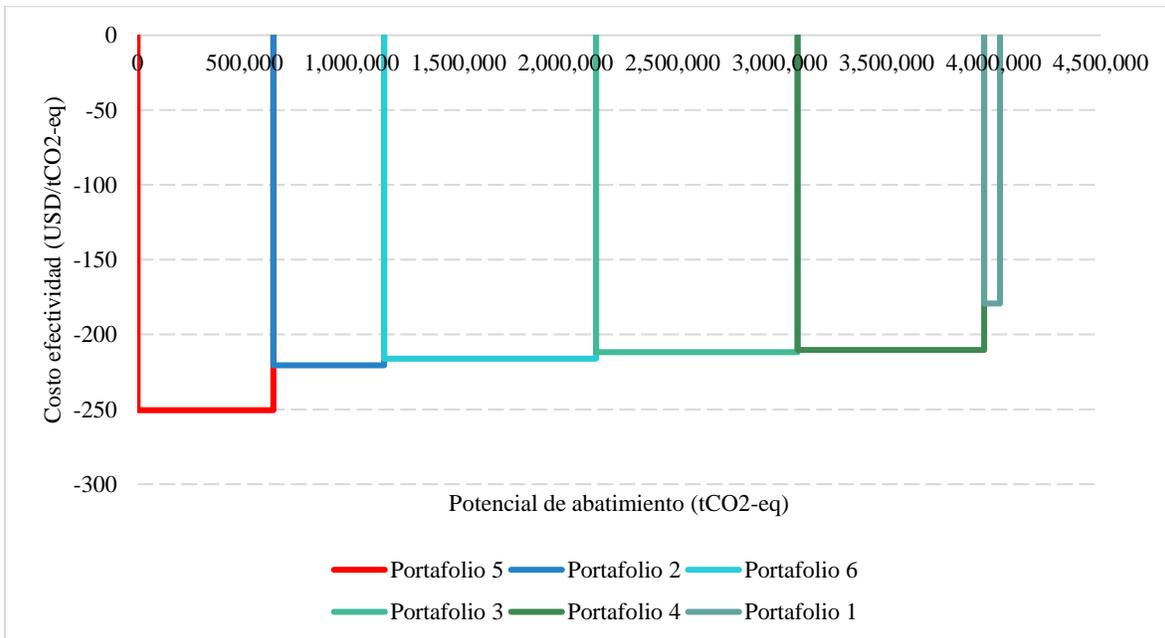


Figura 111. Curva de costos marginales de abatimiento para el sector residencial bajo escenario de confort por portafolio

- Escenario de “saturación” del tamaño del hogar

En la Figura 112 se presenta la línea de emisiones para operación la operación de las viviendas bajo el escenario moderado del tamaño de hogar, comparando la línea base de confort con las potenciales emisiones generadas al implementar las medidas pasivas que efectivamente generan un ahorro en el consumo por calefacción. Los resultados de la implementación de estas medidas pasivas agrupadas en portafolios se presentan en la Figura 113.

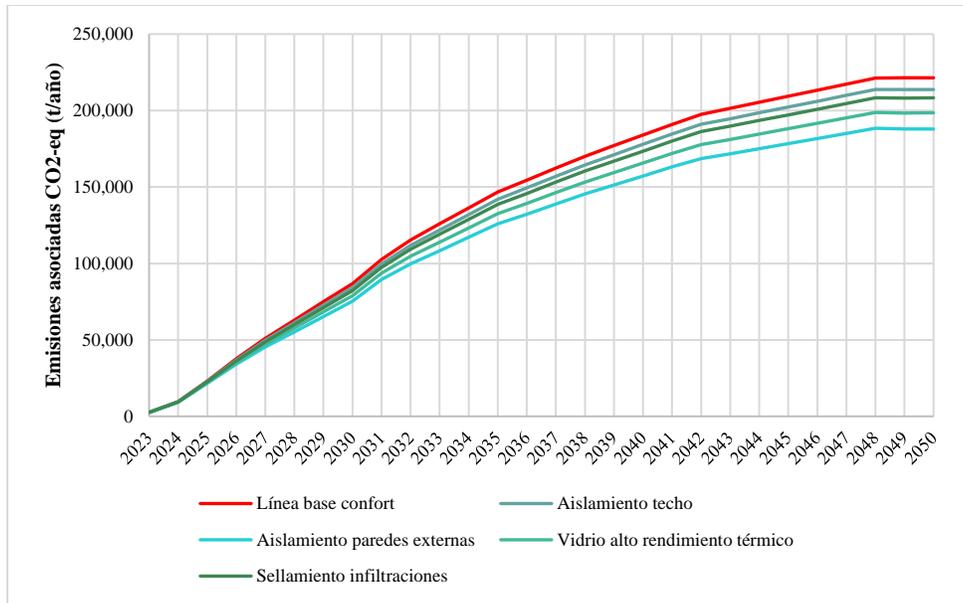


Figura 112. Mitigación de emisiones en sector residencial bajo escenario de confort por medida individual

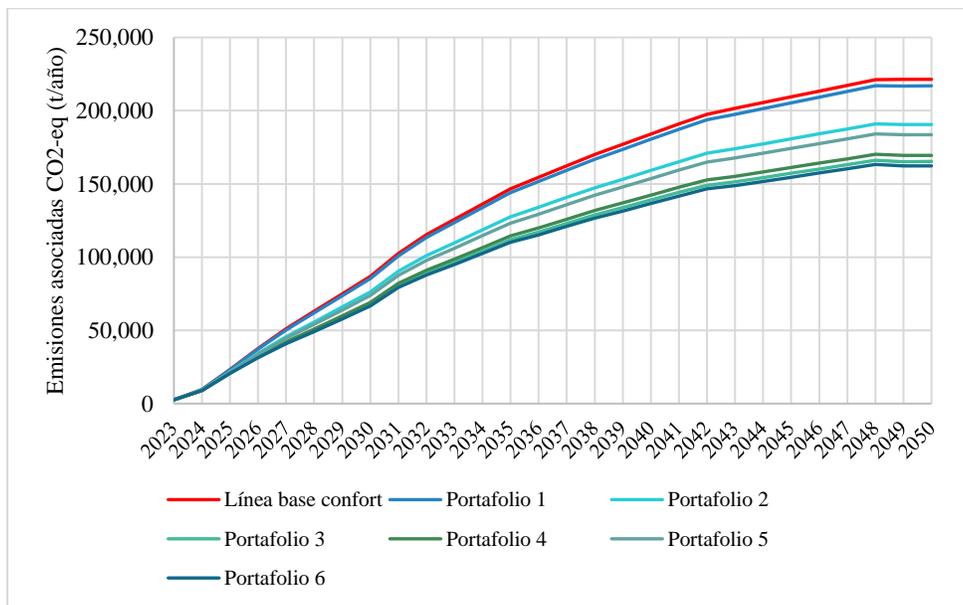


Figura 113. Mitigación de emisiones en sector residencial bajo escenario de confort por portafolio

Los resultados obtenidos para el potencial de abatimiento y las curvas de costos marginales del escenario de saturación del tamaño del hogar son los mismos resultados del escenario moderado del tamaño de hogar. Lo anterior, se debe al hecho de que el consumo de electricidad necesario para construir el escenario de confort es independiente del tamaño del hogar. Por lo tanto, las reducciones en el consumo y emisiones asociadas permanecen iguales.

Medidas de mejora del confort térmico y recomendaciones para la habitabilidad

Para la evaluación del confort térmico en vivienda de interés social y prioritario se utiliza la misma metodología definida en el caso de estudio de Ciudad Verde. Esta consiste en realizar simulaciones energéticas de edificios a través de la categorización de las agrupaciones de vivienda según su forma urbana.

Con base en lo anterior, para Lagos de Torca se definieron escenarios de forma urbana con base a las morfologías de edificaciones estructuradas por los planes parciales El Bosque, El Otoño y Tibabita. En esta caracterización, se encontró una gran diferencia en las propiedades habitacionales asociadas con la tipología VIS. En los tres planes parciales estudiados se tiene contemplado el desarrollo de esta tipología habitacional mediante la construcción de edificios de 12 pisos, duplicando de esta forma la altura del escenario VIS en Ciudad Verde. Esto implica un cambio total en la materialidad de los edificios VIS. Por otro lado, en el caso de los edificios de VIP, la definición de los planes parciales analizados coincide nuevamente entre sí, y en este caso coincide también con la práctica común para este tipo de vivienda en Ciudad Verde: edificios de 6 pisos con materialidad de mampostería estructural.

Adicional a los factores mencionados, se encontró una diferencia considerable entre la práctica de diseño en cuanto a la disposición de VIS y VIP empleada en los planes parciales El Bosque y El Otoño y Tibabita. Esta diferencia radica en que en los dos primeros planes parciales buscan desarrollar edificios de VIS y VIP en una misma agrupación de vivienda. En el tercero, por el contrario, se tienen agrupaciones de VIS y VIP separadas entre sí, siendo esto último consistente con la práctica común utilizada en Ciudad Verde.

Teniendo en cuenta las diferencias encontradas, fue necesaria la ejecución de simulaciones independientes para VIS y VIP, con el fin de evaluar las potenciales condiciones de confort térmico de estas tipologías habitacionales, dentro un entorno urbanizado bajo los escenarios de forma urbana identificados en los tres planes parciales anteriormente mencionados.

VIP

Para la modelación VIP se establecieron seis escenarios de simulación obtenidos del análisis de cuatro categorías de forma urbana extraídas de la información disponible de los mencionados planes parciales. La Figura 114 ilustra uno de los casos de morfología modelados y presenta el insumo base de la distribución espacial de los edificios junto con la geometría del modelo ejecutado en la simulación. En la Figura 114 también se puede evidenciar uno de los factores definidos previamente, relativo a la coexistencia de edificios VIP (6 pisos) y VIS (12 pisos) en una misma agrupación de vivienda.

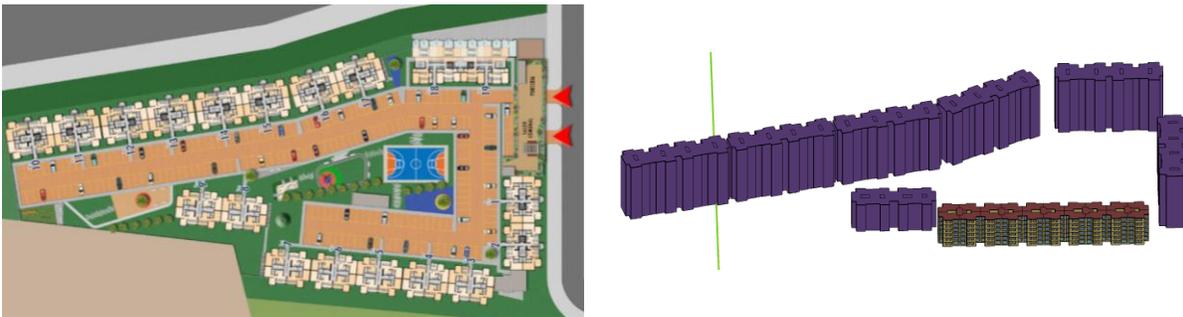


Figura 114. Plano de referencia y captura del modelo desarrollado para su simulación, Caso tomado del plan parcial El bosque con información de Amarilo.

A partir de las simulaciones realizadas se obtiene la temperatura operativa media anual para cada unidad de vivienda modelada y la cantidad de horas en un año en las que la temperatura operativa se encuentra dentro de determinados intervalos. Con el valor de temperatura operativa media anual de todas las unidades de vivienda simuladas se realizó un ajuste a una distribución normal de probabilidad, para la cual se obtuvo

una media de 17.38 °C y una desviación estándar de 0.88 °C. Al evaluar el valor medio anual de temperatura a la luz de lo establecido por el estándar ASHRAE 55-2017 para las condiciones promedio de Bogotá (13.46 °C), se obtiene que bajo las condiciones simuladas, los habitantes de vivienda de interés prioritario se encuentran fuera de las condiciones de confort (ver Figura 115).

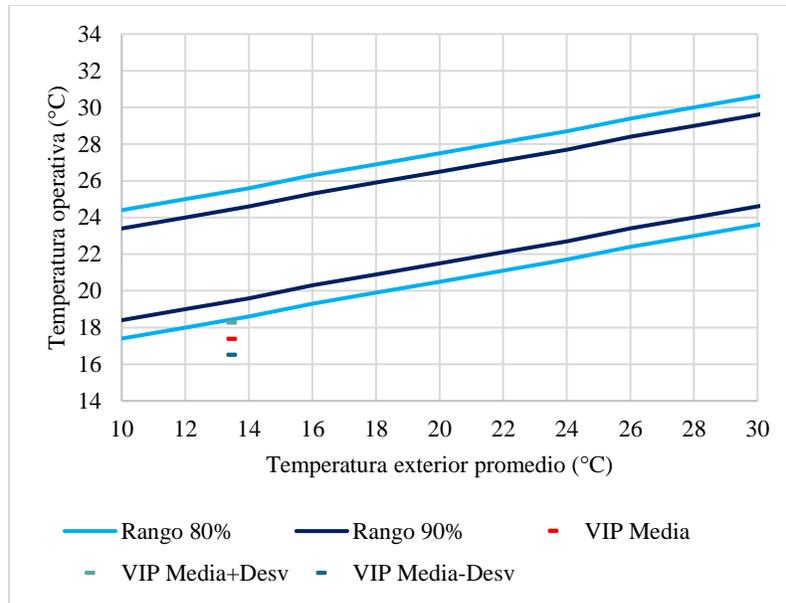


Figura 115. Evaluación de confort habitacional para edificios VIP simulados

Como propuesta de mejora del confort térmico al interior de las viviendas VIP, se utilizaron las simulaciones energéticas de las edificaciones para evaluar el impacto de medidas pasivas de diseño por un lado y, la implementación de un sistema mecánico de calefacción por otro. Para desarrollar las simulaciones se utilizó el motor de simulación Energy+ con la aplicación OpenStudio como interfaz gráfica. El primer escenario plantea una modelación sin incluir medidas pasivas o sistema de calefacción. Como segundo escenario, se propone la implementación de medidas pasivas (individuales y agrupadas en portafolios). El tercer escenario, contempla la modelación de un sistema de calefacción individual al interior de cada unidad de vivienda. Por último, se evalúa un escenario en el que se combinan las medidas pasivas y el sistema de calefacción.

Para el primer escenario, se obtienen las temperaturas de la línea base de confort descritas en el literal anterior (ver Tabla 58). En este caso, es importante recordar que ninguna estrategia de mejora ha sido implementada.

Tabla 58. Temperatura media interior de la vivienda VIP

Proyecto	Temperatura media interior (°C)
VIP 6 Pisos Mampostería Estructural	17.38

Ahora bien, los aumentos de temperatura obtenidas en el escenario 2 de implementación de medidas pasivas se presentan en la Tabla 59. Las especificaciones técnicas de las estrategias pasivas analizadas corresponden únicamente al caso de proyectos de vivienda. Este primer análisis se desarrolló para cuantificar el impacto individual de cada medida. Asimismo, se presenta el porcentaje del tiempo dentro del rango de confort con

límites de aceptabilidad del 90% (19.5 °C–24.5 °C) especificado para el método adaptativo del ASHRAE 55.

Tabla 59. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada medida pasiva vivienda VIP

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	-0.03	44.8
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m².K	0.18	49.0
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m².K	0.92	68.3
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m².K y SHGC de 0.76	0.42	55.8
Aislamiento térmico de losas de entepiso Valor-U de 0.45 W/m².K	0.04	47.0
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	0.32	52.8

Un segundo análisis se llevó a cabo para evaluar el impacto de combinar las medidas pasivas y observar su comportamiento en grupo. La Tabla 60 presenta los seis portafolios considerados en el análisis. Los resultados de aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo dentro del rango de confort se observan en la Tabla 61.

Tabla 60. Portafolios de medidas de energía pasivas

Medidas de energía pasivas	Portafolio 1	Portafolio 2	Portafolio 3	Portafolio 4	Portafolio 5	Portafolio 6
Aumento proporción de vidrio en fachada	X	X	X			
Aislamiento del techo		X	X		X	X
Aislamiento térmico de paredes externas		X	X	X	X	X
Vidrio de alto rendimiento térmico			X	X		X
Aislamiento térmico de losas de entepiso	X					
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	X					

Tabla 61. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada portafolio vivienda VIP

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	0.33	52.8
Portafolio 2	1.15	72.3
Portafolio 3	2.08	85.2
Portafolio 4	1.57	80.2
Portafolio 5	1.24	75.1
Portafolio 6	1.96	85.9

El tercer escenario contempla la instalación de un sistema individual de calefacción eléctrico para cada apartamento. El dimensionamiento de este sistema está sujeto a numerosas variables de la modelación energética, por lo que se recomienda utilizar los valores obtenidos de consumo como referencias de orden de magnitud. La Tabla 62 muestra el aumento de temperatura y el porcentaje del tiempo en confort alcanzado gracias al sistema de calefacción. Los valores de consumo mensual de electricidad del sistema de calefacción y el gradiente (entendido como el consumo necesario de electricidad para aumentar la temperatura operativa de la vivienda en un grado centígrado) se presentan en la Tabla 63.

Tabla 62. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para calefacción vivienda VIP

Proyecto	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
VIP 6 Pisos Mampostería Estructural	2.17	98.3

Tabla 63. Consumo de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico para calefacción vivienda VIP

Proyecto	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
VIP 6 Pisos Mampostería Estructural	333.3	153.6

Para el último escenario, se adicionaron medidas pasivas individuales (ver Tabla 64) y portafolios de medidas (ver Tabla 66) al sistema de calefacción del escenario anterior. Los aumentos de temperatura y los porcentajes de tiempo en confort para los dos casos de análisis se presentan a continuación. Adicionalmente, se muestran los resultados de consumo mensual de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico (ver Tabla 65 y Tabla 67).

Tabla 64. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada medida pasiva más calefacción vivienda VIP

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	2.18	98.2
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	2.17	98.4
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	2.23	97.8
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	2.21	98.1
Aislamiento térmico de losas de entrepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	2.20	98.3
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	2.22	98.1

Tabla 65. Consumo de electricidad y gradiente consumo/térmico para cada medida pasiva más calefacción vivienda VIP

Medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	343.0	157.4
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	304.0	140.1

Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	240.2	107.8
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	288.3	130.5
Aislamiento térmico de losas de entrepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	333.9	152.0
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	301.9	136.0

Tabla 66. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada portafolio más calefacción vivienda VIP

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	2.23	97.8
Portafolio 2	2.26	97.8
Portafolio 3	2.37	97.0
Portafolio 4	2.30	97.4
Portafolio 5	2.23	97.9
Portafolio 6	2.31	97.5

Tabla 67. Consumo de electricidad y gradiente consumo/térmico para cada portafolio más calefacción vivienda VIP

Portafolios de medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
Portafolio 1	313.5s	140.7
Portafolio 2	220.2	97.5
Portafolio 3	159.5	67.3
Portafolio 4	193.8	84.4
Portafolio 5	209.4	93.8
Portafolio 6	162.4	70.4

VIS

Para la modelación VIS se establecieron siete escenarios de simulación obtenidos del análisis de cuatro categorías de forma urbana extraídas de la información disponible de los mencionados planes parciales. La Figura 116 ilustra uno de los casos de morfología modelados. Allí se presenta tanto el plano base de la distribución espacial de los edificios, como la geometría del modelo ejecutado en la simulación. De la misma forma, la figura muestra la coexistencia de edificios VIP (6 pisos) y VIS (12 pisos) en una misma agrupación de vivienda.

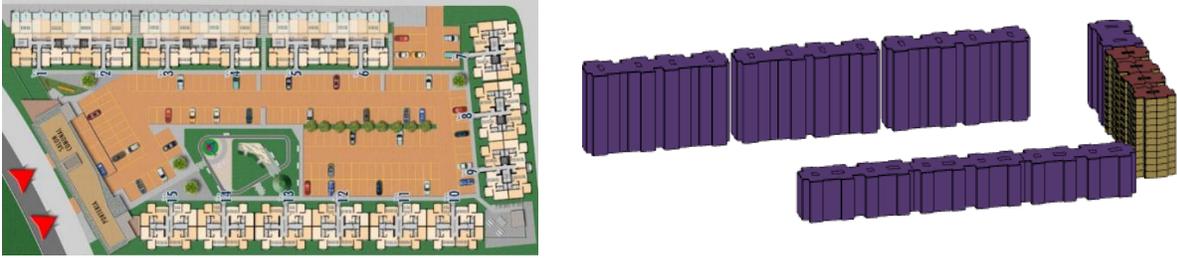


Figura 116. Plano de referencia y captura del modelo desarrollado para su simulación, Caso tomado del plan parcial El otoño con información de Amarillo

De las simulaciones realizadas se obtiene la temperatura operativa media anual para cada unidad de vivienda modelada y la cantidad de horas en un año en las que la temperatura operativa se encuentra dentro de determinados intervalos. Con el valor de temperatura operativa media anual de todas las unidades de vivienda simuladas se realizó un ajuste a una distribución normal de probabilidad, para la cual se obtuvo una media de 16.74 °C y una desviación estándar de 0.93 °C. Al evaluar los resultados obtenidos a la luz de los valores definidos por el estándar ASHRAE 55-2017 para la temperatura anual promedio de Bogotá (13.46 °C), se obtiene que, bajo las condiciones simuladas, los habitantes de vivienda de interés social se encuentran fuera de las condiciones de confort. Lo anterior se muestra en la Figura 117.

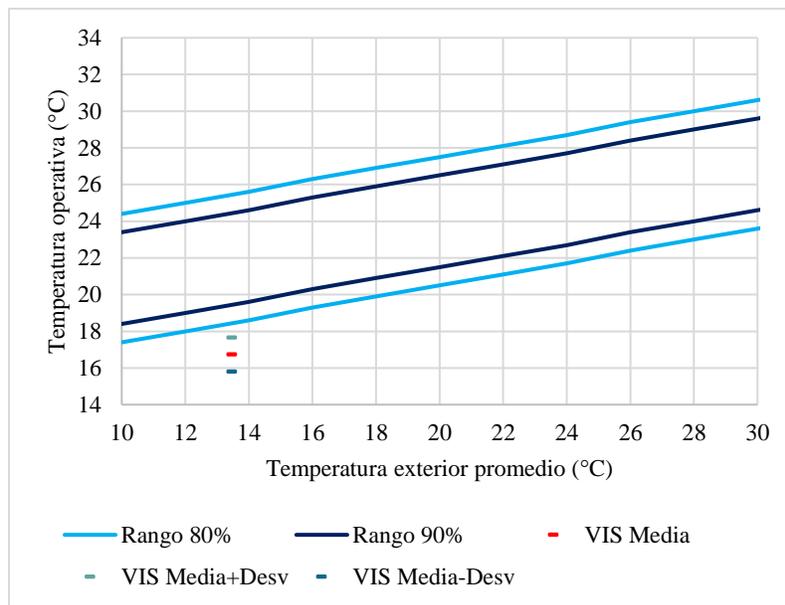


Figura 117. Evaluación de confort habitacional para edificios VIS simulados

Como propuesta de mejora del confort térmico al interior de las viviendas VIS, se utilizaron las simulaciones energéticas de las edificaciones para evaluar el impacto de medidas pasivas de diseño por un lado y, la implementación de un sistema mecánico de calefacción por otro. Para el primer escenario, se obtienen las temperaturas de la línea base de confort descritas en el literal anterior (ver Tabla 68). En este caso, es importante recordar que ninguna estrategia de mejora ha sido implementada.

Tabla 68. Temperatura media interior de la vivienda VIS

Proyecto	Temperatura media interior (°C)
VIS 12 Pisos Sistema Industrializado	16.74

Ahora bien, los aumentos de temperatura obtenidas en el escenario 2 de implementación de medidas pasivas se presentan en la Tabla 69. Las especificaciones técnicas de las estrategias pasivas analizadas corresponden únicamente al caso de proyectos de vivienda. Este primer análisis se desarrolló para cuantificar el impacto individual de cada medida. Asimismo, se presenta el porcentaje del tiempo dentro del rango de confort con límites de aceptabilidad del 90% (19.5 °C–24.5 °C) especificado para el método adaptativo del ASHRAE 55.

Tabla 69. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada medida pasiva vivienda VIS

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	0.10	33.3
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	0.09	32.2
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	0.98	55.1
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	0.43	40.2
Aislamiento térmico de losas de entepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	0.03	32.4
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	0.28	36.6

Un segundo análisis se llevó a cabo para evaluar el impacto de combinar las medidas pasivas y observar su comportamiento en grupo. Los resultados de aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo dentro del rango de confort se observan en la Tabla 70.

Tabla 70. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada portafolio vivienda VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	0.41	40.3
Portafolio 2	1.27	62.0
Portafolio 3	2.15	83.4
Portafolio 4	1.67	74.6
Portafolio 5	1.12	58.4
Portafolio 6	1.84	78.8

El tercer escenario contempla la instalación de un sistema individual de calefacción eléctrico para cada apartamento. El dimensionamiento de este sistema está sujeto a numerosas variables de la modelación energética, por lo que se recomienda utilizar los valores obtenidos de consumo como referencias de orden de magnitud. La Tabla 71 muestra el aumento de temperatura y el porcentaje del tiempo en confort

alcanzado gracias al sistema de calefacción. Los valores de consumo mensual de electricidad del sistema de calefacción y el gradiente (entendido como el consumo necesario de electricidad para aumentar la temperatura operativa de la vivienda en un grado centígrado) se presentan en la Tabla 72.

Tabla 71. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para calefacción vivienda VIS

Proyecto	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
VIS 12 Pisos Sistema Industrializado	2.79	98.7

Tabla 72. Consumo de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico para calefacción vivienda VIS

Proyecto	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
VIS 12 Pisos Sistema Industrializado	457.5	163.9

Para el último escenario, se adicionaron medidas pasivas individuales (ver Tabla 73) y portafolios de medidas (ver Tabla 75) al sistema de calefacción del escenario anterior. Los aumentos de temperatura y los porcentajes de tiempo en confort para los dos casos de análisis se presentan a continuación. Adicionalmente, se muestran los resultados de consumo mensual de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico (ver Tabla 74 y Tabla 76).

Tabla 73. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada medida pasiva más calefacción vivienda VIS

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	2.81	98.5
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	2.79	98.8
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	2.82	98.4
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	2.81	98.6
Aislamiento térmico de losas de entepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	2.81	98.7
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	2.82	98.5

Tabla 74. Consumo de electricidad y gradiente consumo/térmico para cada medida pasiva más calefacción vivienda VIS

Medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	454.7	161.8
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	437.1	156.8
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	324.3	115.1
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	396.6	140.9

Aislamiento térmico de losas de entrepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	458.5	163.4
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	422.2	149.9

Tabla 75. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada portafolio más calefacción vivienda VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	2.82	98.3
Portafolio 2	2.88	98.3
Portafolio 3	2.94	97.9
Portafolio 4	2.89	98.2
Portafolio 5	2.81	98.5
Portafolio 6	2.89	98.3

Tabla 76. Consumo de electricidad y gradiente consumo/térmico para cada portafolio más calefacción vivienda VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes. °C)
Portafolio 1	420.7	149.0
Portafolio 2	296.0	102.8
Portafolio 3	221.8	75.3
Portafolio 4	260.8	90.2
Portafolio 5	302.8	107.7
Portafolio 6	238.9	82.7

No VIS

De las simulaciones realizadas se obtiene la temperatura operativa media anual para cada unidad de vivienda modelada y la cantidad de horas en un año en las que la temperatura operativa se encuentra dentro de determinados intervalos. Con el valor de temperatura operativa media anual de todas las unidades de vivienda simuladas se realizó un ajuste a una distribución normal de probabilidad, para la cual se obtuvo una media de 17.12 °C y una desviación estándar de 1.14 °C. Al evaluar los resultados obtenidos a la luz de los valores definidos por el estándar ASHRAE 55-2017 para la temperatura anual promedio de Bogotá (13.46 °C), se obtiene que, bajo las condiciones simuladas, los habitantes de vivienda de interés social se encuentran fuera de las condiciones de confort. Lo anterior se muestra en la Figura 118.

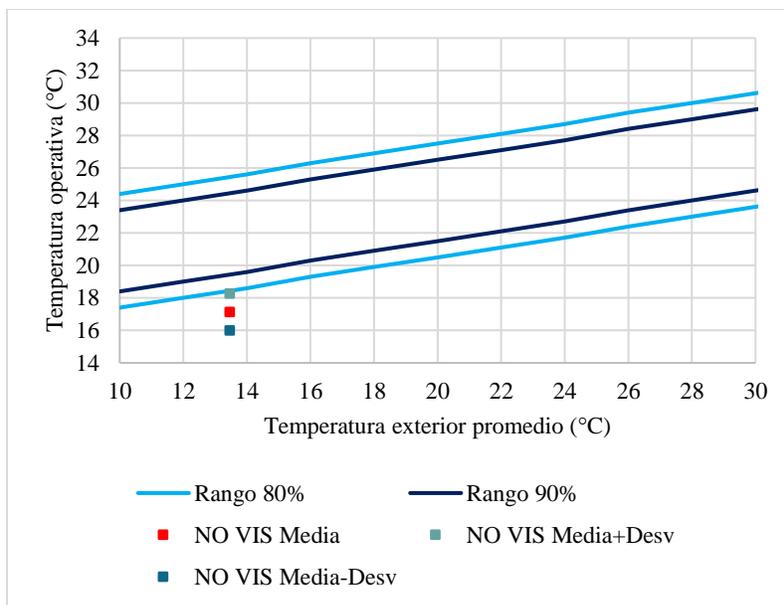


Figura 118. Evaluación de confort habitacional para edificios NO VIS simulados

La propuesta de mejora del confort térmico al interior de las viviendas se desarrolló también para el sector residencial No VIS de Lagos de Torca. Como resultado de las simulaciones energéticas se obtuvieron cuatro escenarios de análisis. Para el primer escenario, se obtienen las temperaturas de la línea base de confort descritas en el literal anterior (ver Tabla 77). En este caso, es importante recordar que ninguna estrategia de mejora ha sido implementada.

Tabla 77. Temperatura media interior de la vivienda NO VIS

Proyecto	Temperatura media interior (°C)
NO VIS 17 Pisos Sistema Industrializado	17.12 °C

Ahora bien, los aumentos de temperatura obtenidas en el escenario 2 de implementación de medidas pasivas se presentan en la Tabla 78. Las especificaciones técnicas de las estrategias pasivas analizadas corresponden únicamente al caso de proyectos de vivienda. Este primer análisis se desarrolló para cuantificar el impacto individual de cada medida. Asimismo, se presenta el porcentaje del tiempo dentro del rango de confort con límites de aceptabilidad del 90% (19.5 °C–24.5 °C) especificado para el método adaptativo del ASHRAE 55.

Tabla 78. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada medida pasiva vivienda NO VIS

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	-0.32	51.0
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m².K	0.10	59.1
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m².K	0.76	72.6

Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	0.63	70.8
Aislamiento térmico de losas de entepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	0.05	57.9
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	0.37	64.8

Un segundo análisis se llevó a cabo para evaluar el impacto de combinar las medidas pasivas y observar su comportamiento en grupo. Los resultados de aumento de temperatura y porcentaje del tiempo dentro del rango de confort se observan en la Tabla 79.

Tabla 79. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para cada portafolio vivienda NO VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	0.09 °C	59.3 %
Portafolio 2	0.52 °C	69.9 %
Portafolio 3	1.48 °C	83.9 %
Portafolio 4	1.59 °C	81.6 %
Portafolio 5	0.89 °C	74.9 %
Portafolio 6	1.76 °C	83.5 %

El tercer escenario contempla la instalación de un sistema individual de calefacción eléctrico para cada apartamento. El dimensionamiento de este sistema está sujeto a numerosas variables de la modelación energética, por lo que se recomienda utilizar los valores obtenidos de consumo como referencias de orden de magnitud. La Tabla 80 muestra el aumento de temperatura y el porcentaje del tiempo en confort alcanzado gracias al sistema de calefacción. Los valores de consumo mensual de electricidad del sistema de calefacción y el gradiente (entendido como el consumo necesario de electricidad para aumentar la temperatura de la vivienda en un grado centígrado) se presentan en la Tabla 81.

Tabla 80. Aumentos de temperatura y porcentaje del tiempo en confort para calefacción vivienda NO VIS

Proyecto	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
NO VIS 17 Pisos Sistema Industrializado	1.90	96.7

Tabla 81. Consumo de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico para calefacción vivienda NO VIS

Proyecto	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
NO VIS 17 Pisos Sistema Industrializado	391.2	205.4

Para el último escenario, se adicionaron medidas pasivas individuales (ver Tabla 82) y portafolios de medidas (ver Tabla 84) al sistema de calefacción del escenario anterior. Los aumentos de temperatura y los porcentajes de tiempo en confort para los dos casos de análisis se presentan a continuación. Adicionalmente, se muestran los resultados de consumo mensual de electricidad y gradiente consumo/aumento térmico (ver Tabla 83 y Tabla 85).

Tabla 82. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada medida pasiva más calefacción vivienda NO VIS

Medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	1.82	97.4
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	1.90	96.8
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	2.02	95.5
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	2.00	95.9
Aislamiento térmico de losas de entrepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	1.92	96.3
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	1.96	96.0

Tabla 83. Consumo electricidad y gradiente consumo/térmico para cada medida pasiva más calefacción vivienda NO VIS

Medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
Aumento proporción de vidrio en fachada Valor WWR de 40%	423.6	232.4
Aislamiento del techo Valor-U de 0.45 W/m ² .K	370.3	194.5
Aislamiento térmico de paredes externas Valor-U de 1.32 W/m ² .K	302.5	150.1
Vidrio de alto rendimiento térmico Valor-U de 3.12 W/m ² .K y SHGC de 0.76	314.0	157.3
Aislamiento térmico de losas de entrepiso Valor-U de 0.45 W/m ² .K	394.9	205.2
Sellamiento del 80% de las infiltraciones	348.9	178.4

Tabla 84. Aumentos de temperatura y tiempo en confort para cada portafolio más calefacción vivienda NO VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Aumento de temperatura (°C)	Tiempo de confort (%)
Portafolio 1	1.91	96.6
Portafolio 2	1.92	96.7
Portafolio 3	2.09	95.1
Portafolio 4	2.18	93.7
Portafolio 5	2.02	95.5
Portafolio 6	2.19	93.6

Tabla 85. Consumo de electricidad y gradiente consumo/térmico para cada portafolio más calefacción vivienda NO VIS

Portafolios de medidas de energía pasivas	Consumo de electricidad (KWh/mes)	Gradiente consumo temperatura (kWh/mes.°C)
Portafolio 1	384.2	200.9
Portafolio 2	310.6	162.0
Portafolio 3	221.3	106.1

Portafolio 4	226.5	104.1
Portafolio 5	281.3	139.3
Portafolio 6	205.3	93.8

7.6.3. Limitaciones y recomendaciones para trabajos futuros

A continuación, se presenta un listado que resume recomendaciones para trabajos futuros y las principales limitaciones del análisis realizado:

Recomendaciones para trabajos futuros

- Para futuras investigaciones se recomienda realizar evaluaciones ambientales del mayor número posible de edificaciones, de tal manera que se puedan elaborar valores de referencia del carbono incorporado de las edificaciones en el contexto nacional. De esta manera se permitiría visibilizar tanto las buenas prácticas de construcción como los desafíos que todavía existen. Asimismo, esto permitiría determinar, con una mayor certeza, cuál de los sistemas constructivos utilizados en el país -y en qué medida lo hace- genera una mayor huella de carbono.
- La metodología definida en la normativa EN 15978 no se restringe a la evaluación del potencial de calentamiento global (GWP), sino permite cuantificar otros impactos ambientales diferentes. Para futuras investigaciones se recomienda incluir estos otros impactos ambientales, explorando la posibilidad de incorporar indicadores y valores de referencia.
- Se recomienda realizar el mismo análisis detallado del carbono incorporado no solamente para los materiales incluidos en el presente estudio (cemento, acero, ladrillo, vidrio y agregados), sino que, idealmente, incluya otros materiales o componentes (aluminio, cobre, acabados cerámicos, particiones livianas, entre otros).
- Un factor muy importante en la que se puede profundizar es la vida útil de las edificaciones en el contexto nacional. Este factor determina el impacto relativo que tiene el carbono incorporado dentro de las emisiones totales, ya que las emisiones asociadas a la operación dependen del número de años de la edificación.
- Recientes estudios han resaltado que la carbonatación del concreto puede generar importantes capturas de carbono; esto merecería ser explorado y analizado en próximos estudios.
- Incluir el tema de acceso a la vivienda de calidad, en términos de déficit cualitativo y cuantitativo. Abordar igualmente el tema de vivienda informal.
- En cuanto al tema de eficiencia energética en las edificaciones, es muy importante anteponer la intervención/rehabilitación de edificios existentes sobre la construcción de edificios nuevos sostenibles.
- En lugar de seguir medidas prescriptivas a modo de receta, es recomendable que los promotores y constructores que deseen construir edificaciones sostenibles lleven a cabo un proceso de diseño integrado sobre sus proyectos de la mano de un experto asesor en el tema.

Limitaciones del análisis

- Las especificaciones técnicas del desempeño de las estrategias pasivas implementadas en los casos de estudio solo aplican para proyectos residenciales localizados en clima frío. Dichas especificaciones dependen de la tipología de la edificación y las condiciones climáticas del sitio.
- Si bien, para el sector de edificaciones no residenciales se realizó una evaluación del impacto de medidas pasivas en su desempeño energético, por restricciones en la información disponible sobre

las características del sector no residencial, no fue posible analizar también el uso de medidas activas (eficiencia en los equipos).

- Las modelaciones termo-energéticas de edificios son una herramienta muy poderosa a la hora de caracterizar y cuantificar los impactos de la construcción sostenible. Sin embargo, los estudios de este tipo suelen complementarse con la toma de datos en campo. Debido a las restricciones de alcance, en los análisis realizados en este estudio no se realizó ninguna evaluación en campo y se consideró únicamente los resultados de las simulaciones.
- Con respecto al análisis de emisiones incorporadas, esta se hizo con base en un modelo que utiliza fuentes de información reportadas en la literatura ya que no se contó con declaraciones ambientales de producto ni mediciones directas, como hubiera sido lo ideal.
- Aunque en este proyecto se realizó un estudio de temperaturas para evaluar confort térmico como medida de habitabilidad, según comentarios del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, es necesario asegurar antes condiciones adecuadas de calidad de aire interior. Es importante asegurar criterios de calidad de aire dados por estándares internacionales como el ASHRAE 62.1, donde se exige una renovación mínima de aire mínima en las viviendas garantizando así que el aire interior siempre esté en condiciones de salubridad, y en este estudio no se evaluaron dichas condiciones.
- Adicionalmente, las condiciones de simulación ejecutadas para la evaluación base son representativas del contexto de ciudades de pisos térmicos a más de 2.000 m.s.n.m., para la evaluación del modelo en otras ciudades, sería necesario realizar modelos de vivienda totalmente distintos.

Referencias

- [1] MasterPlan - Desarrollo Urbano, “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Tibabita N° 12.” 2019.
- [2] Amarilo, “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial N° 7: El Otoño. Ciudad Lagos de Torca.” 2019.
- [3] “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial 24 Santa María.” 2019.
- [4] “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial 25 Sorrento.” 2019.
- [5] AECOM Technical Services and Fernando Mazuera y Cia., “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Mazda Mavaia.” 2019.
- [6] AECOM Technical Services and Fernando Mazuera y Cia., “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Mudela del Río N° 29.” 2019.
- [7] Asociación Plan Parcial el Rosario, “Documento técnico de soporte: Plan Parcial N°10: El Rosario Ciudad Lagos de Torca.” 2019.
- [8] Amarilo, “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial N° 26: El Bosque.” 2019.
- [9] “Documento Técnico de Soporte Plan Parcial 14 Las Flores.” 2019.
- [10] Promotora Andalucía, “Documento Técnico de Soporte Proyecto Plan Parcial 20: El Coral Lagos de Torca,” 2019.
- [11] Colpatria, “Documento Técnico de Soporte Plan parcial N° 17 ‘lucerna.’” 2019.

- [12] Constructora Hayuelos, “Documento Técnico de Soporte Plan parcial N° 2 El Carmen,” 2019.
- [13] Alcaldía Mayor de Bogotá, “Decreto 088 de 2017,” 2017. .
- [14] E. Ángel, L., Ramírez, A., & Domínguez, “ISLA DE CALOR Y CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ,” *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, vol. 34, no. 0370–3908, pp. 173–183, 2010.
- [15] Lady Viviana, G. Forero, U. D. F. J. C, and D. C. Bogotá, “Estudio del Crecimiento Urbano con respecto al Efecto Isla de Calor para establecer Lineamientos de Gestión Energético Ambiental en Bogotá,” *Elev. Lat. Am. Caribb. Engineering Technol.*, pp. 1–10, 2013.
- [16] IPCC, “Metodologías Genéricas Aplicables a Múltiples,” *Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. Gases Ef. Invernadero Vol. 4 Agric. Silvíc. y Otros Usos la Tierra.*, pp. 1–66, 2006.
- [17] J. Jenkins, H. Ginzo, S. M. Ogle, and L. Verchot, “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero. Capítulo 8. ASENTAMIENTOS,” pp. 1–34, 2006.
- [18] T. Matching and R. Test, “2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” *Test*, pp. 162–173, 2001.
- [19] S. M. Ogle *et al.*, “2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable To Multiple Land-Use Categories,” 2019.
- [20] Aalde *et al.*, “Tierras Forestales,” *Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. gases Ef. invernadero*, vol. 4, pp. 1–93, 2006.
- [21] Empresa de Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogotá, “Plan de manejo ambiental de los humedales de torca y guayamaral,” p. 117, 2012.
- [22] D. Bartram and D. Short, “Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 6. Wastewater Treatment and Discharge,” *IPCC Guidel. Natl. Greenh. Gas Invent.*, 2019.
- [23] Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), “Sistema Chingaza.” .
- [24] Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), “Informe hídrico. Relación mensual de agua captada y suministrada en plantas de tratamiento año 2018,” Bogotá D.C., 2018.
- [25] Alcaldía Mayor de Bogotá, “DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE - DTS PLAN DE ORDENAMIENTO ZONAL DEL NORTE CIUDAD LAGOS DE TORCA,” pp. 1–594, 2017.
- [26] Publicaciones Semana S.A., “Tratamiento de agua y saneamiento básico: una necesidad de país,” 2019. .
- [27] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB-ESP), “ESTUDIO DE PROYECCIÓN DE POBLACIÓN , CAUDALES Y CONTRATO DE CONSULTORIA No . 2-02-25100-0802-2010 EAAB ESP REVISIÓN DE INFORMACIÓN AGOSTO 2011 VERSIÓN 3 Presentado por ALEJANDRO CIFUENTES SARRIA,” 2011.
- [28] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), “Respuesta al radicado 20201120537: Solicitud información ampliación PTAR Salitre - Estimación de caudal de diseño.” 2020.
- [29] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), “Acuerdo 43 del 2006,” 2010.
- [30] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), “Adecuación Hidráulica y

- Recuperación Ambiental Río Bogotá,” 2009.
- [31] EAAB and Universidad Nacional de Colombia, “Modelación Dinámica De La Calidad De Agua Del Río Bogotá -Informe Producto N°5 - Determinación y simulación de escenarios y análisis de resultados,” 2010.
- [32] N. Lourenço and L. M. Nunes, “Review of Dry and Wet Decentralized Sanitation Technologies for Rural Areas: Applicability, Challenges and Opportunities,” *Environ. Manage.*, vol. 65, no. 5, pp. 642–664, 2020.
- [33] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, “Boletín del índice de calidad del agua en conrrientes superficiales ‘ICA’ 2018 - II,” 2013. .
- [34] Publicaciones Semana S.A., “Descontaminación del Río Bogotá, otra vez en el limbo,” 2019. .
- [35] D. Butler and J. W. Davies, *Urban Drainage*, Segunda., vol. 53, no. 9. Londres: Taylor & Francis, 2004.
- [36] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, “Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras – 2000 Sección II Título D Sistemas De Recolección Y Evacuación De Aguas Residuales Domésticas Y Pluviales,” 2000.
- [37] Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios, “Sistemas de Abastecimiento,” 2019.
- [38] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras. Título B. Sistemas de Acueducto*. 2010.
- [39] Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios, “Indicadores Comerciales,” 2019.
- [40] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), “Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia-SIN.” Bogotá D.C., 2017.
- [41] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB-ESP), “Consumo mensual y unitario de energía 2016 Bogotá,” 2017.
- [42] D. Bartram *et al.*, “Chapter 6 wastewater treatment and discharge. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” in *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2019.
- [43] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), “Producto 5 - Factibilidad de los sistemas seleccionados para la PTAR Salitre,” 2011.
- [44] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, “Título D - Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias,” 2016. .
- [45] DAMA, “Política de humedales del Distrito Capital,” Bogotá D.C., 2005.
- [46] Prodesa, “Plan Parcial 12 Lagos de Torca.” Bogotá D.C., 2020.
- [47] Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), “Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Producto 2.” Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo (EAB) & Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Bogotá, 2015.
- [48] M. N. Torres, J. E. Fontecha, Z. Zhu, J. L. Walteros, and J. P. Rodríguez, “A participatory approach based on stochastic optimization for the spatial allocation of Sustainable Urban Drainage Systems

- for rainwater harvesting.,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 123, no. August 2018, p. 104532, 2020.
- [49] R. Pitt and J. Voorhees, “SLAMM , the Source Loading and Management Model,” pp. 1–29, 2002.
- [50] Amarilo S.A., “Plan Parcial El Bosque,” 2018.
- [51] N. Dussadee, R. Ramaraj, and N. Sutassanamarlee, “Effect of plant shading and water consumption on heat reduction of ambient air,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 45, no. 1, pp. 188–197, 2018.
- [52] MasterPlan - Desarrollo Urbano, “Tibabita No. 12,” Bogotá, Colombia, 2019.
- [53] S. Echols and E. Pennypacker, “From Storm water Management to Artful Rain water Design,” *Landsc. J.*, vol. 27, no. 2, pp. 268–290, 2008.
- [54] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolucion CREG-030-2018.” 2018.
- [55] “Escenarios 2019 IPC - Precios - Inflación Energia Colombia 2050 RR.” .
- [56] NREL, “Annual Technology Baseline,” 2019. .
- [57] R. Frischknecht *et al.*, *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems*. 2015.
- [58] A. Singh, S. I. Olsen, and D. Pant, *Importance of life cycle assessment of renewable energy sources*, no. 9781447153634. 2013.
- [59] AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA) and UAESP, “Proyecto de Estudio del Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en Bogotá, D.C. Informe Final Volumen I,” 2013.
- [60] Secretaria de Habitat, “Linea Base Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Bogotá D . C , Pgirs Agosto 2018,” 2018.
- [61] Departamento Nacional de Planeación, *CONPES 3934 Política de Crecimiento Verde*. República de Colombia, 2018, p. 114.
- [62] Unidad Administrativa Especial De Servicios Públicos UAESP, “CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES GENERADOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. 2011,” 2011.
- [63] CONSORCIO NCU- UAESP, “Consultoría Realizar el estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechables.,” Bogotá, 2017.
- [64] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES CENTRO DE GERENCIAMIENTO DE RESIDUOS DOÑA JUANA S.A. E.S.P.,” Bogotá, 2017.
- [65] SCS engineers, “Informe de Evaluación Relleno Sanitario Doña Juana,” 2007.
- [66] Biogás Doña Juana S.A.S. E.S.P. and Nordic Environment Finance Corporation, “UNFCCC CDM Project design document form: Doña Juana Landfill Gas-to-Energy Project,” 2018.
- [67] C. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, “Segundo Reporte Bienal de Actualización Segundo Reporte Bienal de Actualización,” p. 180, 2018.
- [68] OECD, “Improving Plastics Management : Trends, policy responses, and the role of international

- co-operation and trade,” 2018.
- [69] United Nations, “Waste Management,” in *TRENDS IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT Chemicals, mining, transport and waste management*, 2010, pp. 26–35.
- [70] L. A. Guzman, F. Escobar, J. Peña, and R. Cardona, “A cellular automata-based land-use model as an integrated spatial decision support system for urban planning in developing cities: The case of the Bogotá region,” *Land use policy*, vol. 92, p. 104445, Mar. 2020.
- [71] K. C. Clarke, “Mapping and modelling land use change: an application of the SLEUTH model,” *Lect. Notes Geoinf. Cartogr.*, no. 9783540691679, pp. 353–366, 2008.
- [72] CORPOEMA and UPME, “ESTIMACIÓN DE LOS CONSUMOS DE SUBSISTENCIA EN ENERGÍA ELÉCTRICA, GAS NATURAL Y GLP EN TERRITORIO NACIONAL SIN Y ZNI,” 2019.
- [73] UPME and C. Corpoema-cusa, “Caracterización energética del sector residencial urbano y rural en Colombia. Volúmen 2: Caracterización por Piso Térmico,” 2012.
- [74] K. Simonen, B. X. Rodriguez, and C. De Wolf, “Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings,” *Technol. Archit. Des.*, vol. 1, no. 2, pp. 208–218, 2017.
- [75] “EC3 Tool Methodology | Carbon Leadership Forum.” .
- [76] H. Gervasio, S. Dimova, and A. Pinto, “Benchmarking the Life-Cycle Environmental Performance of Buildings,” *Sustainability*, vol. 10, no. 5, p. 1454, May 2018.
- [77] Department of Architecture University of Washington, “Embodied Carbon Benchmark Study LCA for Low Carbon Construction - Part One.” 2017.
- [78] Á. Cadena *et al.*, “Estimación de curva de costos abatimiento de emisiones gases efecto invernadero sector vivienda urbana en Colombia.” 2012.
- [79] UPME-Ecoingeniería, “Determinación de propiedades físicas y, estimación del consumo energético de la producción, de acero, concreto, vidrio, ladrillo y otros materiales, entre ellos los alternativos y otros de uso no tradicional, utilizados en la construcción de edificaciones.” 2012.
- [80] J. D. García López and F. Stand Villarreal, “Comparación de los principales sistemas constructivos de VIS en Colombia, desde una perspectiva de sostenibilidad, empleando BIM: caso estudio en Soacha,” 2016.

Anexo 13. Escenarios para estimación de indicadores – Ecología urbana

El presente anexo muestra las ponderaciones de los indicadores de disponibilidad que se elaboraron durante el análisis de Lagos de Torca bajo distintos escenarios y supuestos.

Para este primer grupo de tabla se tomó la totalidad del área del proyecto, incluyendo áreas que no cuentan con planes parciales. Los escenarios de población fueron los mismos que se usaron en la evaluación final de lagos de torca. Se analizó el proyecto descontando las áreas duras dentro del espacio público y zonas protegidas y sin descontarlas.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 1 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	432,000	Poblacion Total	636,689
Tipologia	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipologia
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	1.60	1.09	3.84%	9.72%
	Quebradas	773,647.00	1.79	1.22	4.29%	
	Canales	287,987.22	0.67	0.45	1.60%	
Subtotal Areas Protegidas		1,753,086.26	4.06	2.75	9.72%	9.72%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	1.64	1.11	3.93%	3.93%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	441,442.14	1.02	0.69	2.45%	8.08%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993,295.96	2.30	1.56	5.51%	
	Lagos	21,407.99	0.05	0.03	0.12%	
Subtotal Parques		2,164,612.41	5.01	3.40	12.01%	12.01%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.17	0.11	0.41%	5.24%
	Sistema Vial	246,245.86	0.57	0.39	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	0.72	0.49	1.73%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.73	0.49	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		945,545.78	2.19	1.49	5.24%	5.24%
Subtotal Áreas Públicas		4,863,244.45	11.26	7.64	26.97%	26.97%
Institucionales	Clubes	1,089,655.02	2.52	1.71	6.04%	23.94%
	Parques Cementerios	1,343,486.51	3.11	2.11	7.45%	
	Institucionales	1,882,199.72	4.36	2.96	10.44%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25	9.99	6.78	23.94%	23.94%
Total		9,178,585.70	21.25	14.42	50.91%	50.91%

Tabla 1. Área por tipo de espacio verde escenario 1 con proyecto sin descontar áreas duras y áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 2 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	352,643	Poblacion Total	557,332
Tipologia	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipologia
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	1.96	1.24	3.84%	9.72%
	Quebradas	773,647.00	2.19	1.39	4.29%	
	Canales	287,987.22	0.82	0.52	1.60%	
Subtotal Areas Protegidas		1,753,086.26	4.97	3.15	9.72%	9.72%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	2.01	1.27	3.93%	3.93%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	441,442.14	1.25	0.79	2.45%	8.08%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	993,295.96	2.82	1.78	5.51%	
	Lagos	21,407.99	0.06	0.04	0.12%	
Subtotal Parques		2,164,612.41	6.14	3.88	12.01%	12.01%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.21	0.13	0.41%	5.24%
	Sistema Vial	246,245.86	0.70	0.44	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	0.89	0.56	1.73%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.89	0.56	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		945,545.78	2.68	1.70	5.24%	5.24%
Subtotal Áreas Públicas		4,863,244.45	13.79	8.73	26.97%	26.97%
Institucionales	Clubes	1,089,655.02	3.09	1.96	6.04%	23.94%
	Parques Cementerios	1,343,486.51	3.81	2.41	7.45%	
	Institucionales	1,882,199.72	5.34	3.38	10.44%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25	12.24	7.74	23.94%	23.94%
Total		9,178,585.70	26.03	16.47	50.91%	50.91%

Tabla 2. Área por tipo de espacio verde escenario 2 con proyecto sin descontar áreas duras y áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 3 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	269,474	Poblacion Total	474,163
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	2.57	1.46	3.84%	9.72%
	Quebradas	773,647.00	2.87	1.63	4.29%	
	Canales	287,987.22	1.07	0.61	1.60%	
Subtotal Areas Protegidas		1,753,086.26	6.51	3.70	9.72%	9.72%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	2.63	1.49	3.93%	3.93%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	441,442.14	1.64	0.93	2.45%	8.08%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	993,295.96	3.69	2.09	5.51%	
	Lagos	21,407.99	0.08	0.05	0.12%	
Subtotal Parques		2,164,612.41	8.03	4.57	12.01%	12.01%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.27	0.15	0.41%	5.24%
	Sistema Vial	246,245.86	0.91	0.52	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	1.16	0.66	1.73%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	1.16	0.66	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		945,545.78	3.51	1.99	5.24%	5.24%
Subtotal Áreas Públicas		4,863,244.45	18.05	10.26	26.97%	26.97%
Institucionales	Clubes	1,089,655.02	4.04	2.30	6.04%	23.94%
	Parques Cementerios	1,343,486.51	4.99	2.83	7.45%	
	Institucionales	1,882,199.72	6.98	3.97	10.44%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25	16.01	9.10	23.94%	23.94%
Total		9,178,585.70	34.06	19.36	50.91%	50.91%

Tabla 3. Área por tipo de espacio verde escenario 3 con proyecto sin descontar áreas duras y áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 1 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	432,000	Poblacion Total	636,689
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	1.44	0.98	3.45%	8.75%
	Quebradas	696,282.30	1.61	1.09	3.86%	
	Canales	259,188.50	0.60	0.41	1.44%	
Subtotal Areas Protegidas		1,577,777.63	3.65	2.48	8.75%	8.75%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	0.82	0.56	1.96%	1.96%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	331,081.61	0.77	0.52	1.84%	6.09%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	744,971.97	1.72	1.17	4.13%	
	Lagos	21,407.99	0.05	0.03	0.12%	
Subtotal Parques		1,451,694.73	3.36	2.28	8.05%	8.05%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.17	0.11	0.41%	4.59%
	Sistema Vial	246,245.86	0.57	0.39	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.45	0.31	1.08%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.73	0.49	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		828,427.01	1.92	1.30	4.59%	4.59%
Subtotal Áreas Públicas		3,857,899.37	8.93	6.06	21.40%	21.40%
Institucionales	Clubes	544,827.51	1.26	0.86	3.02%	11.97%
	Parques Cementerios	671,743.26	1.55	1.06	3.73%	
	Institucionales	941,099.86	2.18	1.48	5.22%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	4.99	3.39	11.97%	11.97%
Total		6,015,569.99	13.92	9.45	33.37%	33.37%

Tabla 4. Área por tipo de espacio verde escenario 1 con proyecto descontando áreas duras y sin descontar áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 2 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	352,643	Poblacion Total	557,332
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Áreas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	1.76	1.12	3.45%	8.75%
	Quebradas	696,282.30	1.97	1.25	3.86%	
	Canales	259,188.50	0.73	0.47	1.44%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,577,777.63	4.47	2.83	8.75%	8.75%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	1.00	0.64	1.96%	1.96%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	331,081.61	0.94	0.59	1.84%	6.09%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	744,971.97	2.11	1.34	4.13%	
	Lagos	21,407.99	0.06	0.04	0.12%	
Subtotal Parques		1,451,694.73	4.12	2.60	8.05%	8.05%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.21	0.13	0.41%	4.59%
	Sistema Vial	246,245.86	0.70	0.44	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.55	0.35	1.08%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.89	0.56	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		828,427.01	2.35	1.49	4.59%	4.59%
Subtotal Áreas Públicas		3,857,899.37	10.94	6.92	21.40%	21.40%
Institucionales	Clubes	544,827.51	1.54	0.98	3.02%	11.97%
	Parques Cementerios	671,743.26	1.90	1.21	3.73%	
	Institucionales	941,099.86	2.67	1.69	5.22%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	6.12	3.87	11.97%	11.97%
Total		6,015,569.99	17.06	10.79	33.37%	33.37%

Tabla 5. Área por tipo de espacio verde escenario 2 con proyecto descontando áreas duras y sin descontar áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 3 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		18,029,185.22	Habitantes	269,474	Poblacion Total	474,163
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Áreas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	2.31	1.31	3.45%	8.75%
	Quebradas	696,282.30	2.58	1.47	3.86%	
	Canales	259,188.50	0.96	0.55	1.44%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,577,777.63	5.86	3.33	8.75%	8.75%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	1.31	0.75	1.96%	1.96%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	331,081.61	1.23	0.70	1.84%	6.09%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	744,971.97	2.76	1.57	4.13%	
	Lagos	21,407.99	0.08	0.05	0.12%	
Subtotal Parques		1,451,694.73	5.39	3.06	8.05%	8.05%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.27	0.15	0.41%	4.59%
	Sistema Vial	246,245.86	0.91	0.52	1.37%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.72	0.41	1.08%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	1.16	0.66	1.74%	
Subtotal Sistema Vial		828,427.01	3.07	1.75	4.59%	4.59%
Subtotal Áreas Públicas		3,857,899.37	14.32	8.14	21.40%	21.40%
Institucionales	Clubes	544,827.51	2.02	1.15	3.02%	11.97%
	Parques Cementerios	671,743.26	2.49	1.42	3.73%	
	Institucionales	941,099.86	3.49	1.98	5.22%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	8.01	4.55	11.97%	11.97%
Total		6,015,569.99	22.32	12.69	33.37%	33.37%

Tabla 6. Área por tipo de espacio verde escenario 3 con proyecto descontando áreas duras y sin descontar áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

El siguiente grupo de tablas contiene la disponibilidad de áreas verdes descontando las áreas fuera de planes parciales.

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 1 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	432,000	Poblacion Total	636,689
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	1.60	1.09	5.15%	13.07%
	Quebradas	773,647.00	1.79	1.22	5.77%	
	Canales	287,987.22	0.67	0.45	2.15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,753,086.26	4.06	2.75	13.07%	13.07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	1.64	1.11	5.28%	5.28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189,694.70	0.44	0.30	1.41%	11.31%
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	0.72	0.49	2.33%	
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	993,295.96	2.30	1.56	7.41%	
	Lagos	21,407.99	0.05	0.03	0.16%	
Subtotal Parques		2,225,181.69	5.15	3.49	16.59%	16.59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.17	0.11	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.57	0.39	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.73	0.49	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	1.47	0.99	4.72%	4.72%
Subtotal Áreas Públicas		4,611,497.01	10.67	7.24	34.38%	34.38%
Institucionales	Clubes	1,089,655.02	2.52	1.71	8.12%	32.17%
	Parques Cementerios	1,343,486.51	3.11	2.11	10.02%	
	Institucionales	1,882,199.72	4.36	2.96	14.03%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25	9.99	6.78	32.17%	32.17%

Tabla 7. Área por tipo de espacio verde escenario 1 con proyecto sin descontar áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 2 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	352,643	Poblacion Total	557,332
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	1.96	1.24	5.15%	13.07%
	Quebradas	773,647.00	2.19	1.39	5.77%	
	Canales	287,987.22	0.82	0.52	2.15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,753,086.26	4.97	3.15	13.07%	13.07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	2.01	1.27	5.28%	5.28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189,694.70	0.54	0.34	1.41%	11.31%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	993,295.96	2.82	1.78	7.41%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	0.89	0.56	2.33%	
	Lagos	21,407.99	0.06	0.04	0.16%	
Subtotal Parques		2,225,181.69	6.31	3.99	16.59%	16.59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.21	0.13	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.70	0.44	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.89	0.56	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	1.80	1.14	4.72%	4.72%
Total Áreas Públicas		4,611,497.01	13.08	8.27	34.38%	34.38%
Institucionales	Clubes	1,089,655.02	3.09	1.96	8.12%	32.17%
	Parques Cementerios	1,343,486.51	3.81	2.41	10.02%	
	Institucionales	1,882,199.72	5.34	3.38	14.03%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25	12.24	7.74	32.17%	32.17%

Tabla 8. Área por tipo de espacio verde escenario 2 con proyecto sin descontar áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 3 SIN DESCONTAR ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	269,474	Poblacion Total	474,163
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	691,452.04	2.57	1.46	5.15%	13.07%
	Quebradas	773,647.00	2.87	1.63	5.77%	
	Canales	287,987.22	1.07	0.61	2.15%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,753,086.26	6.51	3.70	13.07%	13.07%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	708,466.32	2.63	1.49	5.28%	5.28%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	189,694.70	0.70	0.40	1.41%	11.31%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	993,295.96	3.69	2.09	7.41%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	312,316.72	1.16	0.66	2.33%	
	Lagos	21,407.99	0.08	0.05	0.16%	
Subtotal Parques		2,225,181.69	8.26	4.69	16.59%	16.59%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.27	0.15	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.91	0.52	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	1.16	0.66	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	2.35	1.34	4.72%	4.72%
Total Áreas Públicas		4,611,497.01	17.11	9.73	34.38%	34.38%

Áreas Verdes Privadas						
Institucionales	Clubes	1,089,655.02			8.12%	32.17%
	Parques Cementerios	1,343,486.51			10.02%	
	Institucionales	1,882,199.72			14.03%	
Subtotal Institucionales		4,315,341.25			32.17%	32.17%

Tabla 9. Área por tipo de espacio verde escenario 3 con proyecto sin descontar áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 1 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	432,000	Poblacion Total	636,689
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	1.44	0.98	4.64%	11.76%
	Quebradas	696,282.30	1.61	1.09	5.19%	
	Canales	259,188.50	0.60	0.41	1.93%	
Subtotal Áreas Protegidas		1,577,777.63	3.65	2.48	11.76%	11.76%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	0.82	0.56	2.64%	2.64%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	142,271.03	0.33	0.22	1.06%	8.23%
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.45	0.31	1.46%	
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area bruta)	744,971.97	1.72	1.17	5.55%	
	Lagos	21,407.99	0.05	0.03	0.16%	
Subtotal Parques		1,458,082.10	3.38	2.29	10.87%	10.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.17	0.11	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.57	0.39	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.73	0.49	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	1.47	0.99	4.72%	4.72%
Subtotal Áreas Públicas		3,669,088.79	8.49	5.76	27.35%	27.35%
Institucionales	Clubes	544,827.51	1.26	0.86	4.06%	16.09%
	Parques Cementerios	671,743.26	1.55	1.06	5.01%	
	Institucionales	941,099.86	2.18	1.48	7.02%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	4.99	3.39	16.09%	16.09%
Total		5,826,759.41	13.49	9.15	43.44%	43.44%

Tabla 10. Área por tipo de espacio verde escenario 1 con proyecto descontando áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 2 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	352,643	Poblacion Total	557,332
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	1.76	1.12	4.64%	11.76%
	Quebradas	696,282.30	1.97	1.25	5.19%	
	Canales	259,188.50	0.73	0.47	1.93%	
Subtotal Areas Protegidas		1,577,777.63	4.47	2.83	11.76%	11.76%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	1.00	0.64	2.64%	2.64%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	142,271.03	0.40	0.26	1.06%	8.23%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	744,971.97	2.11	1.34	5.55%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.55	0.35	1.46%	
	Lagos	21,407.99	0.06	0.04	0.16%	
Subtotal Parques		1,458,082.10	4.13	2.62	10.87%	10.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.21	0.13	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.70	0.44	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	0.89	0.56	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	1.80	1.14	4.72%	4.72%
Subtotal Áreas Públicas		3,669,088.79	10.40	6.58	27.35%	27.35%
Institucionales	Clubes	544,827.51	1.54	0.98	4.06%	16.09%
	Parques Cementerios	671,743.26	1.90	1.21	5.01%	
	Institucionales	941,099.86	2.67	1.69	7.02%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	6.12	3.87	16.09%	16.09%
Total		5,826,759.41	16.52	10.45	43.44%	43.44%

Tabla 11. Área por tipo de espacio verde escenario 2 con proyecto descontando áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

LAGOS DE TORCA SHAPES ESCENARIO 3 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		13,413,401.32	Habitantes	269,474	Poblacion Total	474,163
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas Protegidas	Humedales	622,306.84	2.31	1.31	4.64%	11.76%
	Quebradas	696,282.30	2.58	1.47	5.19%	
	Canales	259,188.50	0.96	0.55	1.93%	
Subtotal Areas Protegidas		1,577,777.63	5.86	3.33	11.76%	11.76%
Parques Metropolitanos	Parque Guaymaral	354,233.16	1.31	0.75	2.64%	2.64%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	142,271.03	0.53	0.30	1.06%	8.23%
	Parques Urbanos Planes Parciales (12,34% area)	744,971.97	2.76	1.57	5.55%	
	Alamedas Planes Parciales (3,88% area bruta)	195,197.95	0.72	0.41	1.46%	
	Lagos	21,407.99	0.08	0.05	0.16%	
Subtotal Parques		1,458,082.10	5.41	3.08	10.87%	10.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Separador Autopista	73,056.60	0.27	0.15	0.54%	4.72%
	Sistema Vial	246,245.86	0.91	0.52	1.84%	
	Controles Planes Parciales (3,9% area bruta)	313,926.60	1.16	0.66	2.34%	
Subtotal Sistema Vial		633,229.06	2.35	1.34	4.72%	4.72%
Subtotal Áreas Públicas		3,669,088.79	13.62	7.74	27.35%	27.35%
Institucionales	Clubes	544,827.51	2.02	1.15	4.06%	16.09%
	Parques Cementerios	671,743.26	2.49	1.42	5.01%	
	Institucionales	941,099.86	3.49	1.98	7.02%	
Subtotal Institucionales		2,157,670.63	8.01	4.55	16.09%	16.09%
Total		5,826,759.41	21.62	12.29	43.44%	43.44%

Tabla 12. Área por tipo de espacio verde escenario 3 con proyecto descontando áreas duras y descontando áreas fuera de planes parciales

Fuente: Elaboración propia

El siguiente grupo de tablas muestra la disponibilidad para el plan parcial “El Bosque” en los tres escenarios de población y descontando las áreas duras del espacio público y las zonas protegidas.

PLAN PARCIAL EL BOSQUE AMARILO ESCENARIO 1 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		715,304.36	Habitantes	41,648	Poblacion Total	54,026
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Humedales	48,079.90	1.15	0.89	6.72%	6.72%
Subtotal Afectaciones		48,079.90	1.15	0.89	6.72%	6.72%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	42,878.65	1.03	0.79	5.99%	8.87%
	Parque Lineal	20,590.93	0.49	0.38	2.88%	
Subtotal Parques		63,469.58	1.52	1.17	8.87%	8.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	21,800.30	0.52	0.40	3.05%	6.32%
	Controles Ambientales	23,406.75	0.56	0.43	3.27%	
Subtotal Sistema Vial		45,207.05	1.09	0.84	6.32%	6.32%
Total Cesiones		108,676.63	2.61	2.01	15.19%	15.19%
Total		156,756.53	3.76	2.90	21.91%	21.91%

Tabla 13. Área por tipo de espacio verde escenario 1 para el plan parcial “El Bosque” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

PLAN PARCIAL EL BOSQUE AMARILO ESCENARIO 2 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		715,304.36	Habitantes	33,839	Poblacion Total	46,217
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Humedales	48,079.90	1.42	1.04	6.72%	6.72%
Subtotal Afectaciones		48,079.90	1.42	1.04	6.72%	6.72%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	42,878.65	1.27	0.93	5.99%	8.87%
	Parque Lineal	20,590.93	0.61	0.45	2.88%	
Subtotal Parques		63,469.58	1.88	1.37	8.87%	8.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	21,800.30	0.64	0.47	3.05%	6.32%
	Controles Ambientales	23,406.75	0.69	0.51	3.27%	
Subtotal Sistema Vial		45,207.05	1.34	0.98	6.32%	6.32%
Total Cesiones		108,676.63	3.21	2.35	15.19%	15.19%
Total		156,756.53	4.63	3.39	21.91%	21.91%

Tabla 14. Área por tipo de espacio verde escenario 2 para el plan parcial “El Bosque” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

PLAN PARCIAL EL BOSQUE AMARILO ESCENARIO 3 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		715,304.36	Habitantes	24,729	Poblacion Total	37,107
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Humedales	48,079.90	1.94	1.30	6.72%	6.72%
Subtotal Afectaciones		48,079.90	1.94	1.30	6.72%	6.72%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	42,878.65	1.73	1.16	5.99%	8.87%
	Parque Lineal	20,590.93	0.83	0.55	2.88%	
Subtotal Parques		63,469.58	2.57	1.71	8.87%	8.87%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	21,800.30	0.88	0.59	3.05%	6.32%
	Controles Ambientales	23,406.75	0.95	0.63	3.27%	
Subtotal Sistema Vial		45,207.05	1.83	1.22	6.32%	6.32%
Total Cesiones		108,676.63	4.39	2.93	15.19%	15.19%
Total		156,756.53	6.34	4.22	21.91%	21.91%

Tabla 15. Área por tipo de espacio verde escenario 3 para el plan parcial “El Bosque” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

PLAN PARCIAL TIBABITA (PRODESA) ESCENARIO 1 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		257,200.00	Habitantes	18,445	Poblacion Total	19,130
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Ronda quebrada Tibabita	21,643.42	1.17	1.13	8.42%	8.42%
Subtotal Afectaciones		21,643.42	1.17	1.13	8.42%	8.42%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	14,365.31	0.78	0.75	5.59%	9.64%
	Parque Lineal	10,438.01	0.57	0.55	4.06%	
Subtotal Parques		24,803.32	1.34	1.30	9.64%	9.64%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	7,116.16	0.39	0.37	2.77%	7.29%
	Controles Ambientales	11,637.36	0.63	0.61	4.52%	
Subtotal Sistema Vial		18,753.52	1.02	0.98	7.29%	7.29%
Total Cesiones		43,556.84	2.36	2.28	16.94%	16.94%
Total		65,200.26	3.53	3.41	25.35%	25.35%

Tabla 16. Área por tipo de espacio verde escenario 1 para el plan parcial “Tibabita” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

PLAN PARCIAL TIBABITA (PRODESA) ESCENARIO 2 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		257,200.00	Habitantes	14,986	Poblacion Total	15,671
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Ronda quebrada Tibabita	21,643.42	1.44	1.38	8.42%	8.42%
Subtotal Afectaciones		21,643.42	1.44	1.38	8.42%	8.42%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	14,365.31	0.96	0.92	5.59%	9.64%
	Parque Lineal	10,438.01	0.70	0.67	4.06%	
Subtotal Parques		24,803.32	1.66	1.58	9.64%	9.64%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	7,116.16	0.47	0.45	2.77%	7.29%
	Controles Ambientales	11,637.36	0.78	0.74	4.52%	
Subtotal Sistema Vial		18,753.52	1.25	1.20	7.29%	7.29%
Total Cesiones		43,556.84	2.91	2.78	16.94%	16.94%
Total		65,200.26	4.35	4.16	25.35%	25.35%

Tabla 17. Área por tipo de espacio verde escenario 2 para el plan parcial “Tibabita” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

PLAN PARCIAL TIBABITA (PRODESA) ESCENARIO 3 DESCONTANDO ÁREAS DURAS						
Area total del proyecto		257,200.00	Habitantes	10,952	Poblacion Total	11,637
Tipología	Áreas Verdes	M2	M2/HAB	M2/POB TOTAL	% Areas Verdes	% Tipología
Áreas Urbanas	Ronda quebrada Tibabita	21,643.42	1.98	1.86	8.42%	8.42%
Subtotal Afectaciones		21,643.42	1.98	1.86	8.42%	8.42%
Parques Urbanos	Parques Urbanos	14,365.31	1.31	1.23	5.59%	9.64%
	Parque Lineal	10,438.01	0.95	0.90	4.06%	
Subtotal Parques		24,803.32	2.26	2.13	9.64%	9.64%
Verde Asociado al Sistema Vial	Alamedas	7,116.16	0.65	0.61	2.77%	7.29%
	Controles Ambientales	11,637.36	1.06	1.00	4.52%	
Subtotal Sistema Vial		18,753.52	1.71	1.61	7.29%	7.29%
Total Cesiones		43,556.84	3.98	3.74	16.94%	16.94%
Total		65,200.26	5.95	5.60	25.35%	25.35%

Tabla 18. Área por tipo de espacio verde escenario 3 para el plan parcial “Tibabita” descontando áreas duras

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Objetivos y metodología - Manejo integrado del agua

Se realizó un análisis general del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZ Norte), Lagos de Torca, con el objetivo de establecer recomendaciones sobre el que permitan reducir el impacto del desarrollo urbano en el área y contribuyan a la resiliencia del territorio. De esta manera el análisis comprendió dos escalas,

correspondientes al Plan de Ordenamiento Zonal y a los planes parciales. En lo referente al Plan de Ordenamiento Zonal se evaluaron tres indicadores que involucran una escala igual o mayor al proyecto Lagos de Torca; correspondientes a vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento, agua residual tratada al nivel de calidad requerido y calidad del cuerpo de agua receptor.

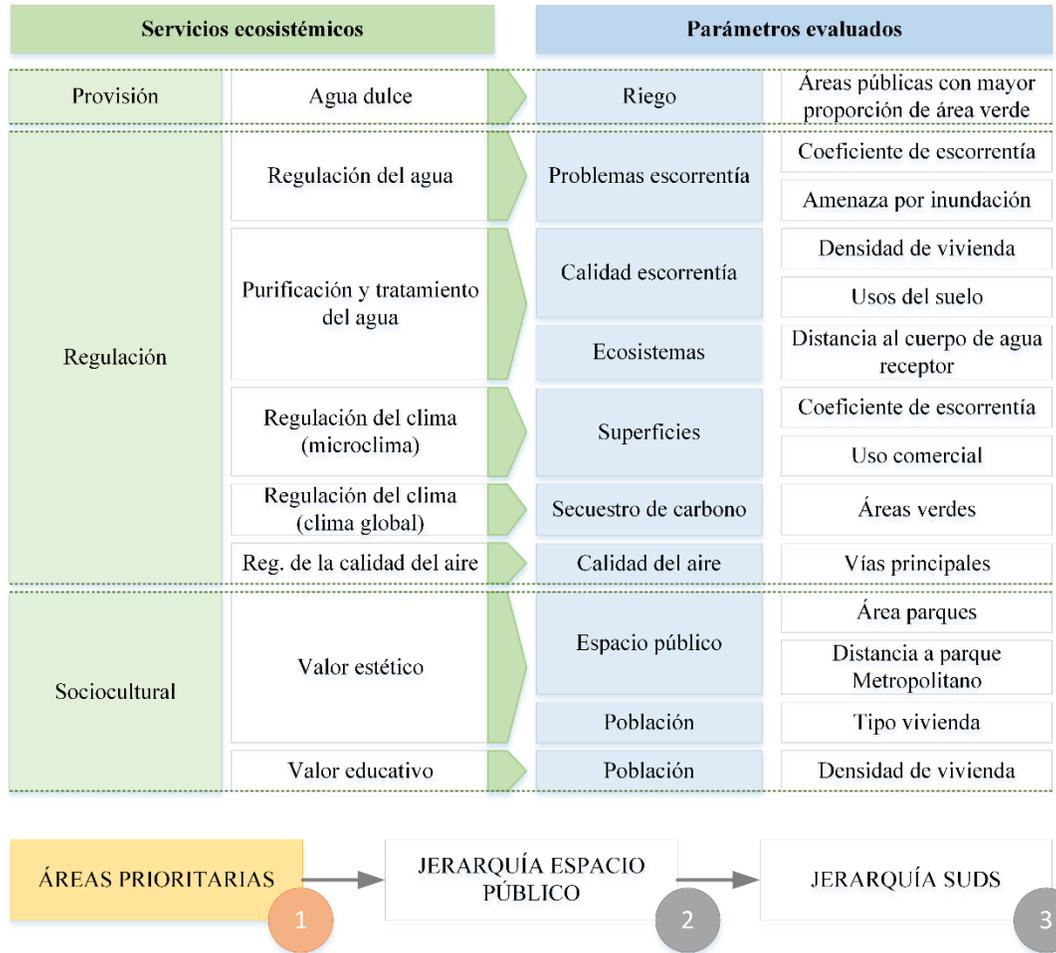


Figura 119. Priorización de áreas de acuerdo con el déficit de servicios ecosistémicos

A su vez se analizó el manejo de la escorrentía en el área considerando los servicios ecosistémicos que pueden ser provistos por los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Con este fin se adaptó la metodología propuesta previamente para Ciudad Verde considerando las limitaciones en la información producto de las diferentes etapas en las que se encuentran los planes parciales que han sido formulados para el POZ norte. El resultado corresponde a un índice de priorización a partir de un índice normalizado para cada servicio ecosistémico incluido en el análisis. En la Figura 119 se resume la información considerada para la determinación de áreas prioritarias. En este caso, la densidad de población se aproxima a partir de la densidad de vivienda y el ingreso socioeconómico a partir de la proporción de vivienda de interés social propuesta para cada plan parcial.

Por otro lado, la escala de plan parcial se concentró en dos planes parciales adoptados, correspondientes a Tibabita y El Bosque. De manera similar, a la escala del Plan de Ordenamiento Zonal, se evaluaron indicadores relevantes para la etapa de diseño de acuerdo con la información disponible (p.ej., razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización). A su vez, se realizó un análisis

del manejo de la escorrentía a partir de recomendaciones sobre los SUDS que pueden implementarse en estos planes parciales. Para esto se estableció una jerarquía de espacio público a través de un índice de oportunidad de provisión de servicios ecosistémicos. Posteriormente, se identificaron los SUDS factibles de acuerdo con un análisis de restricciones basadas en las características del terreno y en el espacio público planteado (i.e. pendiente, tasa de infiltración, distancia al nivel freático, área, tipo de espacio público y distancia a cimientos), desempeño y requerimientos para construcción y mantenimiento. Posteriormente se define una tipología de SUDS recomendada para cada polígono. La metodología utilizada para la selección se detalla en el Anexo 10 (Capítulo 6).

Anexo 15. Indicadores Análisis de Ciclo de Vida – Gestión de residuos

A continuación, se muestra la comparación de los resultados de la modelación de otros indicadores de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) entre el BAU y las alternativas propuestas para el escenario poblacional 1. En este análisis se incluye los impactos asociados a la operación de las instalaciones de gestión de residuos y los generados por su construcción, mantenimiento y futuro desmantelamiento, contemplando así todas las etapas de su ciclo de vida.

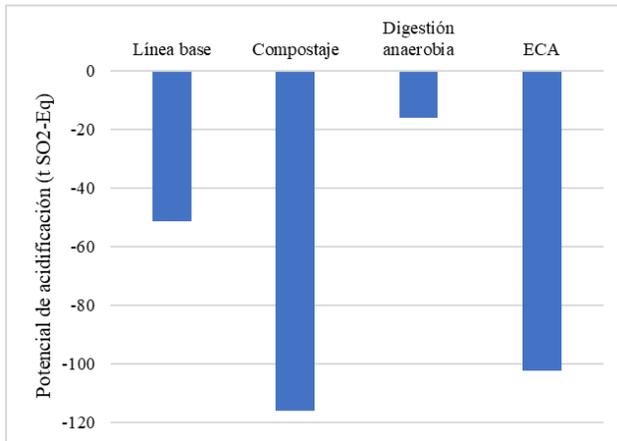


Figura 120. Comparación de Potencial de acidificación entre medidas

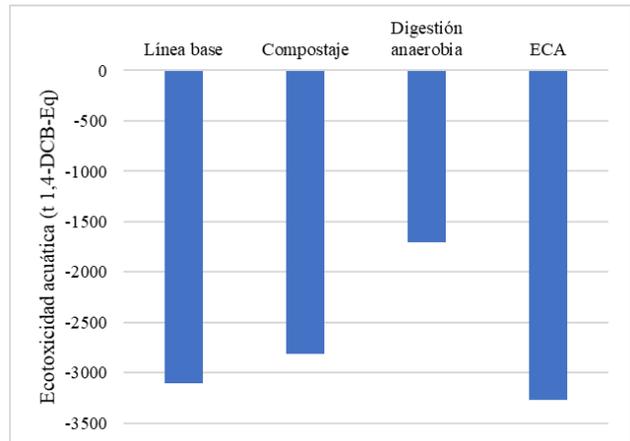


Figura 122. Comparación de Ecotoxicidad acuática entre medidas

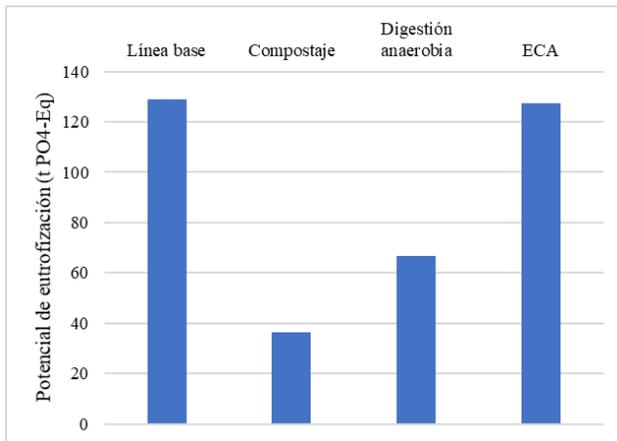


Figura 121. Comparación de Potencial de eutrofización entre medidas

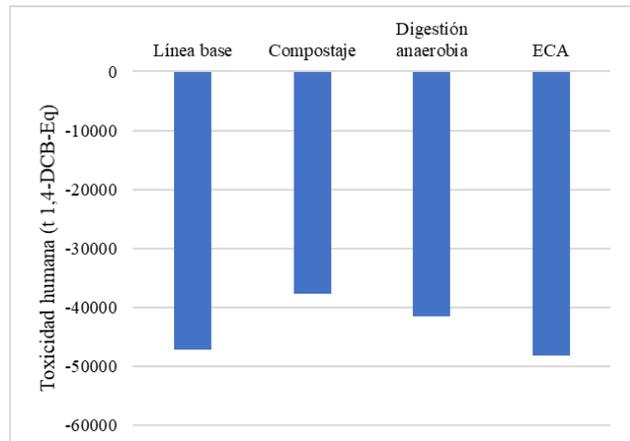


Figura 123. Comparación de Toxicidad humana entre medidas

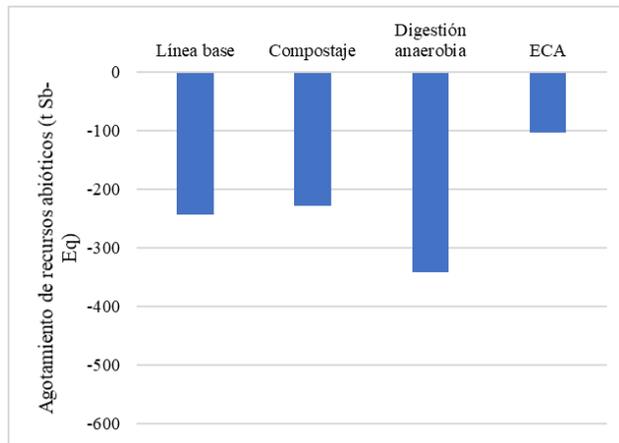


Figura 124. Comparación de Agotamiento de recursos abióticos entre medidas