



**Colombia+
Competitiva**

Cooperación suiza para la competitividad



Construcción Sostenible



Agradecimientos

El Proyecto "Construcción Sostenible y Economía Circular para dinamizar la Cadena de valor de Construcción de Santander" fue posible gracias a la contribución técnica y financiera del Programa Colombia + Competitiva, una iniciativa conjunta de la Embajada de Suiza en Colombia - Cooperación Económica y Desarrollo (SECO) y el Gobierno Nacional. La Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico - Swisscontact ejerció como facilitador nacional del Programa.

Agradecemos el esfuerzo conjunto de las entidades y empresas participantes en este Proyecto: Cámara de Comercio de Bucaramanga, Municipio de Bucaramanga, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Universidad Industrial de Santander (UIS), Universidad Santo Tomás de Aquino, Marval S. A., Melo y Álvarez Ingeniería S. A. S., Pedro C. Gómez Constructora S. A. S., Construcciones Zabdi S. A. S., AMV S. A., Otero Construcciones e Ingeniería S. A. S., Sumas Construcciones S. A. S. y Pretensados de Concreto del Oriente S. A. S.

Cámara de Comercio de Bucaramanga

Dr. Juan Camilo Beltrán Domínguez, Presidente Ejecutivo

María Alejandra Sampayo Guerrero, Vicepresidente Crecimiento y Sostenibilidad Global

Silvia Marcela Amorocho, Ejecutiva de Proyectos

Maira Patricia Figueroa Landazabal, Directora Clúster Construcción

Municipio de Bucaramanga

Ing. Juan Carlos Cárdenas, Alcalde del Municipio

Julián Silva, Secretario de Planeación

Nelson Ballesteros, Secretario de Salud y Ambiente

Henry A. Sarmiento, Subsecretario del Medio Ambiente

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Dr. Orlando Ariza Ariza, Director Regional

Dr. Juan Manuel Castillo Calderón, Subdirector Centro Industrial del Diseño y la Manufactura

Mireya Gamboa, Coordinadora Formación

Alex Fernel Jaimes Tarazona Profesional Especializado

Universidad Industrial de Santander

Ing. Hernán Porras Díaz, Rector

Vanesa Quiroga, Directora Transferencia de Conocimiento

Ing. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra, Docente Escuela de Ingeniería Mecánica

Ing. German Alfonso Osma Pinto, Docente Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Dr. Dionicio Laverde Cataño. Vicerrector de Investigación y Extensión UIS.

Dr. Sergio Fernando Castillo, DIEF Fisicomecánicas UIS.

Universidad Santo Tomás de Aquino
– Sede Bucaramanga

Fray Oscar Eduardo Guayán Perdomo, O. P.

Jorge Alberto Gómez Serpa, Director
Responsabilidad Social

Sergio Tapias Uribe, Docente Facultad de
Arquitectura

David Ricardo Gutiérrez Serrano, Docente
Facultad de Ingeniería Civil

Arq. Fabio Andrés Lizcano Prada. Decano -
Facultad de Arquitectura USTA.

Ing. William Caballero Moreno. Decano -
Facultad de Ingeniería Civil. USTA.

Arq. Francisco Eugenio Jordan Serrano

Marval S. A.

Ing. Sergio Marín Valencia, Gerente

Ing. José Francisco Molina, Auditor Nacional
de Planeación

Melo y Álvarez Ingeniería S. A. S.

Ing. Ramón Álvarez Hernández, Gerente

Ing. Eduardo Melo McCormick, Gerente
Técnico – Coordinador SGI

Pedro C. Gómez Constructora S. A. S.

Oscar Gómez, Gerente

Nathaly Villareal Torres, Talento Humano y
Calidad

Arq. Javier González

Construcciones Zabdi S. A. S.

Ing. Jaime Alberto Chávez, Gerente

Ing. Mónica Chávez Contreras, Directora
Control Interno

AMV S. A.

Ing. Álvaro Marín Valencia, Gerente

Ing. Maira Alejandra Cabrales Pérez, Directora
de Diseño

Otero Construcciones e Ingeniería S. A. S.

Ing. Adriano Otero, Gerente

Ing. Natalia Andrea Otero Bahamón, Subgerente

Arq. Otto Federico Cala

Sumas Construcciones S. A. S.

Ing. Federico Gómez Dangond, Gerente

Dairon Mahecha López
Director de Planeación

Arq. Beatriz Helena Dangond

Pretensados de Concreto del Oriente S. A. S.

Ing. Iván Eduardo Martínez Carrascal, Gerente

Ing. Carlos Emilio Silva, Director de Innovación

Equipo Técnico

Andrea Viviana Cifuentes Cuéllar, Consultora
Senior Construcción Sostenible

Juan David Villegas Gómez, Consultor Senior
Economía Circular

Nathalia Chávez Contreras, Consultora Junior
Economía Circular

Diana Magally Forero Toloza, Consultora Oferta
Académica

Reconocimiento a personas de apoyo

Línea base de consumos de agua y energía

Andrea Viviana Cifuentes Cuéllar
Consultora Senior Construcción Sostenible

Cámara de Comercio de Bucaramanga

Jorge Luis Cárdenas Rangel
Silvia Caballero

**Asesores Técnicos Eficiencia Energética
Universidad Industrial de Santander**

Alex Fernel Jaimes Tarazona
Asesor Técnico Agua

Servicio Nacional de Aprendizaje

Juan Felipe Quijano
Asesor Bioclimática
Arq. Sergio Tapias. Docente Usta

Universidad Santo Tomás de Aquino

José Daniel Triana
José David Valencia

Asesores Técnicos Arquitectura

Sociedad Colombiana de Arquitectos
- Regional Santander

***Estrategias de construcción
sostenible e incentivos***

Andrea Viviana Cifuentes Cuéllar
Consultora Senior Construcción Sostenible

Cámara de Comercio de Bucaramanga

Alexander Valencia
Magda Cárdenas
CAIA Ingeniería
Héctor Garzón
Laura Vega

**Asesores Certificación EDGE
SUMAC Latinoamérica**

Sandra Ortiz Barragán
Asesora Certificación HQE

SOB Arquitectura + Desarrollo Sostenible

Silvia Rey
Asesora Certificaciones CASA y LEED

Consejo Colombiano
de Construcción Sostenible

Modelo de gestión de RCD

PhD. JUAN DAVID VILLEGAS GÓMEZ
Consultor Senior Economía Circular

Ingeniera. Nathalia Chavez
Consultora Junior

Abreviaciones

ACV: Análisis de ciclo de vida

AFM: Análisis de flujo de materiales

AMB: Área Metropolitana de Bucaramanga

BIM: Building Information Model

Camacol: Cámara Colombiana de la Construcción

CCCS: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible

CS: Comisión de Seguimiento

DAP: Declaración Ambiental de Producto

DCF: Flujos de caja descontados

EC2S: Construcción sostenible y economía circular para dinamizar la cadena de valor de construcción de Santander

EDGE: Excellence in Design for Greater Efficiencies

ESCA: European Secretariat for Cluster Analysis (Secretaría Europea para el Análisis de Clúster)

ESP: Empresas de servicios públicos

HQE: Haute Qualité Environnementale

I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación

IM: Intensidad material

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

RCD: Residuos de Construcción y Demolición

RCP: Reglas de Categoría de Producto

RVP: Relación Ventana/Pared

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

SGEn: Sistema de Gestión Energética

SUI: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios

UIS: Universidad Industrial de Santander

USTA: Universidad Santo Tomás de Aquino

VIP: Vivienda de interés prioritario

VIS: Vivienda de interés social

VPN: Valor presente neto



1




Antecedentes

pág. 7

2

Instrumentos de apoyo empresarial para dinamizar la construcción sostenible

pág. 13

-  **2.1** Línea base para el ahorro de agua y energía pág. 14
-  **2.2** Estrategias de construcción sostenible pág. 46
-  **2.3** Modelo de gestión RCD pág. 58







1



Antecedentes

La cadena de valor del sector de la construcción en Santander cuenta con un tejido empresarial de 4.562 empresas (www.compitem360.com – Diciembre del 2020), siendo el 95% de ellas micro y pequeñas empresas; representa el 9% del PIB del Departamento y a pesar de las dificultades presentadas en año 2020, generó un total de 100 mil empleos de los cuales 34 mil fueron directos y 66 mil indirectos (Reporte DANE – último trimestre 2020) respondiendo de manera muy positiva al proceso de reactivación; lo cual se evidencia con un aumento del 39,1% en el número de viviendas iniciadas frente al 2019; en este mismo sentido la respuesta de la demanda también fue positiva, lográndose un aumento del 1,9% en número de unidades de viviendas vendidas frente al 2019, cifra que en promedio oscila entre los 4.500 millones de pesos.

Dentro del anterior contexto; el Clúster de Construcción ha generado la oferta de vivienda necesaria

ria para movilizar la economía, inversión y el Empleo; Santander hoy cuenta más de 7.300 unidades de vivienda disponibles en el mercado, de las cuales el 30,6% corresponde a vivienda de interés social (Camacol – Coordinada Urbana, febrero del 2021).

Este sólido panorama del sector se remonta al año 2013, cuando, en respuesta a la dinámica regional, la Cámara de Comercio de Bucaramanga, junto con un grupo de empresas de importante trayectoria en la región, empezaron a focalizar esfuerzos y recursos para el fortalecimiento de la productividad y competitividad de la construcción a través de las iniciativas clúster. Fue así como a finales del año 2015 se inició la ejecución del primer proyecto de innovación y fortalecimiento empresarial, con la participación de 10 empresas del sector representantes de diferentes eslabones de la cadena de valor. Este primer proyecto permitió desarrollar una hoja de

ruta para trabajar de manera interinstitucional y colectiva y, así mismo, sentar las bases técnicas de estudio y entendimiento a través del desarrollo de prototipos de nuevos productos y servicios en las temáticas de *prefabricados de construcción, residuos de construcción y demolición (RCD), Building Information Model (BIM) y herramientas para la sostenibilidad y la construcción sostenible.*

Hoy, después de cinco años de trabajo imparable por parte de este grupo empresarial, ya son 60 empresas las que se han sumado a esta iniciativa de proyectos colectivos, actuando como impulsores del desarrollo técnico y económico del sector. La mayoría de ellas han entablado importantes lazos de confianza y cooperación bajo un esquema de gobernanza y operación que permite integrar de manera efectiva actores de la cuádruple hélice (so-

ciudad civil, tejido empresarial, academia y Gobierno) en los diferentes proyectos y actividades que se llevan a cabo bajo la estrategia de valor total del clúster de construcción de Santander.

Lo anterior le ha permitido al clúster recibir dos reconocimientos nacionales en los años 2016 y 2019 como mejor iniciativa clúster de Colombia por parte del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, iNNpulsa y la Red Clúster Colombia. A esto se suma un reconocimiento internacional en "Cluster Management Excellence" – Bronce por parte de la European Secretariat for Cluster Analysis (Secretaría Europea para el Análisis de Clúster, ESCA por su sigla en inglés), organización con base en Berlín cuyo foco es fortalecer y reconocer las excelencias de clústeres creados a nivel mundial.

Principales hitos del clúster desde su creación

Ejecución

Formulación y aprobación proyecto de financiación iNNpulsa



Tal como se muestra en la línea de tiempo, entre los principales aspectos por resaltar se tienen la ejecución a la fecha de cuatro proyectos de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) y de fortalecimiento empresarial y comercial; la formación del recurso humano en competencias técnicas, profesionales y especializadas, y el desarrollo de eventos “Foro Constructor” que permiten la difusión de nuevo conocimiento de acuerdo a tendencias de la industria y a retos del sector.


Además de las anteriores labores, que se ejecutan año a año en el clúster, también se ha trabajado en la publicación de guías y manuales técnicos, se han realizado misiones técnicas y comerciales a Europa y América Latina, y se han ejecutado actividades de promoción y desarrollo de emprendimientos. En este sentido cabe destacar la articulación con redes de apoyo como la Red Nacional de Clúster de la Construcción, que cuenta con siete iniciativas activas, y la Red Clúster Colombia. De igual forma, se ha contado con el apoyo de agremiaciones de cobertura nacional e internacional como Camacol Santander, Camacol Nacional, Procemco (antes Asocreto) y la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado (FIHP), así como de entidades como Procolombia, ANDI, la Sociedad Colombiana de Arquitectos, la Sociedad Colombiana de Ingenieros-Capítulo Santander y la Comisión Regional de Competitividad. En esta misma vía cobran importancia los lazos de cooperación con la academia, la cual también ha tenido un papel protagónico importante en el fortalecimiento del clúster, por lo cual se resaltan la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Universidad Santo Tomás de Aquino (USTA) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), principalmente.

Ahora bien, teniendo en cuenta el anterior contexto, y tomando como base los estudios realizados en los años 2016 y 2017 en las temáticas citadas anteriormente, con principal énfasis en la línea de *construcción sostenible*, a partir del año 2018 se lograron materializar importantes esfuerzos que

se venían gestando en el marco del clúster y desarrollar productos de importante impacto regional y nacional. Para esto se contó con el apoyo de los recursos provenientes de la primera convocatoria nacional PC+C+07 del programa de Colombia + Competitiva-SECO (Secretaría de Estado para Asuntos Económicos del Gobierno de Suiza), operado por iNNpulsa Colombia y acompañado por Swisscontact Colombia. Es así como se da lugar a la ejecución, durante el periodo 2018-2020, del proyecto “Construcción sostenible y economía circular para dinamizar la cadena de valor de construcción de Santander” (Convenio PC+CO34-017), denominado por sus siglas EC2S.

El proyecto EC2S contó con la participación de ocho empresas del clúster, las cuales fueron involucradas de acuerdo a su experticia en una o varias de las fases del proyecto con personal técnico de sus empresas, recursos físicos y económicos. De este modo, estas entidades se convirtieron en las principales impulsoras de cada uno de los procesos desarrollados:





No obstante, también es preciso mencionar que durante la ejecución del proyecto se logró involucrar a cerca de 35 empresas, quienes suministraron información, materiales y apoyo para el desarrollo de los diferentes estudios y productos. Es importante resaltar además que este grupo empresarial estuvo acompañado de un equipo técnico de consultores que formaron parte activa de este proceso, así como de un grupo de docentes e investigadores de alto nivel académico y humano de entidades educativas como la UIS, la USTA-Seccional Bucaramanga, el SENA-Regional Santander, el Centro SENA de la Construcción de Floridablanca y el Centro Industrial de Mantenimiento Integral SENA de Girón. Por supuesto, merece mención especial el Municipio de Bucaramanga por acompañar cada una de las etapas, en especial la Oficina de Asuntos Internacionales (OFAI) y el Taller de Arquitectura.

De manera adicional, y gracias a la contribución de Swisscontact, se logró acceder a un acompañamiento especializado por parte de la Red de Expertos SEN, concretamente del proyecto suizo *Smart*

Living Lab, un laboratorio inteligente que permite el desarrollo de procesos de investigación e innovación para la construcción sostenible.

Finalmente, la Cámara de Comercio de Bucaramanga, como entidad administradora del convenio, expresa su total agradecimiento a cada una de las entidades proponentes, a las empresas que se fueron aliando al proyecto en cada etapa, al recurso humano tanto de planta como contratistas que han hecho posible que este proyecto haya tenido los mejores resultados en el marco del objetivo general y propósito principal: “*la dinamización de la construcción sostenible en el departamento*”, generando productos y conocimiento de interés nacional e internacional.

Esta publicación presenta, entonces, parte de los resultados, esperando que estos puedan ser de utilidad, replicabilidad y/o mejoramiento por parte de los diferentes actores e instancias locales y nacionales, públicas y privadas involucradas con el desarrollo sostenible y la economía circular en el marco de acción del sector de la construcción.

MSc. Ing. Maira Patricia Figueroa Landazabal

Directora del proyecto PC+CO34-017
Clúster Manager Construcción
Cámara de Comercio de Bucaramanga



2



**Instrumentos
de apoyo
empresarial
para dinamizar
la construcción
sostenible**



2.1

Línea base para el ahorro de agua y energía

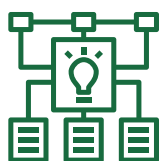
Antecedentes

La construcción sostenible en Colombia se encuentra regulada por la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

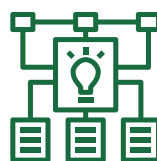


Esta norma es de obligatorio cumplimiento en todo el territorio nacional y determina los porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía que deben lograr las nuevas edificaciones. Para dicho fin, la resolución propone una serie de medidas de implementación, enmarcadas dentro de la denominada *Guía de construcción sostenible*.

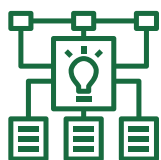
No obstante, dos años después del inicio de la vigencia de la resolución empezaron a detectarse ciertas dificultades en algunos municipios del país para cumplir la norma y hacerle seguimiento. Concretamente, en el caso del área metropolitana de Bucaramanga (AMB), el proyecto EC2S puso en evidencia:



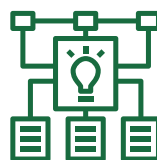
Una clasificación climática imprecisa para los municipios del AMB: Bucaramanga, Girón, Piedecuesta y Floridablanca.



Un alto porcentaje de incertidumbre de los datos de línea base que les corresponden a los municipios del AMB.



Falta de claridad técnica en los métodos de implementación de la norma.



Métodos insuficientes para la verificación del cumplimiento de la norma.



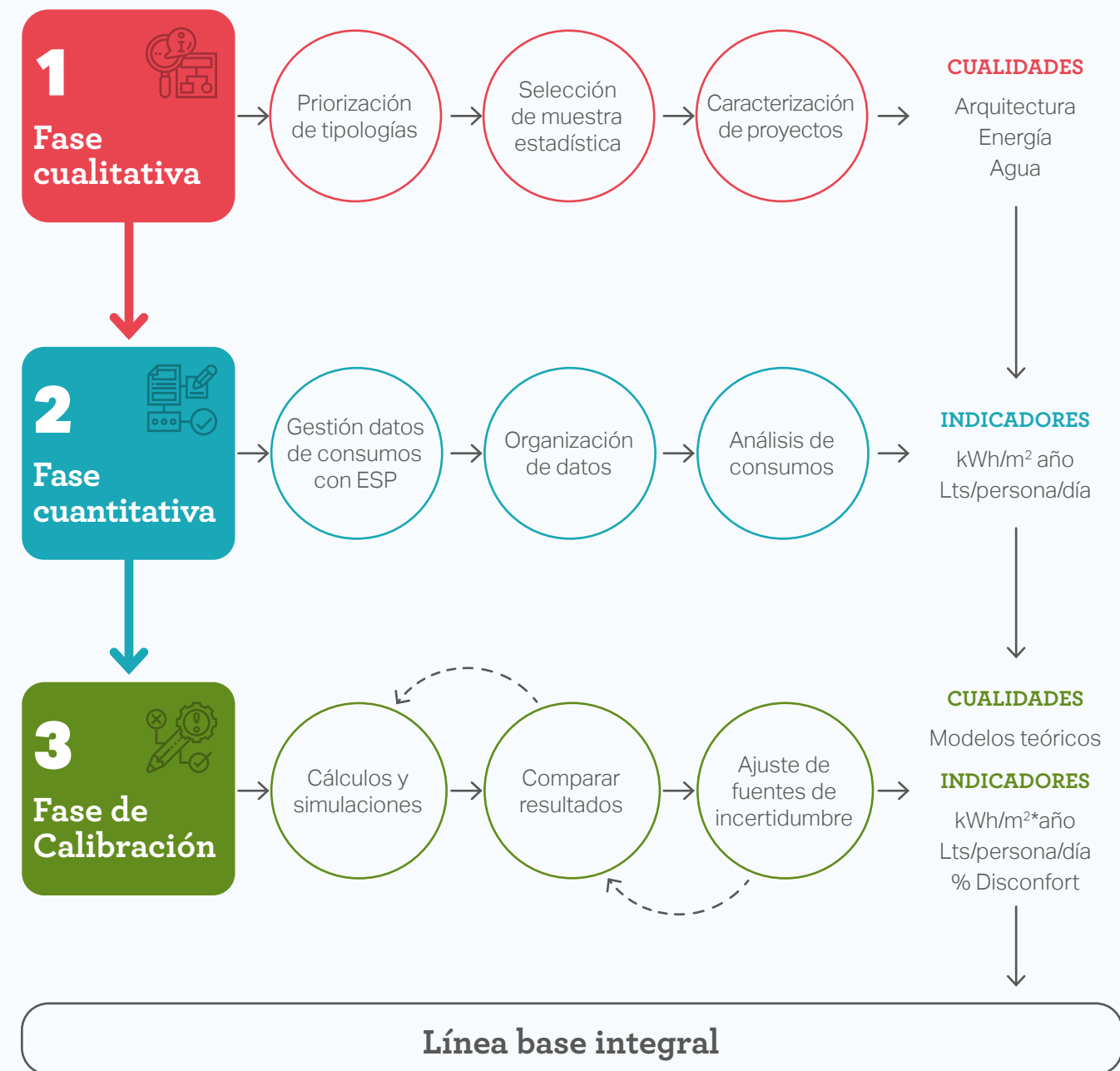
Con base en estos hallazgos, el proyecto estructuró y desarrolló una metodología destinada a construir la línea base de consumos de agua y energía para el AMB. Esta propuesta contempla tres fases, cada una con distintas etapas:

1 Fase cualitativa: identifica las prácticas más representativas en cuanto a diseño arquitectónico, equipos de energía y agua dentro del área en estudio, con miras a establecer *modelos teóricos*.

2 Fase cuantitativa: el propósito de esta fase era obtener indicadores de intensidad de consumo energético (kWh/m² año) y de agua (ts/persona/día) a partir de las cifras de las empresas de servicios públicos (ESP) y del Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI).

3 Fase de calibración: por lo general, el modelado de edificaciones es una tarea compleja debido a las diversas suposiciones que se realizan al caracterizarlas. Por ello esta fase se enfocó en ajustar los parámetros de entrada obtenidos en la primera fase con los datos de la segunda.

Metodología para la construcción de la línea base para el AMB



2.1.2

Proceso metodológico

1

Fase cualitativa

Priorización de tipologías de construcción

En el caso del AMB, las más utilizadas son la vivienda multifamiliar (apartamentos) y las oficinas. Las viviendas, en particular,

se subdividieron según los estratos socioeconómicos, de manera que se obtuvieron en total cuatro tipologías:



Vivienda de interés social



Vivienda estratos 5 y 6

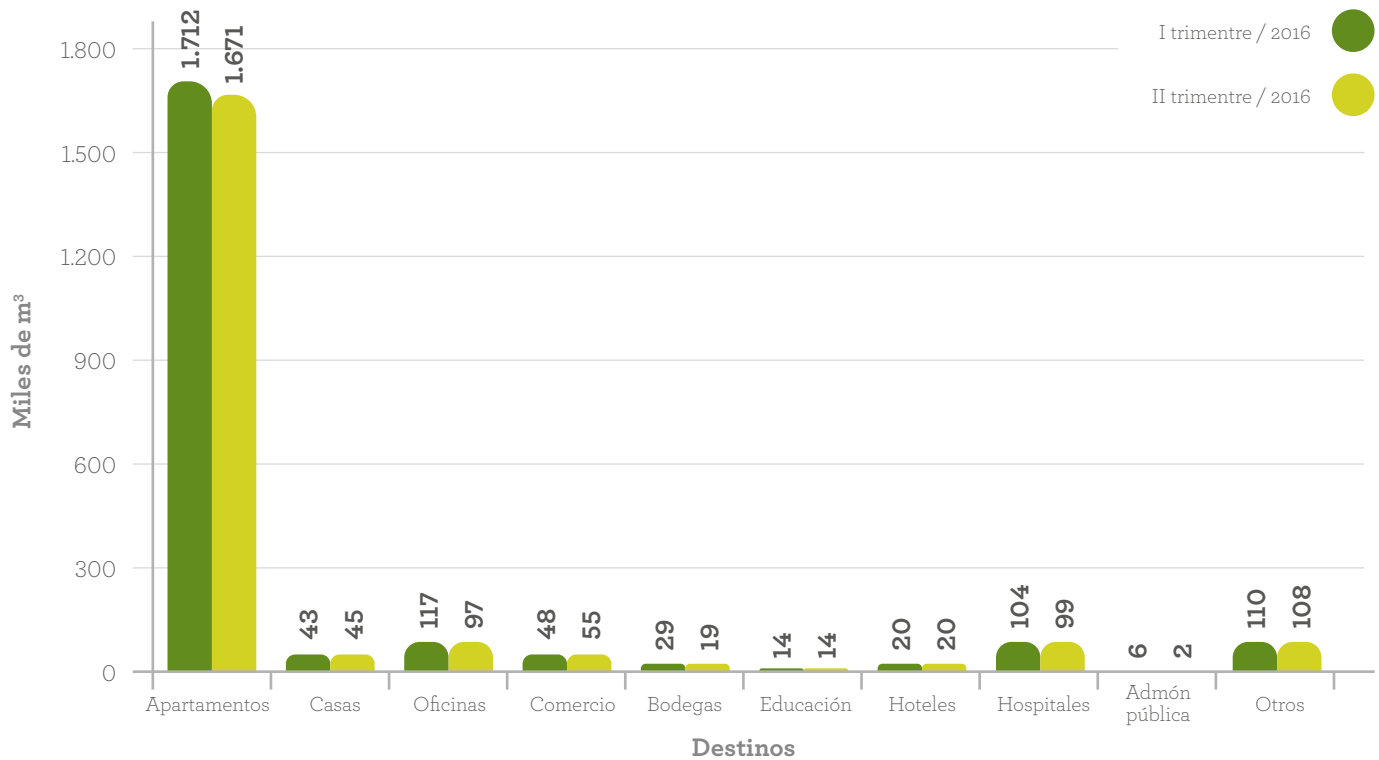


Vivienda estratos 3 y 4



Oficinas

— Metros cuadrados en proceso según destino, AMB (I y II trimestres de 2016)



Fuente: CCB e iNNpulsa (2016)

Selección de muestra estadística

En esta etapa se seleccionó una muestra de construcciones que se caracterizaron dentro de las tipologías priorizadas. Se tomaron 20 proyectos—cinco por cada tipología, de por lo menos tres constructoras distintas—, que debían cumplir estos criterios:



No contar con sellos ni certificaciones de construcción sostenible



Hallarse dentro de los usos priorizados.



Estar ubicados dentro del AMB.



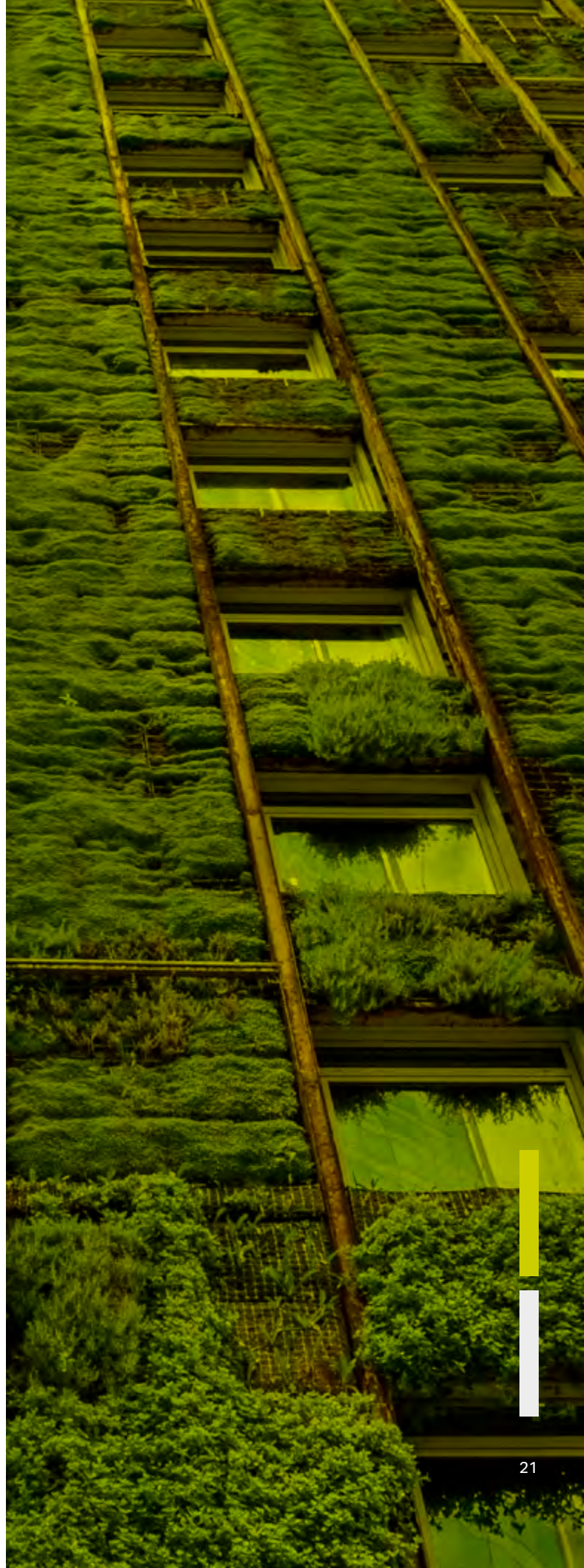
Tipología arquitectónica excluida: vivienda unifamiliar/casa.



Haber sido construidos entre el 2010 y el 2018.



Encontrarse en uso en el momento





— Consolidado de proyectos para muestra estadística Línea Base AMB



VIS y VIP



Estratos 3 y 4

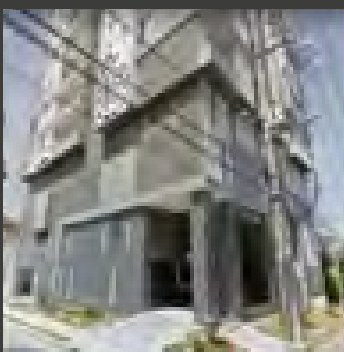




Estratos 5 y 6




Oficinas



Caracterización de proyectos

En esta etapa se recopiló información de las construcciones seleccionadas. Con ese fin, se elaboró una herramienta que permitió clasificar los datos por atributos (numéricos o alfanuméricos), tabularlos, analizarlos estadísticamente y relacionarlos con fotografías. Los estudiantes de la UIS y de la USTA involucrados en el proyecto recibieron capacitaciones para el uso de este instrumento, así como sobre conceptos básicos de construcción sostenible. La información recabada por ellos en cada construcción fue revisada y validada posteriormente por profesionales de arquitectura, energía, HVAC y agua.



Los estudiantes de la UIS y de la USTA involucrados en el proyecto recibieron capacitaciones para el uso de este instrumento.

Cualidades de modelos teóricos

Una vez registradas las características constructivas y de los sistemas energéticos e hidrosanitarios usados en las construcciones que conformaban la muestra, se establecieron las cualidades representativas de cada tipología de uso. En la ejecución del proyecto en el AMB, esta etapa contó con la colaboración de estudiantes de arquitectura de la USTA:



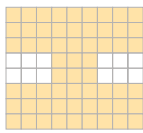
a

En primer lugar se realizó un análisis morfológico en el que se identificaron las características predominantes en planta en todos los proyectos.

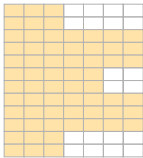
- Análisis morfológico de los 20 proyectos seleccionados en el AMB

Vivienda de interés social

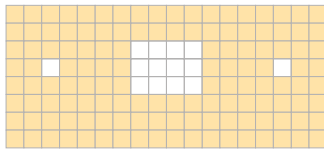
Girardot 628



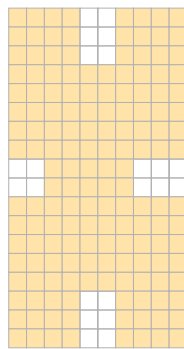
Reserva de la Inmaculada



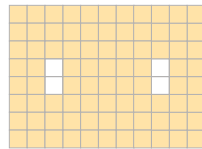
Altos villa Lina



Villa Marcela

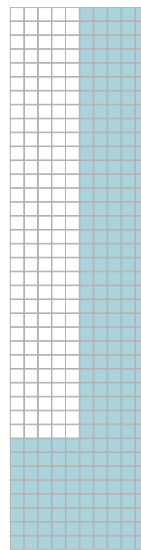


Sendero de Miraflores

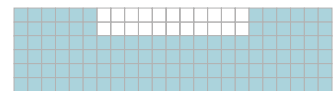


Vivienda estratos 3 y 4

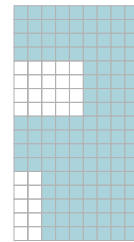
Favuis K27



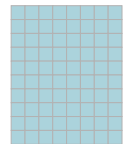
Torre Gironela



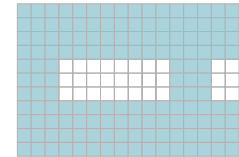
Le Parc



Los Caobos

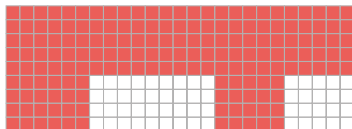


Azalia

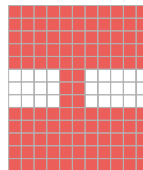


Vivienda estratos 5 y 6

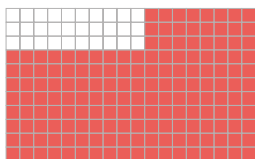
Dubai



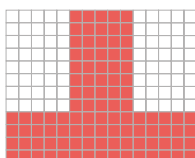
Montecasino



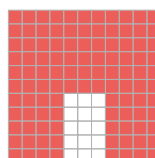
Ambroxia



Sierra Colina

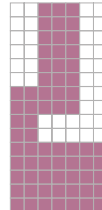


Palo Alto

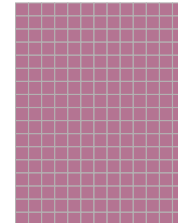


Oficinas

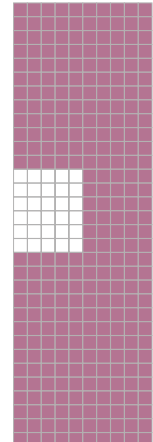
O 41



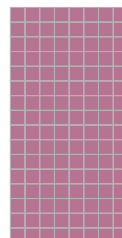
De la Cuesta



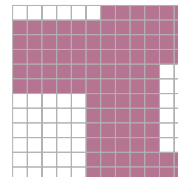
Green Gold

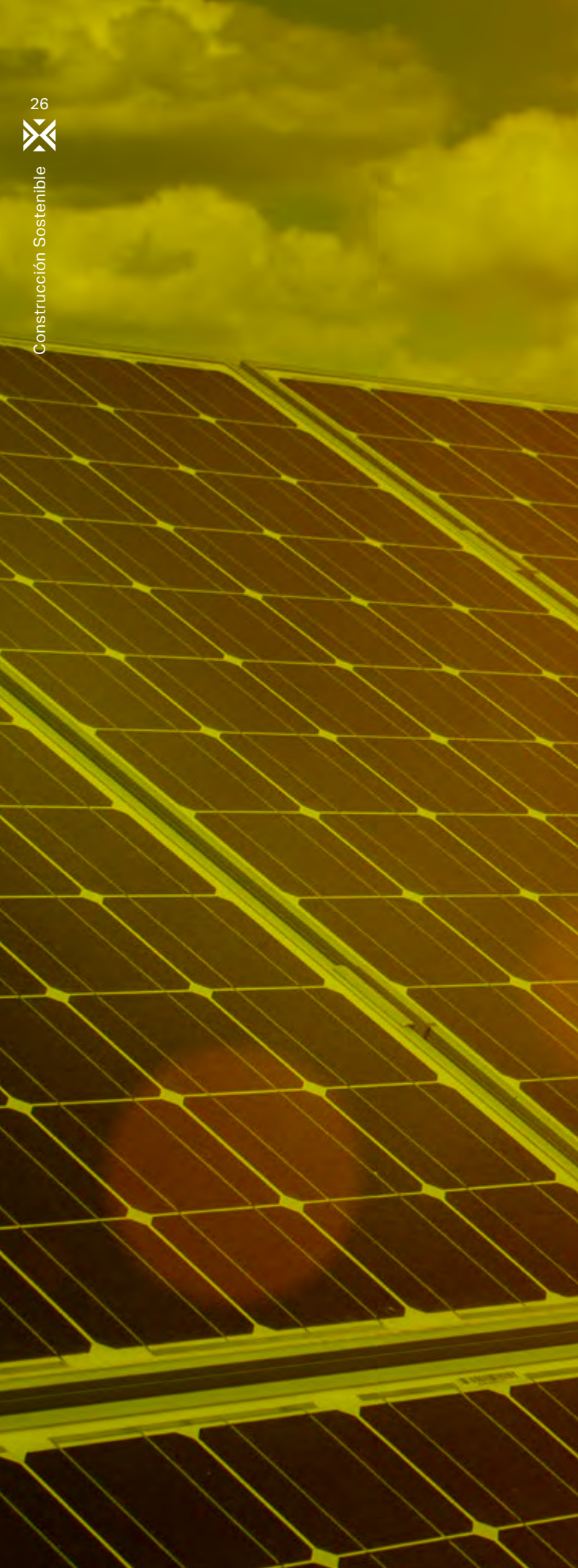


Metropolitan



Fenix



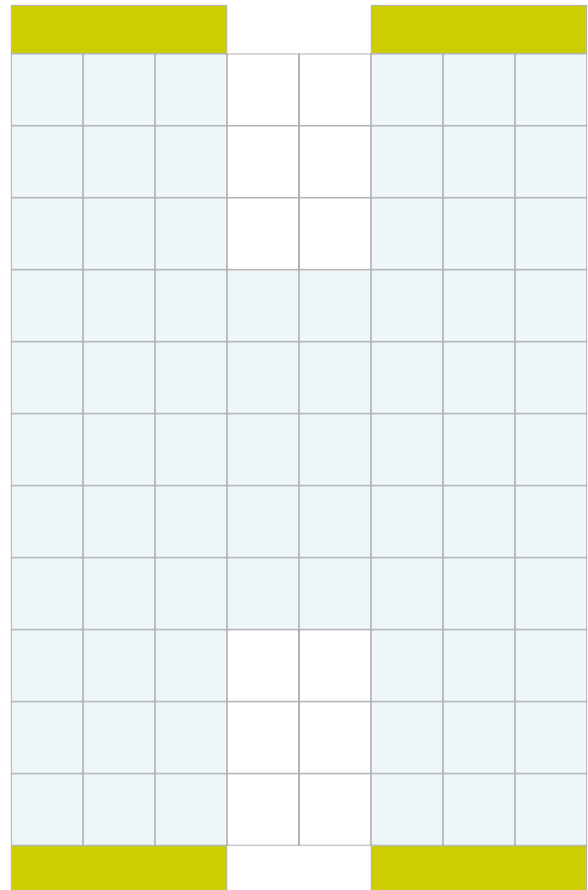


b

A partir del análisis de morfología se definió una planta tipo para el modelo teórico de cada tipología establecida.

- Esquema de morfología en planta de los modelos teóricos establecidos para el AMB

 Culata







C

Para definir la altura de cada modelo teórico se tuvo en cuenta el promedio de pisos de los proyectos estudiados. En el AMB, se observó que las tipologías de vivienda VIS y de oficinas se encuentran por debajo de los 15 pisos, y las tipologías de vivienda estratos 3 y 4 y estratos 5 y 6 se encuentran por encima de 15 pisos.

— Promedio de pisos por tipologías del AMB



TIPOLOGÍA	PROYECTO	PISOS	PROMEDIO / PISOS
 VIS	A	22	12
	B	13	
	C	5	
	D	12	
	E	6	
 Estratos 3 y 4	A	12	15
	B	9	
	C	13	
	D	21	
	E	20	
 Estratos 5 y 6	A	18	18
	B	18	
	C	21	
	D	17	
	E	18	
 Oficinas	A	15	14
	B	11	
	C	15	
	D	11	
	E	20	



d

Se elaboró un estudio de RVP (relación ventana pared) mayores y menores.

— RVP mayores y menores por tipologías para la AMB

TIPOLOGÍA	PROYECTO	MEDIDO		PROMEDIO		FINAL	
		RVP	RVP	RVP	RVP	RVP	RVP
		Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
 VIS	A	34	28				
	B	39	0				
	C	45	23	36.6	15	35	15
	D	42	16				
	E	23	8				
 Estratos 3 y 4	A	40	20				
	B	23	23				
	C	34	18	40.6	19.6	40	20
	D	60	17				
	E	46	20				
 Estratos 5 y 6	A	40	10				
	B	50	38				
	C	56	10	48.4	24.4	50	25
	D	48	32				
	E	48	32				
 Oficinas	A	80	10				
	B	20	10				
	C	80	40	62	16	60	15
	D	55	5				
	E	75	15				



e

Se definieron los modelos virtuales con toda la información recogida en la caracterización. Para ello se consideraron aspectos que afectan el comportamiento térmico y energético de las edificaciones, como la presencia o no de balcones, si el balcón es un retroceso en fachada o un voladizo y la cantidad de ascensores.



Modelo teórico de vivienda VIS para AMB

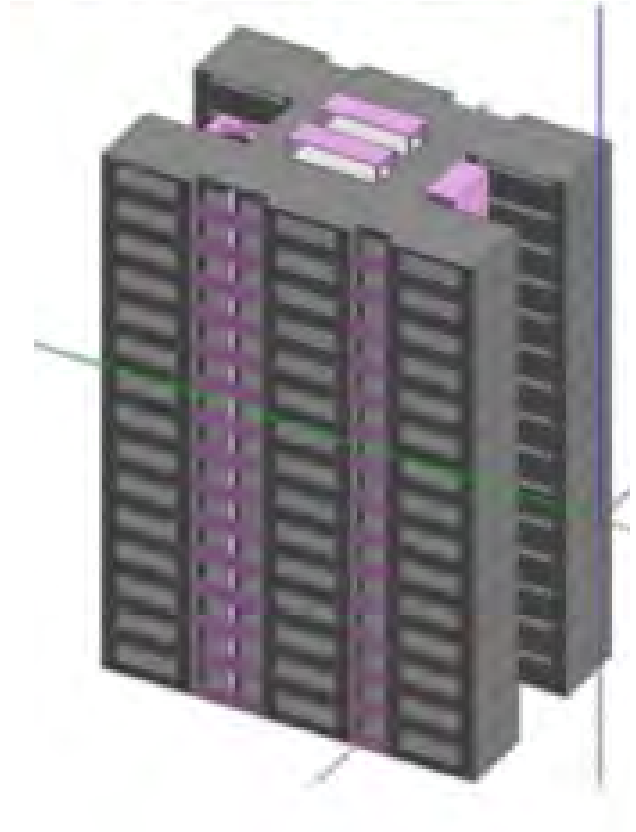
DIMENSIONES GENERALES

Pisos arriba del suelo	12 Pisos
Altura piso a piso	2,5 m
RVP mayor	35 %
RVP menor	15 %





Modelo teórico de vivienda en estratos 3 y 4 para AMB



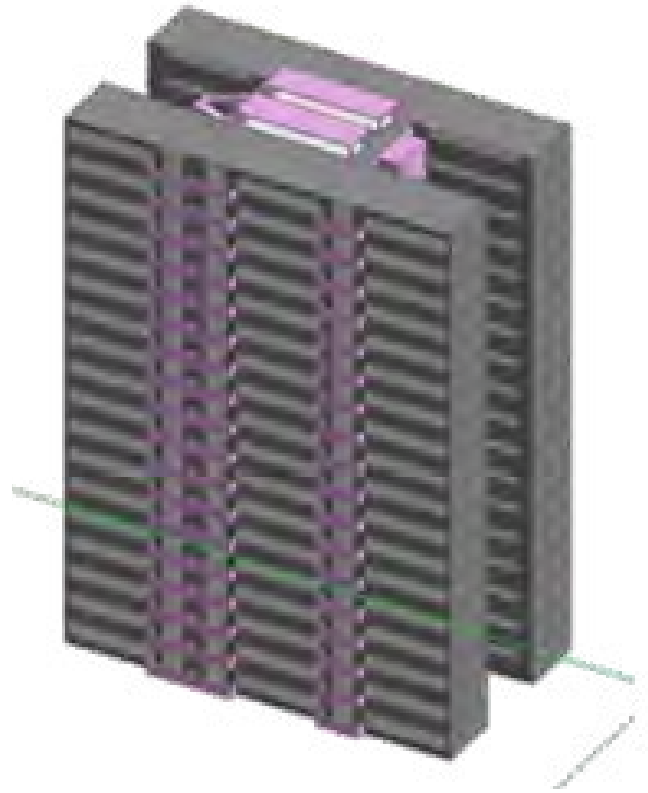
DIMENSIONES GENERALES

Pisos arriba del suelo	15 Pisos
Altura piso a piso	2,7 m
RVP mayor	40 %
RVP menor	20 %





Modelo teórico de vivienda en estratos 5 y 6 para AMB



DIMENSIONES GENERALES

Pisos arriba del suelo	18 Pisos
Altura piso a piso	3 m
RVP mayor	50 %
RVP menor	25 %





Modelo teórico de oficinas para AMB



DIMENSIONES GENERALES

Pisos arriba del suelo	14 Pisos
Altura piso a piso	3,5 m
RVP mayor	60 %
RVP menor	15 %

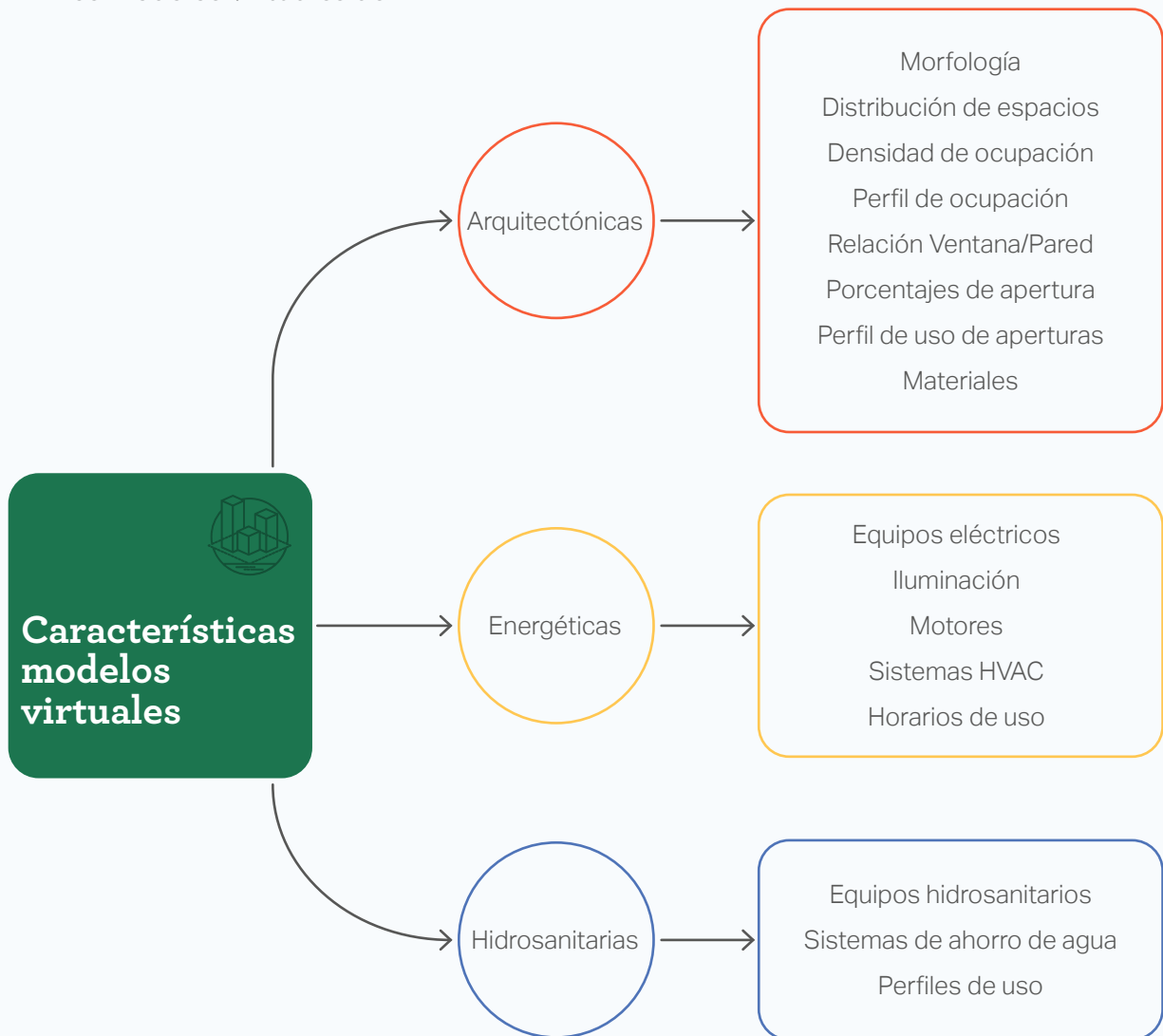




f

Finalmente, se definieron las cualidades arquitectónicas, energéticas e hidrosanitarias representativas para cada uno de los modelos teóricos.

— Características definidas para los modelos virtuales del AMB



2



Fase cuantitativa

Gestión de datos de consumos con empresas de servicios públicos:

Para esta etapa se enviaron comunicados formales para solicitar los datos, o se pueden hacer reuniones presenciales con los funcionarios de las empresas de servicios públicos. En el trabajo dentro de

la AMB, el consumo de energía se registró para un periodo de seis meses comprendido entre agosto 2018 y febrero 2019, mientras que el consumo de agua correspondió a periodos de 12 meses.

Mientras que en la primera fase del proyecto en el AMB se caracterizaron tres espacios por proyecto, en la fase cuantitativa se pudieron obtener datos de todos los apartamentos y oficinas, de modo que se enriqueció la muestra estadística de la línea base.



Organización de datos:

En esta etapa se revisaron, depuraron y organizaron los datos brindados por las empresas de servicios públicos con el objetivo de trabajar únicamente con los correspondientes al consumo de energía y de agua en las edificaciones que conformaban la muestra estadística. Para el consumo de energía de las 20 construcciones del AMB e usaron las siguientes categorías:



Datos de consumo de apartamentos u oficinas.



Datos de consumo de servicios generales.



Datos de consumo de bombas contra incendios.



Datos de consumo de cuentas con usos diferentes al uso principal de la tipología (no tenidos en cuenta).

Para el consumo de agua, se asignaron estas categorías:



Datos de consumo de apartamentos u oficinas.



Datos de consumo de servicios generales.



Datos de consumo de cuentas con usos diferentes al uso principal de la tipología (no tenidos en cuenta).





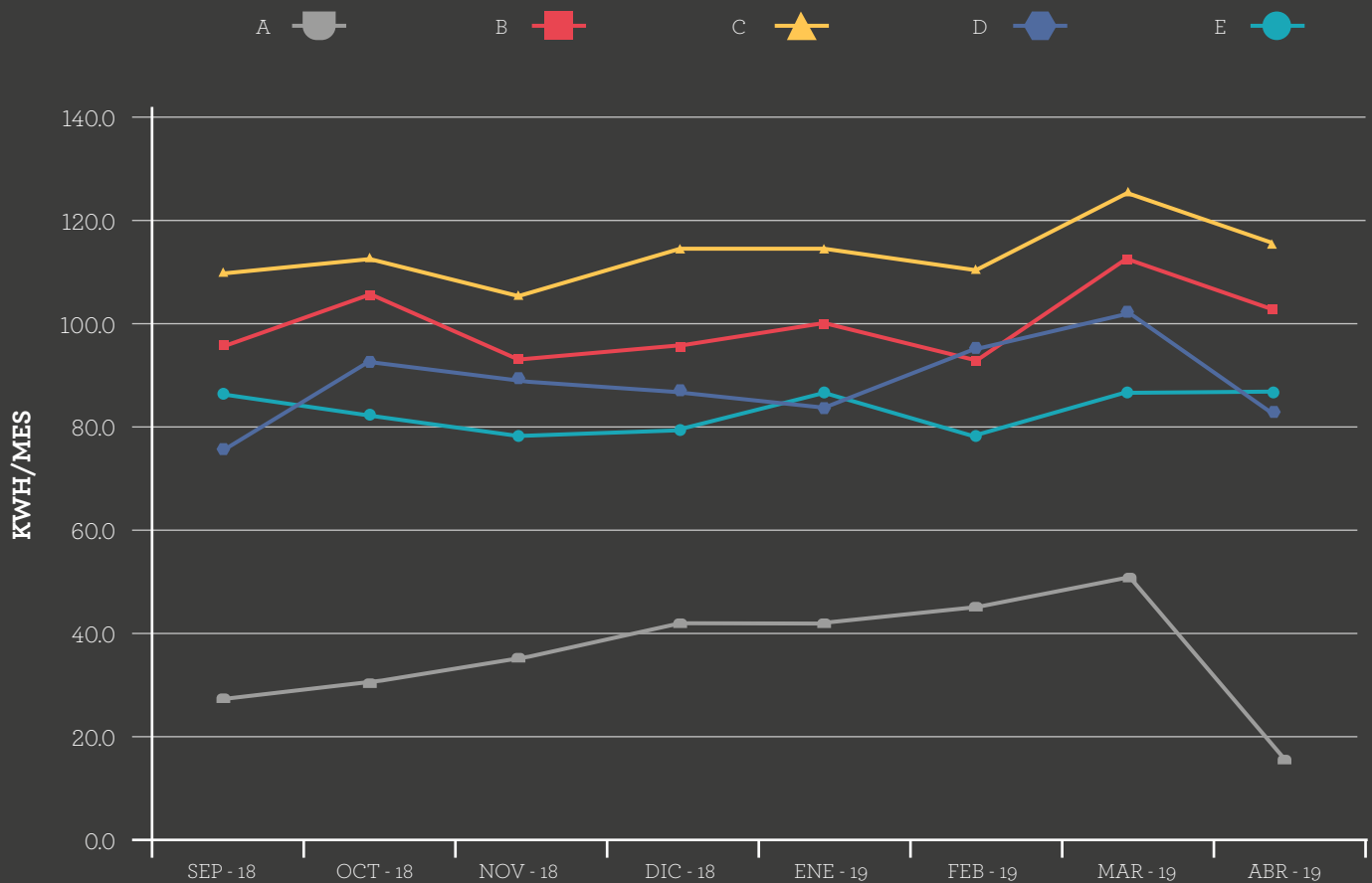
■ Análisis de consumo de energía:

Se realizó a partir de la estimación del valor promedio mensual del consumo energético, infiriendo patrones de consumo en proyectos de una misma tipología. Para el cálculo de la intensidad de consumo energético se

tuvo en cuenta el consumo energético más alto de todas las edificaciones estudiadas. La figura representa un ejemplo de los hallazgos obtenidos en el marco del proyecto EC2S en el AMB.



Curva de consumo mensual promedio en viviendas de estratos 3 y 4 en el AMB





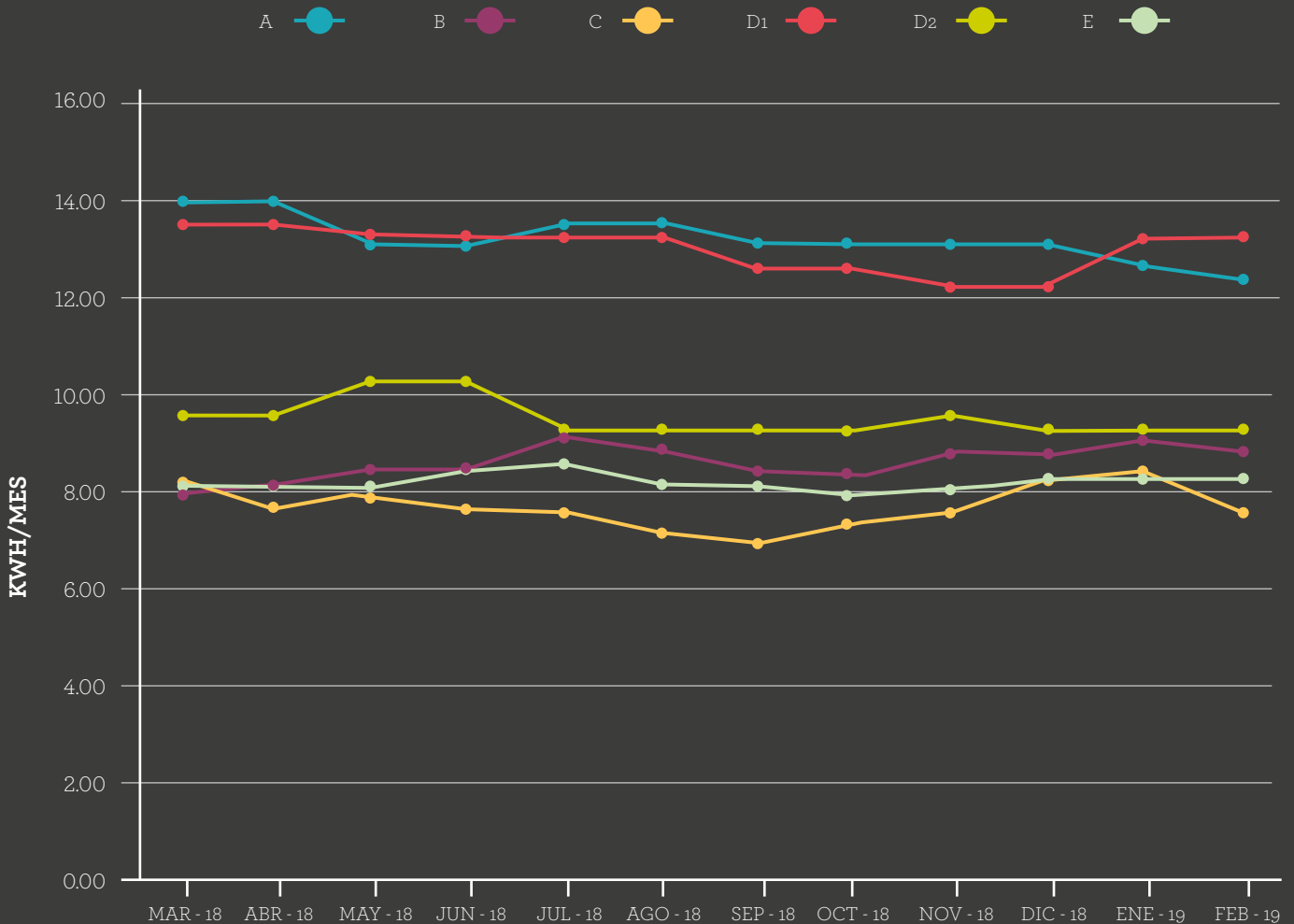
Análisis de consumo de agua:

Con esto se busca identificar, así como en la etapa anterior, patrones de comportamiento entre los proyectos de una misma tipología,

con miras a inferir la influencia mayoritaria de los índices de ocupación de los proyectos en el consumo.



Curva de consumo mensual en m³ para una vivienda VIS en AMB



Cálculo de indicador de consumo de energía:



El valor de consumo de energía anual asociado a cada proyecto se estima teniendo en cuenta el consumo anual de todos los apartamentos, el consumo anual de las áreas de servicios generales y el consumo anual de bombas contra incendios.



Para el cálculo del consumo energético anual de las tipologías de vivienda se desprecia la información de las cuentas de usos diferentes al uso principal del proyecto, tales como supermercados y locales.



En proyectos con más de una torre, el consumo anual asociado a apartamentos se calcula como el promedio del consumo anual asociado a apartamentos de todas las torres. En este mismo caso, el valor del consumo anual de servicios generales y el consumo anual de bombas contra incendios se determina a partir de dividir el valor total anual correspondiente entre el número de torres del proyecto.



De acuerdo con el análisis de consumos descrito anteriormente, el dato final del indicador de consumo energético se estima considerando los proyectos con mayor intensidad de uso energético.



Para definir un valor de intensidad de consumo energético más cercano a la realidad, se estima un factor de corrección que representa la diferencia porcentual promedio entre los consumos de cada uno de los proyectos y el consumo promedio de la tipología. Para el cálculo de este factor de corrección se tienen en cuenta todos los proyectos estudiados.

Se calcularon los indicadores de consumo de energía para las tipologías de uso con base en los datos de consumo promedio anual y consumo total anual, los cuales se obtuvieron con el promedio y la suma de los consumos mensuales. Luego se hicieron conversiones a kWh/m²-año bajo las siguientes consideraciones:

— Consumo energético anual en oficinas del AMB

Proyecto	A	B	C	E
Consumo energético anual total (KWh/año)	734088	83275	370860	1164731
Área proyecto (m ²)	4900	3485	18845	14509
Indicador consumo energético (kWh/m ² -año)	149.81	23.90	19.68	80.28



Cálculo de indicador de consumo de agua:

Así como en el caso de energía, se determinaron primero los datos de consumo promedio anual y consumo total anual de agua a partir del promedio y de la suma de los consumos mensuales. Luego se hicieron las conversiones necesarias a ts/persona/día según estas premisas:



El valor de consumo de agua anual asociado a cada proyecto se estima teniendo en cuenta el consumo anual de todos los apartamentos y el consumo anual de las áreas de servicios generales, los cuales están incluidos en el valor entregado por los acueductos.



Para el cálculo del consumo de agua anual de las tipologías de vivienda se desprecia la información de las cuentas de usos diferentes al uso principal del proyecto, tales como supermercados y locales.



Para el cálculo de lts/pers./día es fundamental contar con el índice de ocupación de los proyectos dividiendo la población de cada municipio por el número de hogares registrado en cada municipio, lo que da cuenta del valor promedio de persona por hogar. En el caso del AMB, se estableció un índice para los proyectos de vivienda y otro para los de oficina.



También se determina un factor de corrección que representa la diferencia porcentual promedio entre los consumos de cada uno de los proyectos y el consumo promedio de una tipología.

Consumo de agua anual para viviendas en estratos 3 y 4 de AMB

Proyecto	A	B	C	D	E
Consumo promedio anual aptos (m ³ /año)	120,54	123,83	130,90	145,78	117,80
Consumo (lts/persona/día)	104,64	107,49	113,63	126,55	102,25
Indicador de consumo promedio (lts/persona/día)	110,91				
Indicador corregido de consumo promedio (lts/persona/día)	120,29				



Los indicadores de consumo de energía y de agua obtenidos de los datos reales brindados por las ESP se compararon con los valores del SUI. Para ello se debió normalizar los datos de este último de kWh/hogar-año a kWh/m²-año y de m³/hogares/mes a lts/persona/día.

- Indicador de intensidad de consumo energético en todas las tipologías del AMB

Tipología	Indicador de consumo energético kWh/m ² -año		
	Facturas ESSA	SUI	Adoptado para calibración
VIS	26,50	30,38	30,38
Estrato 3 y 4	31,80	26,05	31,80
Estrato 5 y 6	36,14	24,94	36,14
Oficinas	149,81		149,81

- Indicador de intensidad de consumo de agua en todas las tipologías del AMB

Tipología	Indicador de consumo agua [kWh/m ² -año]		
	Facturas ESSA	SUI	Adoptado para calibración
VIS	145,07	140,35	140,35
Estrato 3 y 4	120,29	127,89	127,89
Estrato 5 y 6	135,55	154,65	154,65
Oficinas	43,00		43



Calibración de componentes de arquitectura y energía en los modelos teóricos:

Para este componente se siguió una metodología propuesta a la luz del ajuste manual de los parámetros de entrada y la disponibilidad de datos medidos. En ella se manejan dos niveles con base en lo propuesto por Mustafaraj (2014) y la ASHRAE (2002):



a

En el primer nivel se comparan los resultados de las simulaciones energéticas obtenidos de los modelos virtuales en la fase cualitativa con la información de facturas de consumos de energía obtenida en la fase cuantitativa. En este proceso se verifica si los datos cumplen o no con el requerimiento de aceptación que se defina para el área en estudio. En el caso del AMB, el porcentaje de aceptación establecido fue de 20%¹.



b

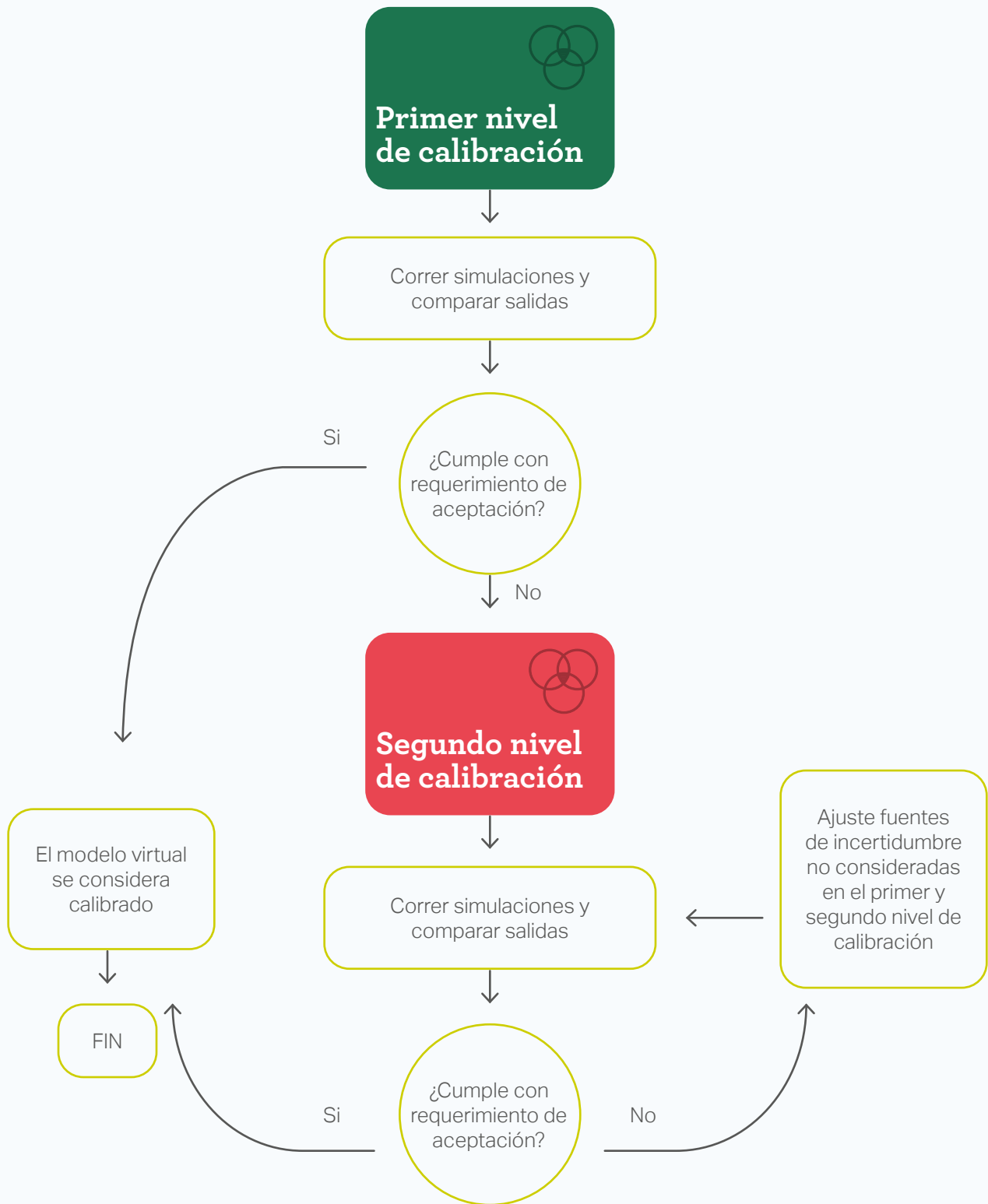
En el segundo nivel se ajustan las fuentes de incertidumbre de los modelos teóricos (valores U de materiales, datos de ocupación, horarios y frecuencias de uso de equipos energéticos, etc.), se realizan las simulaciones y los cálculos necesarios, y los resultados se comparan nuevamente con los datos obtenidos de la fase cuantitativa.

Este proceso se repitió hasta obtener datos que cumplieran con el requerimiento de aceptación definido.



1. Este porcentaje se eligió considerando las restricciones en cuanto a datos disponibles para hacer la cuantificación y el hecho de que en este proceso se busca establecer una línea base representativa de varias construcciones, por lo que el porcentaje de error no puede ser muy pequeño. Así mismo se cumple con los requerimientos del Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (EVO, 2009).

— Diagrama de flujo de la metodología de calibración de modelos teóricos



Para este proceso en el AMB se tomaron como entradas:



Un archivo climático actualizado con datos anuales recientes y representativos del AMB.



Características arquitectónicas y constructivas de las edificaciones obtenidas mediante documentación de especificaciones de obra y planos as-built, validadas mediante visitas a los proyectos y comités técnicos. Respecto a la versión inicial se ajustaron los valores U de muros, cubiertas, entresijos y envolvente.



Datos del número máximo de ocupantes y horarios típicos de ocupación, obtenidos de encuestas a usuarios y habitantes de los proyectos estudiados en fase cualitativa.



Inventario y potencias nominales de los componentes de los sistemas de iluminación y climatización artificial obtenidos mediante visitas de inspección y análisis de información as-built de una muestra extendida de proyectos construidos.



Inventario y potencias nominales de equipos eléctricos obtenidos mediante visitas de inspección.





Calibración de componentes hidrosanitarios de modelos teóricos:

Esta calibración se llevó a cabo en tres niveles, con un factor de aceptación equivalente a una diferencia menor o igual al 10% respecto al indicador de consumo de agua definido en la fase cuantitativa:



a

En el primer nivel de calibración se calculó el consumo de agua de los modelos teóricos utilizando los datos obtenidos en la fase cualitativa, y el resultado se comparó con el indicador de consumo resultante de las facturas de consumo de agua obtenido en la fase cuantitativa, verificando si los valores cumplían con el factor de aceptación.



b

En el segundo nivel se ajustaron las fuentes de incertidumbre de los modelos teóricos utilizando el valor promedio de final de valores de consumo de aparatos y se realizaron los cálculos de consumo de agua. Los resultados se compararon nuevamente con los datos cuantitativos obtenidos.



c

En el tercer nivel se ajustaron otras fuentes de incertidumbre como las frecuencias y los tiempos de uso obtenidos de las encuestas e inspecciones realizadas. Los resultados se compararon nuevamente con los datos obtenidos de la fase cuantitativa.

En el AMB se tuvieron en cuenta cuatro fuentes de datos para este componente:

1) Los datos recopilados en la fase cualitativa.

2) La normatividad del país; en este caso la NTC 1500: Código Colombiano de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias.

3) Las especificaciones técnicas generadas por el fabricante de cada uno de los aparatos.

4) Pruebas realizadas en visitas de inspección, para verificar el consumo real de los aparatos utilizando una probeta y un cronómetro para verificar la cantidad de agua vertida en determinado tiempo.

Las variables de tiempos de uso y frecuencia de uso se evaluaron mediante encuestas de observación directa desarrolladas por aprendices del área de construcción del SENA:



En la frecuencia de uso se tiene en cuenta las veces que la persona hace uso del aparato sanitario. En el caso de la lavadora y el lavadero se considera el número de veces que se usa este aparato por semana y se cuantifica el valor obtenido en porcentajes iguales por los siete días de la semana.



Para los tiempos de uso promedio se tiene en cuenta solamente el tiempo en que la válvula de descarga de agua se encuentra abierta para cada uno de los aparatos y se comprueba con el valor medido antes y después del registro del medidor.

— Datos de frecuencia y tiempos de uso obtenidos mediante encuestas en el AMB

APARATO	Frecuencia de uso promedio (veces/persona/día)	Tiempo de uso promedio (minutos)
Sanitario	3,00	
Lavamanos	5,00	0,6
Ducha	1,00	4,7
Lavaplatos	1,00	3,3
Lavadero	0,280	7,5
Lavadora	0,280	
Lavadero cuando hay lavadora	0,09	

2.1.3

Hallazgos

Dado que la metodología descrita hasta este punto es muy similar a la utilizada para la Resolución 0549 de 2015, es posible establecer comparaciones entre los datos obtenidos en el marco del pro-

ceso EC2S con los de la norma. Los siguientes son algunos de los hallazgos surgidos en medio de la definición de la línea base de consumos de energía y de agua para el AMB.

Energía

Al comparar los resultados de línea base obtenidos en este proyecto con las metas de ahorro planteadas por la Resolución 0549 de 2015 para las construcciones nuevas, se pudieron detectar estas variaciones:



La línea base de viviendas VIS está un 18% por debajo de lo indicado por la Resolución 0549. Esto sugiere que los constructores de esta tipología en el AMB deberían incorporar como mínimo las características definidas en la línea base generada en este proyecto para cumplir con la norma nacional.



Las viviendas de estratos 3 y 4 deben acoger estrategias que permitan ahorrar un 7% más de ahorro para cumplir con el 25% exigido por la norma.

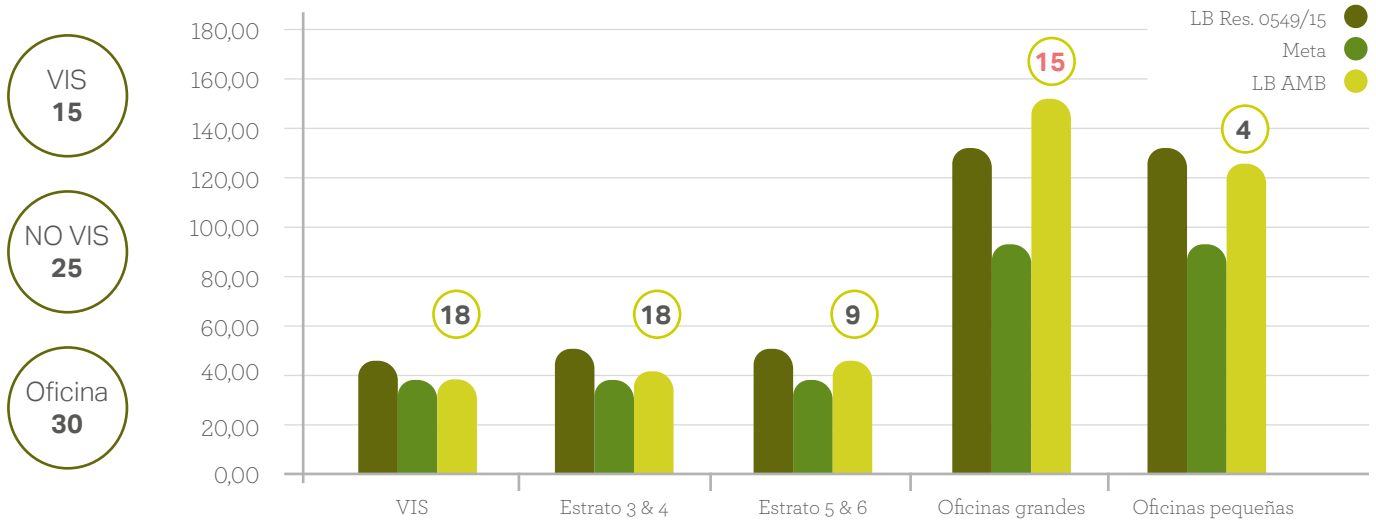


Las viviendas de estratos 5 y 6 requieren generar un 15% más de ahorro para llegar a la meta de consumo máximo exigida por la Resolución 0549.



En oficinas grandes se necesita llegar a un 45% de ahorro en relación con la línea base de AMB para lograr la meta de 92,61 kWh/m²-año. Para oficinas pequeñas, el ahorro debe ser de 26%.

— Comparación de línea base del AMB con las metas de ahorro de energía de la Resolución 0549 de 2015



VIS
15

NO VIS
25

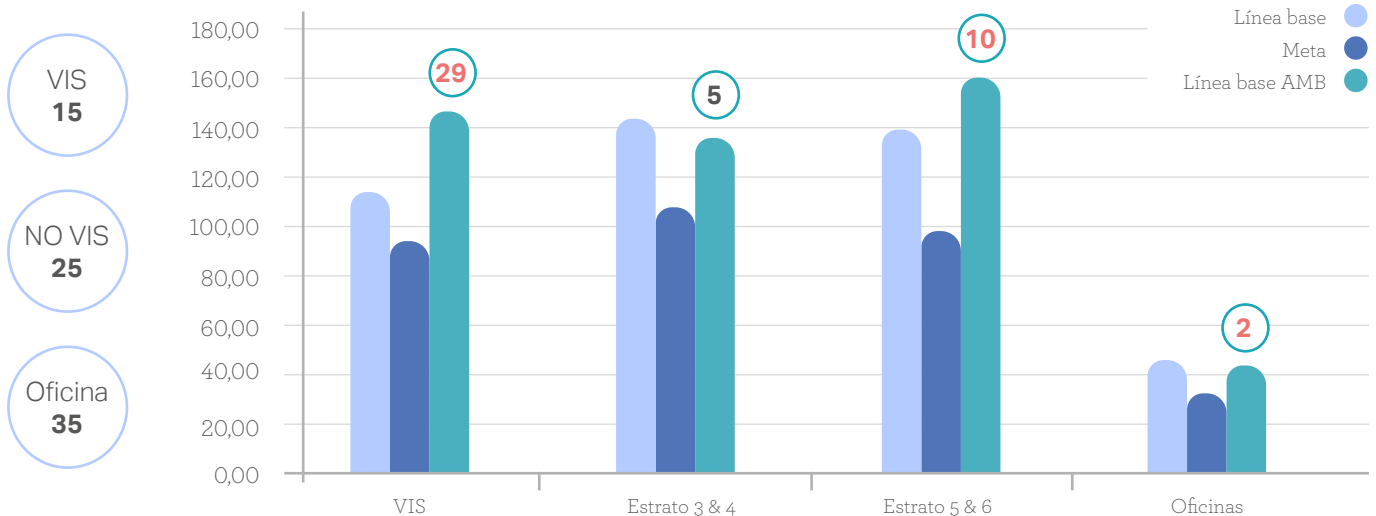
Oficina
30

Agua

En este caso se observó que la línea base de vivienda VIS se encuentra un 29% por encima de la línea base determinada por la Resolución 0549 de 2015.



— Comparación de línea base del AMB con las metas de ahorro de agua de la Resolución 0549 de 2015



VIS
15

NO VIS
25

Oficina
35



2.2

Estrategias de construcción sostenible



“

Participar del proyecto ha sido una experiencia muy gratificante. Nos impulsó a incrementar nuestro conocimiento y compromiso con la construcción sostenible al interior de la empresa y nos permitió establecer un diálogo constructivo y enriquecedor con otras entidades de la región que comparten nuestra visión.

Con el proyecto de economía circular y construcción sostenible logramos demostrar que desde el sector podemos liderar cambios de paradigmas sin que esto signifique sacrificar la viabilidad financiera de los proyectos de construcción. Esto resultará fundamental para la transformación de la industria a partir de la adopción de buenas prácticas que sin duda se verán reflejadas en mejores edificaciones para los santandereanos. El haber implementado principios de sostenibilidad en el diseño y construcción de proyectos de Vivienda de Interés Social, nos llena de orgullo y ratifica nuestro compromiso con el sector y Santander.

Oscar Fernando Gómez
PCG Constructora S. A. S.

”

“

La participación dentro del proyecto de economía circular y construcción sostenible fue de gran aporte para la compañía ya que nos permitió ampliar nuestros conocimientos en construcción sostenible y en los procesos de manejo de residuos de la construcción y demolición. También nos ayudó a complementar los diferentes procesos que actualmente llevamos en nuestros proyectos mediante la aplicación de las estrategias para disminuir el impacto de la actividad edificadora en el medio ambiente.

Los recursos que nos puede proporcionar la naturaleza son agotables, y por ello es importante hacer un uso racional y eficiente de estos, lo cual se puede lograr aplicando estrategias de construcción sostenible que permitan obtener ahorros importantes en los consumos de energía y agua en las edificaciones que serán de uso de nuestros clientes. Dichas estrategias hoy están siendo aplicadas en algunos de nuestros proyectos con certificaciones ambientales y en proceso de certificación.

Sergio Marín
Marval S. A

”

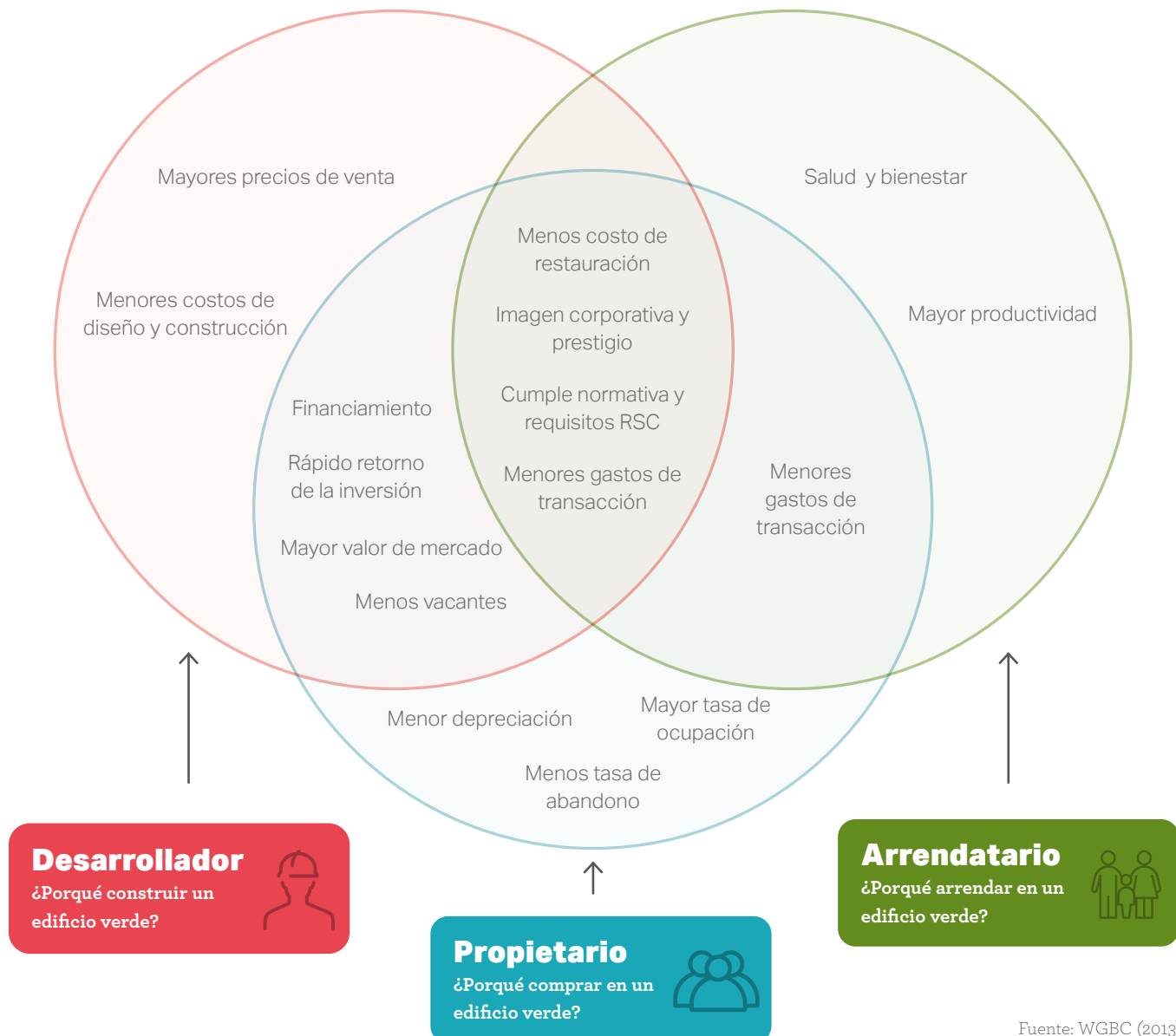


2.2.1 Certificaciones

Implementar certificaciones de construcción sostenible es una valiosa alternativa que puede brindarles beneficios a cada uno de los actores del sector, al tiempo que contribuye a disminuir los impactos ambientales que se generan al construir edificaciones. Esta iniciativa, contrario a lo que se

crea normalmente, no es costosa y, por lo tanto, no se encuentra solo al alcance de empresas grandes; cualquier constructora puede adoptar estrategias para funcionar en un entorno más sostenible y, de paso, optar a los distintos incentivos tributarios que ofrece el país por adoptar este enfoque.

Beneficios de la construcción sostenible



Con esto en mente, el proyecto EC2S seleccionó a tres empresas del AMB —una con un proyecto de vivienda VIS; otra con uno de oficina, y otra con vivienda estrato 4— para asesorarlas

técnicamente en la implementación de estrategias que les permitieran acceder a dos de las siguientes certificaciones de construcción sostenible disponibles en Colombia:

Excellence in Design for Greater

Efficiencies (EDGE): creada por la International Finance Corporation (IFC) e implementada en Colombia a través de la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). Esta certificación orientó el ejercicio para las tres empresas.

Haute Qualité Environnementale (HQE):

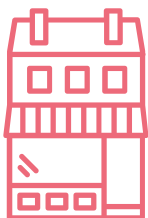
operado por Cerway a nivel internacional. Su entrada a Colombia ha sido liderada por Terao y se aplicó al proyecto de vivienda VIS.

Leadership in Energy and Environmental

Design (LEED): desarrollada por el United States Green Building Council (USGBC) y promovida en Colombia por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). Se utilizó para el estudio con el proyecto de oficinas.

CASA Colombia: iniciativa del CCCS basada en LEED que se implementó para el proyecto de vivienda estrato 4.

— Alcances del proceso de certificación en el AMB



Oficina

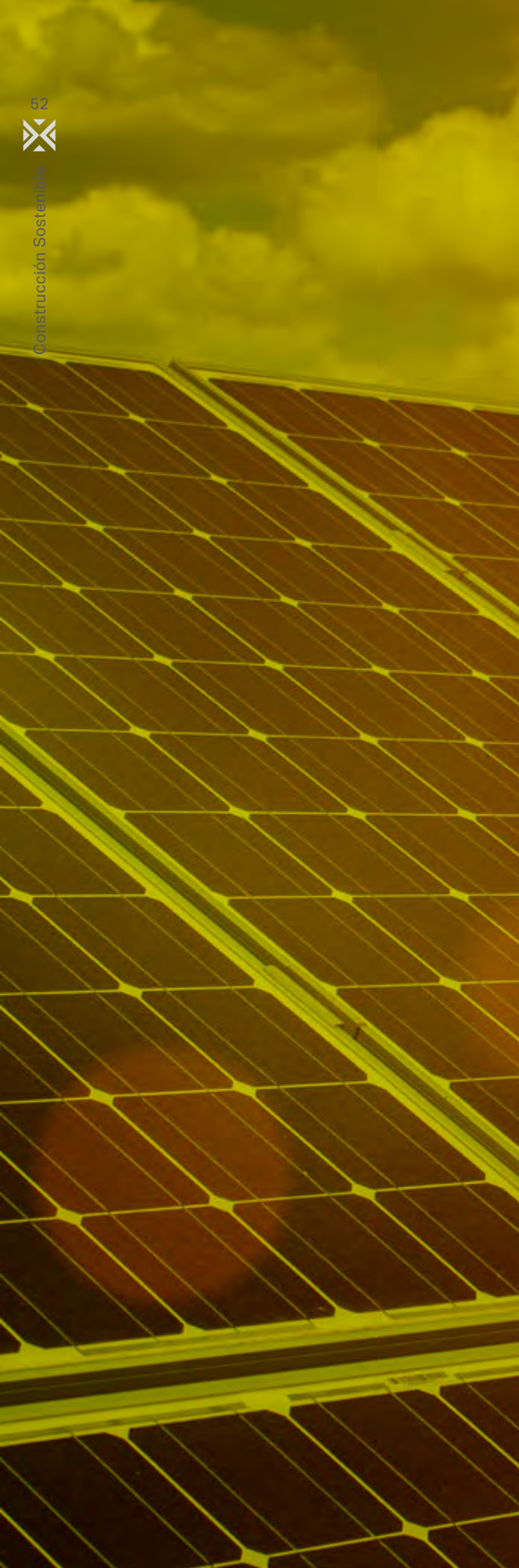


Vivienda estrato 4



Vivienda VIS





Para el ejercicio se estudió la ejecución de buenas prácticas en cuatro temáticas establecidas: agua, energía, confort y materiales, con miras a determinar qué estrategias resultaban más pertinentes para el contexto de avance técnico y socioeconómico del AMB. En la evaluación se estableció un índice de implementación de estrategias según la tabla siguiente:

Índice de implementación	Descripción
<40%	Bajo
40% - 60%	Medio
>60%	Alto

Estrategias de ahorro de agua

Los tres proyectos implementaron medidas que no implicaban mayor complejidad técnica, tales como el uso de aparatos ahorradores, medidores de consumo, ahorro de agua para zonas comunes y exteriores, y plantas nativas en el paisajismo. Concretamente, el proyecto de vivienda VIS fue el de mayor índice de implementación de estrategias, debido sobre todo al esfuerzo por mejorar el sistema de calefacción de agua².

2. El ejercicio del AMB en el marco del proyecto EC2S calificó el impacto de cada estrategia en términos de costos mediante un semáforo (rojo: alto; amarillo: medio; verde: bajo).

— Alcances del proceso de certificación en el AMB

(1) Estrategia implementada

(0) Estrategia no implementada

ESTRATEGIAS DE AHORRO DE AGUA		VIS	NO VIS	OFICINA
APARATOS	Duchas de bajo consumo	1	1	N/A
	Grifería de bajo consumo para cocina	1	1	1
	Grifería de bajo consumo para lavamanos	1	1	1
	Sanitarios de doble descarga de bajo consumo	0	0	N/A
	Sanitarios de descarga simple de bajo consumo	1	1	1
	Orinales de bajo consumo*	N/A	N/A	1
	Sello de calidad del sanitario	1	N/A	N/A
SISTEMAS	Sistema de recolección de aguas de lluvia	0	0	0
	Reciclaje de aguas grises	0	0	0
	Reciclaje de aguas negras	0	0	0
	Sistema de calefacción de agua	1	N/A	N/A
	Recuperación de agua condensada*	N/A	N/A	0
MED	Medidor de consumo de agua	1	1	1
	Submedición de consumo de agua	N/A	0	0
EXTERIOR	Ahorro de agua en zonas comunes y exteriores	1	1	N/A
	Conexión del proyecto al alcantarillado	1	N/A	N/A
	Uso de plantas nativas en paisajismo	N/A	1	N/A
ÍNDICE DE IMPLEMENTACIÓN		69%	58%	50%



Estrategias de materiales

En este componente se destaca la implementación de planes de manejo ambiental en la obra y la gestión mejorada de RCD gracias a los requerimientos estipulados por la Resolución 472 de 2017. En general, los índices obtenidos por los proyectos son altos, en especial en el caso de vivienda VIS.

Resumen de estrategias de materiales en todas las certificaciones

Convenciones

(1) Estrategia implementada

(0) Estrategia no implementada

Estrategias materiales

VIS

NO VIS

Oficina

Índice de implementación

86% ● **77%** ● **62%** ●

		86%	77%	62%
ENERGÍA EMBEBIDA	Losa de piso y entepiso (concreto)	1	1	1
	Aislamiento techos y paredes	0	0	0
	Marcos de ventanas (aluminio)	1	1	1
	Acabados de piso	1	1	1
	Paredes interiores (mampostería)	1	1	1
	Paredes exteriores (mampostería)	1	1	1
	Techo (concreto)	1	1	1

IMPACTO	Materiales de origen regional	N/A	1	N/A
	Materiales con certificado de calidad	1	N/A	N/A
	Materiales con bajo COV	1	N/A	N/A
	No usar materiales cancerígenos	1	N/A	N/A
	Materiales con certificado de impacto ambiental	1	1	N/A
	Materiales con análisis de ciclo de vida (DAP)	N/A	0	0
	Evaluación de los ingredientes de los materiales	N/A	N/A	0

OBRA	Plan de manejo ambiental en obra	1	1	1
	Responsable ambiental en obra (tercero)	0	0	0
	Gestión de desechos de construcción y demolición	1	1	1

*	Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio	N/A	N/A	0
---	--	-----	-----	---

Estrategias de confort

En este caso la mayor complejidad técnica radica en aquellas alternativas que requieren la contratación de especialistas, tales como la verificación de ventilación natural, iluminación natural y confort térmico y acústico. Estas prácticas, no implemen-

tadas aún, pueden generar eficiencia a bajo costo si se incorporan desde la etapa de esquema básico de diseño. Para este componente, el proyecto correspondiente a oficinas arrojó el mayor índice de implementación, aunque este es aún bajo.

Resumen de estrategias de confort en todas las certificaciones

(1) Estrategia implementada
(0) Estrategia no implementada

ESTRATEGIAS PASIVAS ENERGÍA		VIS	NO VIS	OFICINA
ENVOLVENTE	Orientación	N/A	1	N/A
	Proporción de vidrio en la fachada exterior	1	1	1
	Pintura reflectiva/tejas para techo	0	0	1
	Pintura reflectiva para paredes exteriores	0	0	1
	Control solar externo	0	1	0
	Aislamiento del techo	0	0	0
	Aislamiento térmico de paredes externas	0	0	0
	Vidrio de baja emisividad	0	0	1
	Vidrio de alto rendimiento	0	0	0
VENTILACIÓN NATURAL	Ventilación natural dentro de los apartamentos / oficinas	1	1	1
	Ventiladores de techo en todas las habitaciones / oficinas	0	0	0
	Aperturas operables en baños	1	N/A	N/A
	Aperturas hacia el exterior en apartamentos	1	N/A	N/A
	Ventilación para evitar condensación y humedad	0	N/A	N/A
ILUMINACIÓN NATURAL	Estudio de iluminación natural en apartamentos / oficinas	0	1	0
	Iluminación natural en circulaciones H y V	0	N/A	N/A
	Análisis de percepción (visuales, iluminación natural)	1	0	0
TEMPERATURA	Confort térmico en interiores	0	0	N/A
AIRE	Soluciones arquitectónicas para confort olfativo	1	1	N/A
	Calidad del aire interior (renovaciones)	N/A	0.1	0.1
	Control humo del cigarrillo	N/A	0	1
	Control de partículas contaminantes (materiales)	N/A	1	1
RUIDO	Protección al ruido exterior	0	N/A	N/A
	Estudio acústico según norma local	0	N/A	N/A
*	Espacios de actividad	N/A	1	N/A
ÍNDICE DE IMPLEMENTACIÓN		30%	43%	47%

Estrategias de energía

Para este componente, las simulaciones energéticas y el uso de las energías renovables fueron las estrategias identificadas como de mayor complejidad, mientras que las prácticas relacionadas con iluminación artificial y medi-

dores de energía totalizadores y por apartamento/oficina son habituales en el contexto colombiano. Una vez más, el proyecto de oficinas refleja el mayor índice de implementación, aunque hay margen para mejorar.

Resumen estrategias de energía en todas las certificaciones

(i) Estrategia implementada
(o) Estrategia no implementada

ESTRATEGIAS ACTIVAS ENERGÍA		VIS	NO VIS	OFICINA
ITEMS EF	Bombillas ahorradoras de energía - Espacios internos	1	1	1
	Bombillas ahorradoras de energía - Áreas comunes y espacios externos	1	1	1
	Ascensor eficiente	1	N/A	N/A
SISTEMAS	Calidad de instalaciones eléctricas de baja tensión	N/A	1	N/A
	Iluminación artificial eficiente	1	1	1
	Iluminación artificial muy eficiente	0	0	0
	Controles de iluminación para áreas comunes y externas	1	1	1
	Sensores de ocupación en baños, salas de conferencias y cubículos cerrados*	N/A	N/A	1
	Sensores de ocupación en oficinas abiertas*	N/A	N/A	1
	Sensores fotoeléctricos en espacios internos*	N/A	N/A	0
<i>Sistema de agua caliente eficiente</i>	N/A	0	N/A	
AC	Gestión básica de refrigerantes	N/A	N/A	1
	Sistema de aire acondicionado de alta eficiencia	0	0	0
SIM	Simulación térmica dinámica (consumo <120kWh/m ²)	0	N/A	N/A
	Optimización de desempeño energético (%)	N/A	0	0
MED	Medición de consumo energético (edificio y apartamentos)	1	1	1
	Medición avanzada de energía (submedición)	0	0	0
RNV	Colector solar para agua caliente	0	0	N/A
	Paneles solares térmicos y/o fotovoltaicos	0	0	0
	Otra energía renovable para generación de electricidad	0	0	0
ÍNDICE DE IMPLEMENTACIÓN		46%	43%	53%

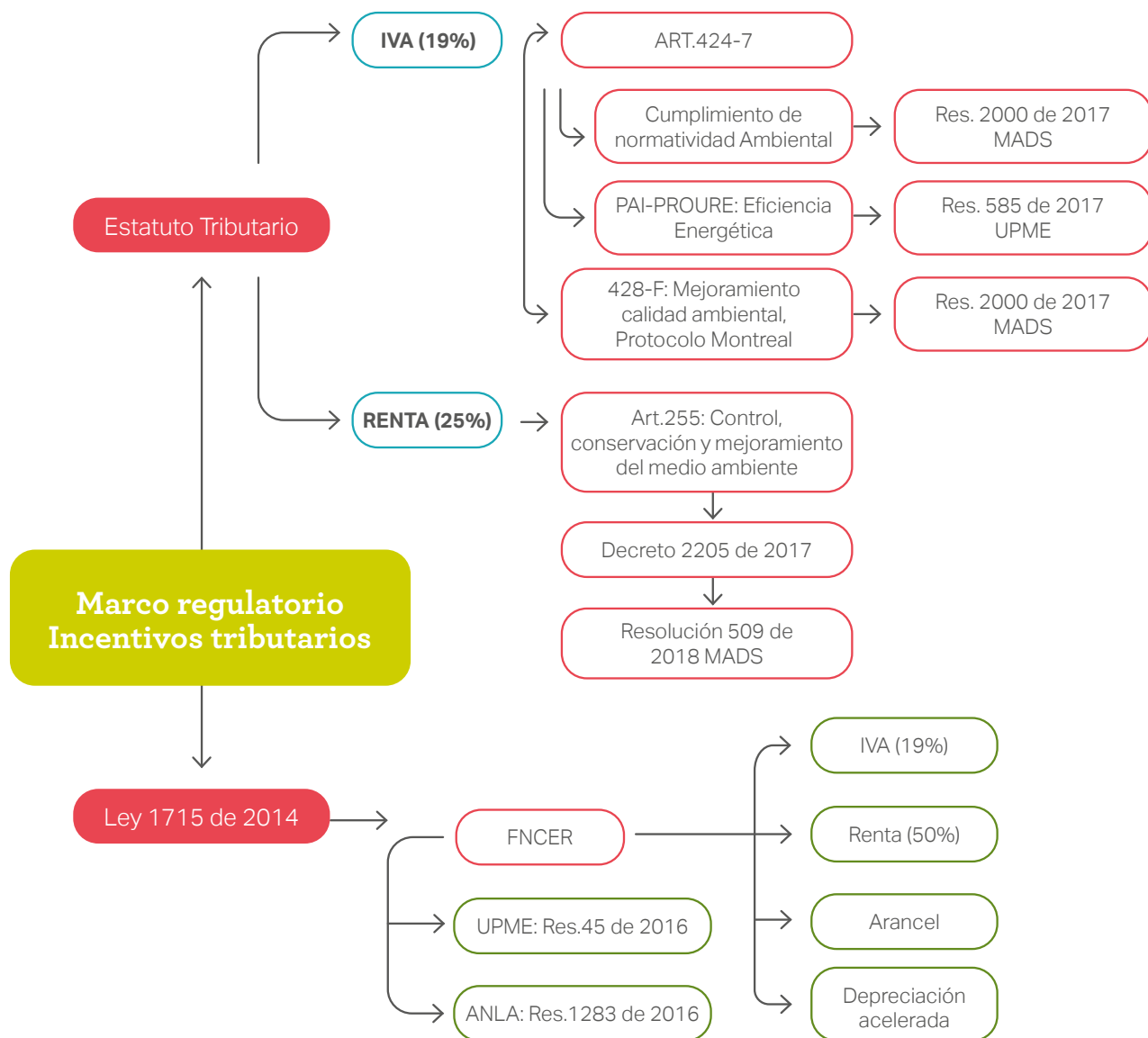
2.2.2

Incentivos tributarios

Un instrumento que promueve la implementación de aquellas estrategias de construcción sostenible de alta complejidad técnica son los incentivos tributarios. Así, mediante beneficios como la exclusión del IVA y descuentos y


deducciones en el impuesto de renta, la ley colombiana busca fomentar mayores esfuerzos por parte de las constructoras para adoptar esquemas de funcionamiento de menor impacto ambiental.


Marco regulatorio de incentivos tributarios para la construcción sostenible





El ejercicio con los tres proyectos piloto dio cuenta de aquellas estrategias con potencial para solicitar estos beneficios:

SECTOR	ACCIÓN Y MEDIDA
 <p>TERCIARIO (COMERCIAL, PÚBLICOS Y SERVICIOS)</p>	<p>Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (iluminación, aire acondicionado, motores eléctricos y mejoras de sistemas de alumbrado público)</p> <hr/> <p>Mejora en el diseño, la construcción y la adecuación arquitectónica de edificaciones (incluyendo mejoramiento en la transferencia por los techos, ventanas y muros)</p> <hr/> <p>Evaluación e implementación de distritos térmicos</p> <hr/> <p>Implementación de nuevos y modernos sistemas de medición</p> <hr/> <p>Implementación de SGE_n</p>

SECTOR	ACCIÓN Y MEDIDA
 <p>RESIDENCIAL</p>	<p>Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (iluminación)</p> <hr/> <p>Mejoramiento de la eficiencia energética en edificaciones (pinturas atérmicas, extractores eólicos y otros medios de acondicionamiento ambiental por medios naturales)</p>



2.3

Modelo de gestión RCD



“

“Basados en el modelo RCD, en el marco del proyecto encontramos que los residuos de concreto provenientes de la construcción y demolición, siendo bien clasificados, pueden utilizarse como materia prima para la producción de mobiliario urbano, en porcentajes que oscilan entre 10% y 15%, dependiendo de la exigencia estructural del producto final. Esto nos permite tener una reducción de costos de producción y contribuir con beneficios ambientales al reducir la disposición de este tipo de residuos.

Para nuestra empresa, participar en este proyecto y ser parte del clúster de construcción de Santander ha sido muy importante ya que gracias a la gestión se ha logrado el éxito en la aplicación de este tipo de iniciativas que nos permite, como empresarios, acceder a recursos económicos y a información de vanguardia para el desarrollo del tejido empresarial constructor del departamento. Además, el clúster es un articulador de los diferentes eslabones de la cadena productiva y comercial del sector constructor, creando sinergias que fuera de ese ámbito serían mucho más difíciles de alcanzar”.

Iván Martínez
Gerente General
Pretecor

”



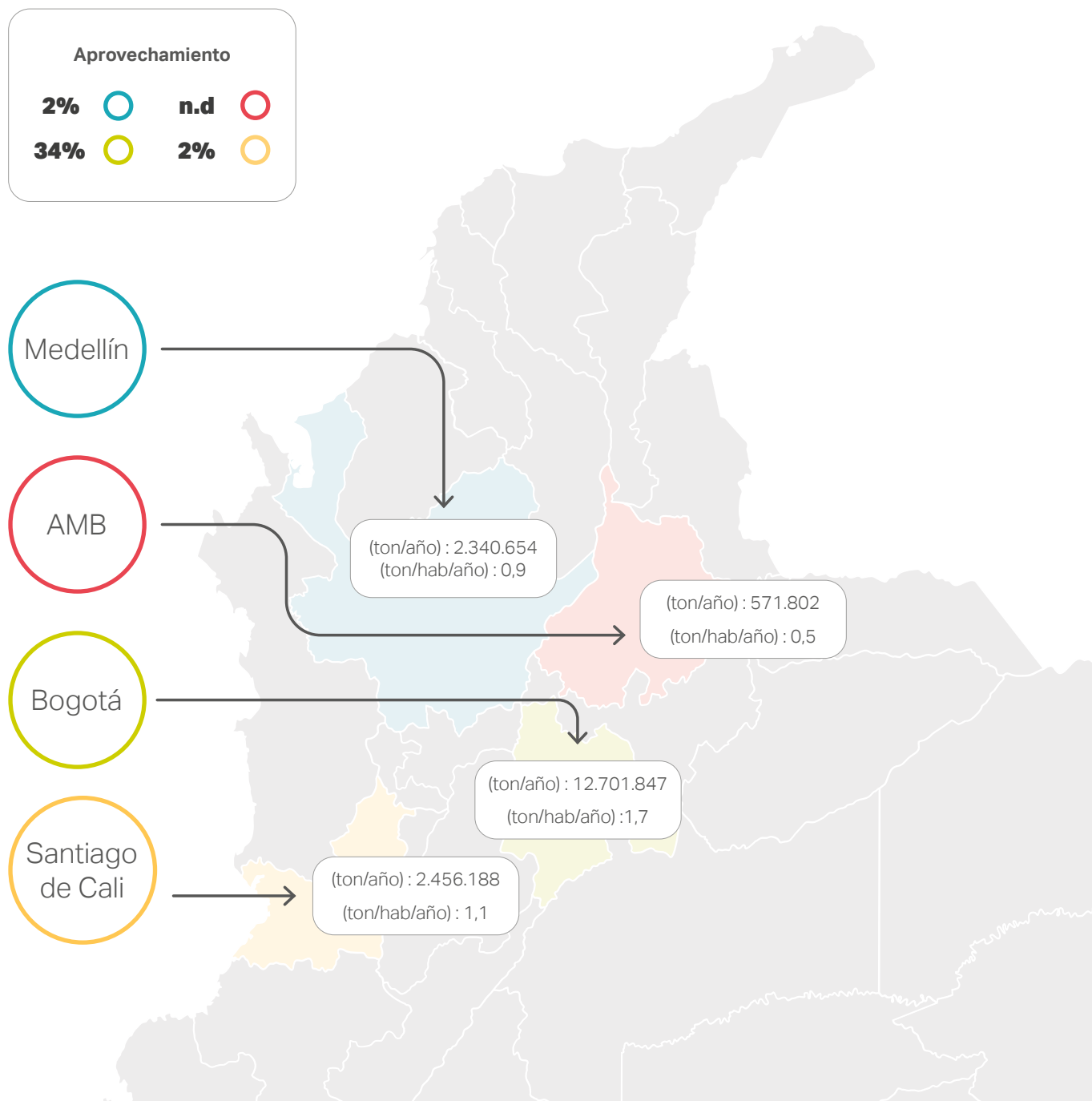
2.3.1

Antecedentes

El manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD) es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrentan los países latinoamericanos, sobre todo a la luz de fenómenos como el desarrollo económico, los altos niveles de urbanización y el aumento de la población. Con esto en mente, el proyecto EC2S se propuso dentro de sus objetivos evaluar y contextualizar la gestión de RCD en Colombia, con miras a generar lineamientos y proponer herramientas que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas constructoras del país a partir del enfoque de construcción sostenible. De esta forma se generó, como resultado del proyecto, un modelo de gestión de RCD.

En una primera aproximación, el proyecto estimó las estadísticas de generación y aprovechamiento de RCD en los centros urbanos de Colombia, que dan cuenta de un alto ritmo de producción de residuos, comparable al de países europeos, pero con bajo aprovechamiento. Bogotá, por ejemplo, que es la ciudad que más residuos genera y la que más avances ha mostrado en su gestión, ha alcanzado niveles de control y disposición adecuada de RCD de 25%, mientras que países como Holanda o Alemania registran un aprovechamiento de 90%. Este panorama, que de hecho es más grave aún en la mayoría de los municipios de Colombia, lleva a suponer que en un momento la situación se hará insostenible y subraya la necesidad de contar con un instrumento que permita el manejo adecuado de los RCD.

— Generación y aprovechamiento de RCD en algunos centros urbanos de Colombia



2.3.2

Descripción general del modelo



En general, un modelo de gestión de RCD debe basarse en tres pilares: reducción, reutilización y reciclaje. También es preciso usar indicadores que permitan evaluar

su eficacia. En ese orden de ideas, el proyecto elaboró una propuesta enmarcada en los enfoques de economía circular y de ciclo de vida que contempla:

1

El marco regulatorio actual.

2

El uso de una plataforma de análisis de flujo de materiales (AFM), a nivel de obra, para generar y actualizar en tiempo real las tasas de generación de RCD.

3

El ecodiseño constructivo como estrategia de reducción de generación de RCD.

4

Mejores prácticas de gestión de RCD en obra.

5

Opciones de valorización de los RCD y de reintegro de materiales a la economía productiva.

6

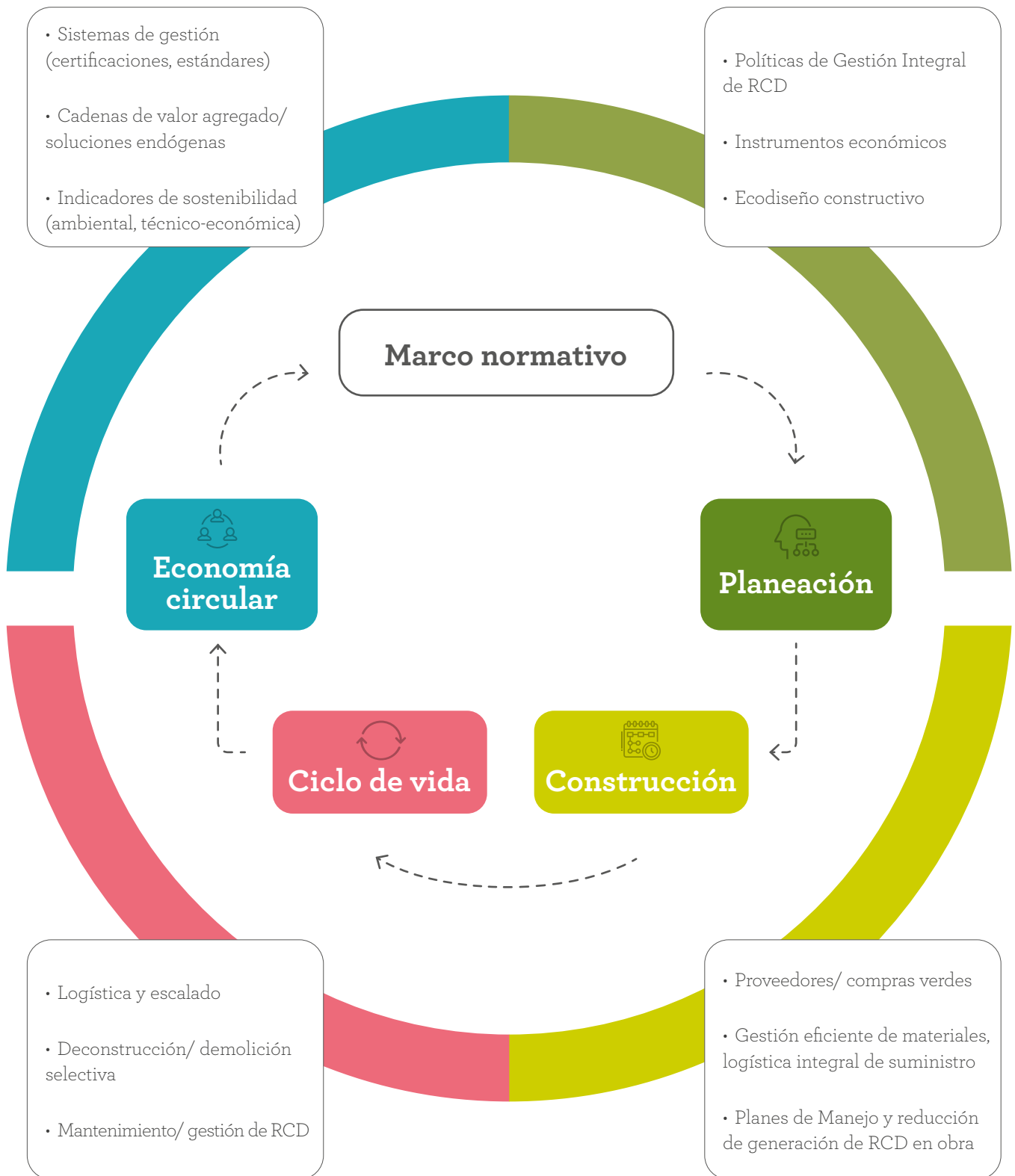
La evaluación del desempeño ambiental de la gestión de RCD usando indicadores que tengan en cuenta el ciclo de vida de los materiales.

7

Los sellos de construcción sostenible disponibles en el mercado colombiano (ver apartado 2.2).

8

La articulación de empresas del clúster de construcción con gestores, autoridades ambientales e incubadoras de emprendimiento en la gestión sostenible.





Marco regulatorio

La Resolución 0472 de 2017, expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, es la norma que regula la gestión de RCD en Colombia. Esta legislación:



Prohíbe la disposición de RCD en espacios públicos o en rellenos sanitarios.



Impide la mezcla de RCD con residuos ordinarios o peligrosos.



Establece que el almacenamiento temporal de RCD no puede hacerse en zonas verdes, áreas arborizadas o de recreación, parques, ríos, entre otros ambientes naturales.



Asigna responsabilidades a los generadores de RCD de acuerdo con la cantidad esperada de RCD generados, proporcional al área construida o por construir:

- Menor a 2.000 m²: deben entregar sus RCD a gestores que se encarguen de transportarlos a zonas autorizadas de almacenamiento temporal, aprovechamiento o disposición final inscritos en la autoridad ambiental competente.
- Mayor a 2.000 m²: deben formular e implementar un programa de manejo ambiental de RCD (PMA-RCD) que cumpla con ciertos requisitos estipulados en la resolución. Este debe presentarse a la autoridad ambiental 30 días antes de iniciar obras, y luego, 45 días antes del cierre de obra, es obligatorio dar un reporte de implementación que dé cuenta de resultados en cuanto a metas e indicadores.



Introduce una meta compuesta de aprovechamiento que se basa en la cantidad de RCD aprovechados o incorporados en nuevos materiales o estructuras con respecto a la cantidad de materiales usados en la construcción. Para calcular la meta requerida, se deben usar tres indicadores de esta forma:

$$\text{Meta de aprovechamiento} = \frac{\text{Peso de RCD aprovechados} + \text{Peso RCD en materiales de construcción}}{\text{Peso de material usado en la estructura}}$$

Cabe anotar que, según los hallazgos del proyecto EC2S, esta meta deja abierta la posibilidad de que flujos de alto volumen como el de materiales de excavación permitan cumplir la meta mediante alternativas de aprovechamiento de bajo valor agregado e impacto ambiental limitado. Frente a ello se propone crear una hoja de ruta razonable y un cronograma para establecer el desfase de la disposición de dicho material en sitios de disposición final y su uso obligatorio como enmienda técnica de suelos, material de relleno o nuevos materiales.



La aplicación de la norma en el AMB

El proyecto EC2S evaluó el grado de cumplimiento de las obras incluidas con respecto a la Resolución 0472 de 2017. Es preciso mencionar que, si bien se reporta un 83% de aprovechamiento de RCD, esta cifra indica en forma discreta aprovechamientos de fracciones minoritarias como envases PET de alimentos, madera residual y retal sobrante que va a

chatarrerías. A ello se suma el grado de incertidumbre y de vacíos legales hallados a lo largo del proceso en cuanto al cumplimiento de a norma. Puede decirse entonces que el AMB requiere más control de las autoridades ambientales. También es necesario contar con gestores que generen productos de valor agregado a partir de estos residuos.

— Caracterización de obras incluidas en el proyecto Resolución 0472. (CCB, 2020)

Aspecto evaluado	Proyectos vinculados que cumplen criterio
Poseen programa de manejo ambiental de RCD documentado	58%
El programa de manejo de RCD fue radicado a la autoridad ambiental	42%
Realizan separación por tipo de RCD en obra (pétreos/no pétreos/residuos peligrosos)	75%
Existe un almacenamiento diferencial de materiales de construcción	100%
El almacenamiento de RCD se encuentra señalizado	83%
Dentro del proyecto se realiza algún aprovechamiento de residuos RCD	83%
La autoridad ambiental ha realizado un seguimiento y control constante a las actividades involucradas en el manejo de RCD para el año 2019	0%

Seguimiento a la gestión de RCD

Una parte fundamental del desarrollo del proyecto EC2S fue la elaboración de la Plataforma EC2S. Dentro de esta herramienta se contempló un módulo de RCD que, si bien se pensó en un principio como de registro, fue ajustado para permitir la trazabilidad del flujo de materiales en cualquier proceso constructivo. El registro tanto de materiales como de RCD mediante este instrumento permite:



Contar con tasas de generación de RCD, específicas a tipo de obra, rangos de superficie construida y etapa de construcción, para mejorar la planificación y la eficiencia en cuanto a planes de manejo y aplicación de la legislación.



Gestionar toda la documentación necesaria para el cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017.



Implementar flujos simplificados para el periodo de uso (adecuaciones, adiciones) y el fin de vida (demoliciones).

- Según la validación de la experiencia del AMB con la constructora Zabdi S. A., se recomienda el siguiente esquema de personal y responsabilidades para el uso de este módulo dentro de la Plataforma EC2S:



Así mismo se sugiere el siguiente esquema de gobernanza para cada fase del proceso constructivo:

Preconstrucción:

1

El equipo de ingeniería en obra debe realizar proyecciones de materiales que se van a usar en obra y de RCD que se generarán.

2

Con base en las proyecciones, el ingeniero ambiental responsable de la constructora debe diligenciar la información en la Plataforma EC2S, elaborar el PMA-RCD y la línea de base de los indicadores requeridos por la Resolución 0472.

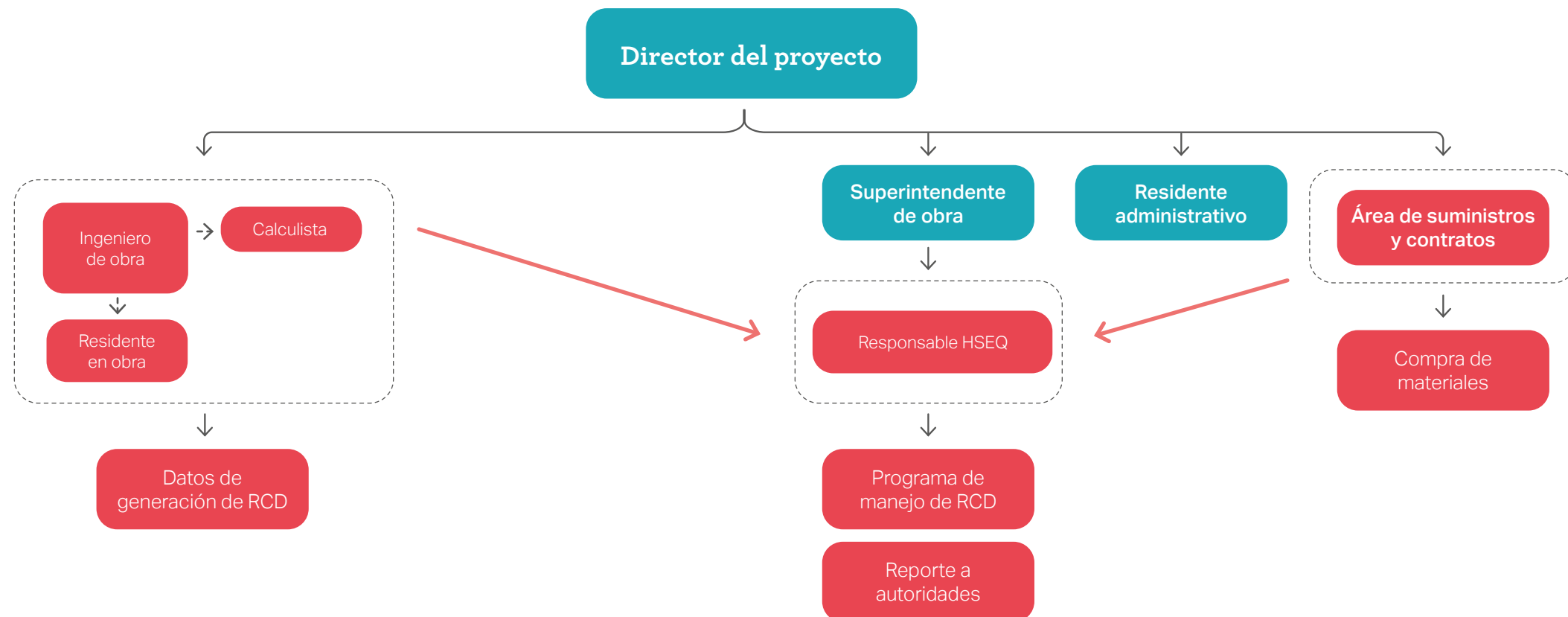
Construcción:

1

El equipo de ingeniería residente en obra y los responsables del área de compras y suministro proporcionan al ingeniero ambiental responsable la información necesaria para establecer el flujo de materiales y de residuos durante cada etapa constructiva.

2

El responsable ambiental cruza la información recibida con la de los RCD entregados para disposición o aprovechamiento. Esto permite generar reportes finales de cumplimiento de metas más precisos y contar con información actualizada.



Metodología de análisis de flujo de materiales

El AFM es un análisis que considera cómo las reservas de materiales se conectan con las fuentes, los caminos y los depósitos intermedios y finales dentro de un sistema definido en el es-

pacio y el tiempo. Dentro de las distintas clases de AFM, en la aproximación del proyecto al AMB se eligió un enfoque estático *bottom-up* constituido por los siguientes pasos:

El AFM estático modela los procesos asumiendo relaciones lineales entre entradas y salidas de materiales, y que los coeficientes de transferencia son constantes y asociados a una referencia temporal específica.

Un AFM *bottom-up* define previamente los sistemas y procesos a través de los cuales fluyen los materiales y luego cuantifica los flujos proceso a proceso.

1

Elegir unidad de servicio y referencia temporal: en el proyecto se optó por utilizar como unidad de servicio 1 m² de área construida estándar de vivienda multifamiliar y, como tiempo de referencia, un año.

2

Establecer intensidad material: la intensidad material (IM) se define como el peso en kilogramos de los materiales usados en la edificación por unidad de servicio. Este valor se calculó con base en reportes brutos de compras de materiales.

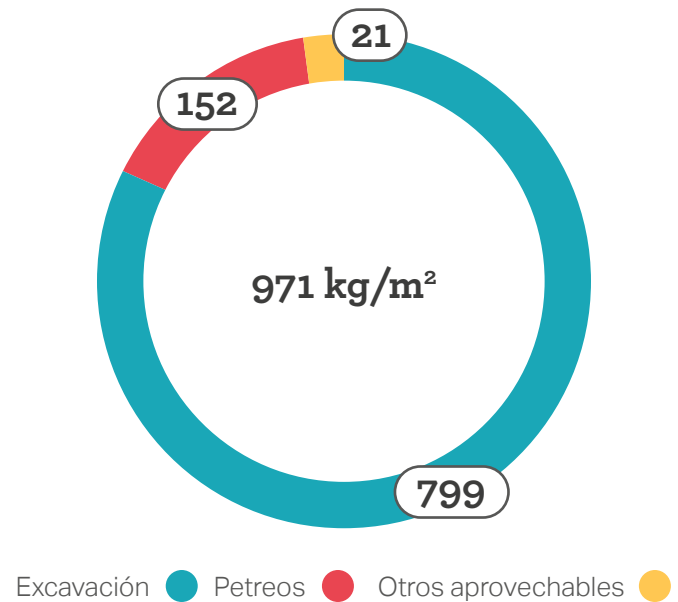
— Intensidad material en kg/m² para un edificio residencial tipo en el AMB, por tipo de residuo

Origen	Tipo	Elementos	kg/m ²	Aporte
Pétreo	Concreto	Premezclado	888,6	67,5%
	Áridos	Arenas, gravas y gravillas	177,3	13,5%
	Mampostería	Ladrillos, bloques, fachaletas	82,9	6,3%
	Cemento	Gris , Blanco	29,7	2,3%
	Morteros	Morteros, frisos	29,7	2,3%
	Cerámica, otros	Baldosas, lozas, enchapes, tejas, cartón-yeso	26,2	2,0%
No Pétreo	Metales	Hierro y Acero	51,3	3,9%
	Madera	Madera, empaques,	11,2	0,9%
		Madera	0,9	
	Plástico	Plástico, empaques	9,6	0,8%
		PVC	0,8	
		Otros, plásticos	0,1	
	Papel y cartón	Papel, cartón (empaques)	4,5	0,3%
		Papel, cartón	4E-02	
	Otros	Vidrio	4E-04	0,0%
		Ascensor	3,7	0,3%
IM (kg/m ²)			1309	

3

Determinar tasa de generación de RCD: este dato requiere disponer de información de todo el ciclo constructivo que discrimine los flujos de residuos de tipo pétreo y de excavación, ya que tienen dinámicas de aprovechamiento y generación diferentes. En el caso del AMB se consideraron solo los proyectos que contaban con datos más consistentes en este sentido: seis para el cálculo de la tasa de residuos pétreos y ocho para la de residuos de excavación. Mediante los factores de conversión peso/volumen unificados del Green Building Council y de la Agencia Ambiental de Estados Unidos, se expresaron unidades de masa de todos los flujos reportados por las obras.

— Tasa de generación de RCD por corriente residual en el AMB



Fuente: CCB (2020).

4

Estimar balance de masas: para determinar con precisión los flujos de residuos y materiales de construcción es necesario estimar el área de construcción que efectivamente incorpora materiales o genera residuos durante el periodo de análisis elegido. Para ello se usa la ecuación:

$$ED = \sum_i^M Qi - \sum_r^R RCD_r$$

Donde:
 ED: tasa de edificación (t/año).
 Qi: flujo másico (t/año) para un material de construcción i.
 RCDr: flujo másico (t/año) para un RCD r.

La entrada de materiales ($\sum_i^M Qi$) contempla la suma de todos los materiales de relevancia³ que son importados de otras cadenas productivas, como el concreto premezclado, los ladrillos, la tubería sanitaria, entre otros. Para ello se utiliza la ecuación:

$$\sum_i^M Qi = \sum_{ij}^{R,4} (3/D)(IMI/1.000) * (An_j + Ap_j) * (1 + FD)$$

Donde:
 IMi: intensidad material del material de construcción i.
 D: duración promedio de la construcción según Camacol (2019).
 Anj: área de obra nueva para trimestre j en el que se reporta área construida.
 Apj: área en proceso para trimestre j en el que se reporta área construida.
 FD: factor de demolición de estructuras preexistentes (0,81% para el caso del AMB)⁴.

Por su parte, la generación de RCD en el AMB para el año 2019 ($\sum_r^R RCD_r$) se estimó así:

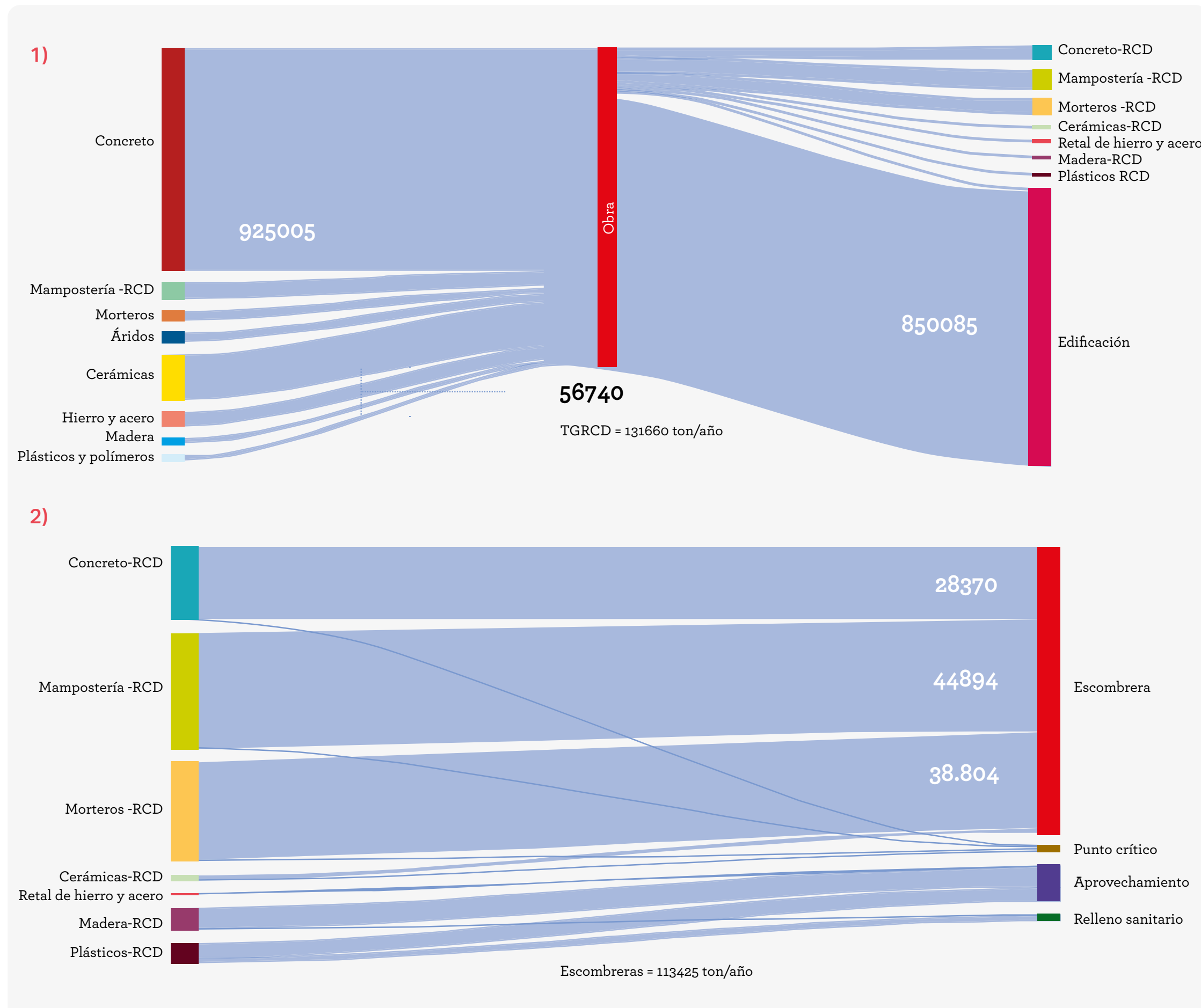
$$\sum_r^R RCD_r = \sum_{rj}^{R,4} \left(\frac{3}{D} \right) \left(\frac{TGRCD_r}{1.000} \right) * (An_j + Ap_j)$$

Donde:
 TGRCDr: tasa de generación de RCD para la corriente residual r.
 Con base en estos cálculos es posible elaborar diagramas Sankey que dan cuenta de la demanda de materiales y del destino de los residuos de construcción y demolición.

- 1) Diagrama Sankey para el flujo de materiales y residuos de construcción y demolición en el AMB (año de referencia 2019). Tasa de generación de residuos de construcción y demolición
- 2) Diagrama Sankey del fin de vida de los materiales generados en obra en el AMB (año de referencia 2019)

3. Cabe precisar, entonces, que el análisis excluye aquel material de excavación y corrientes consideradas como de poca relevancia (vidrio, papel y cartón).

4. Este factor de demolición se calculó a partir de información de un caso de estudio analizado para validar el modelo.





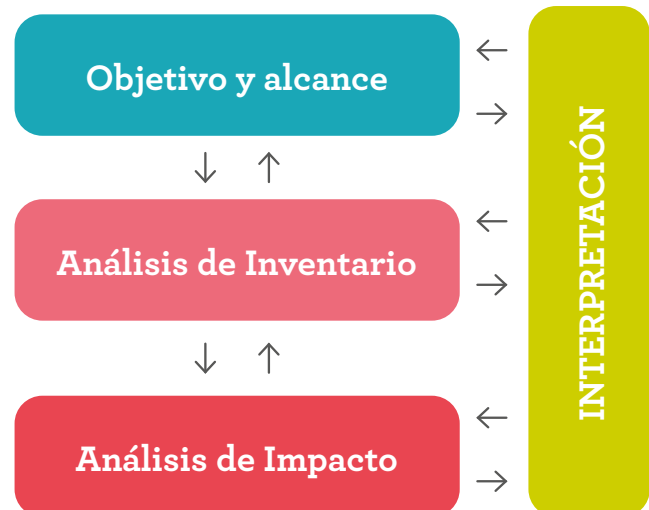
Indicadores del modelo

El análisis de ciclo de vida y el de flujos de caja descontados son dos herramientas que permiten evaluar la viabilidad de proyectos de economía circular en la gestión de RCD. A continuación se presentan las metodologías para obtener indicadores en cada caso.

Análisis de ciclo de vida (ACV)

Al contabilizar de forma sistemática las entradas y salidas de materiales de cada unidad de proceso dentro de una construcción es posible elaborar modelos ecológicos o fisicoquímicos que pueden dar una idea de los impactos ambientales de un proyecto. Estas proyecciones son claves para adoptar un enfoque de ciclo de vida.


El ACV se lleva a cabo, de forma iterativa, en cuatro etapas:



1

Definición del objeto y del alcance del estudio: en una primera instancia es preciso determinar cuál es el uso que se espera darles a los resultados del ACV. Por lo general, este objetivo es obtener una declaración ambiental de producto (DAP), esto es, “una manifestación con datos cuantitativos basados en ACV presentados de forma estandarizada, siguiendo Reglas de Categoría de Producto (RCP) y que deben estar verificados por un Administrador de Programa para poder ser comunicados al público” (ISO 14025, 2006).

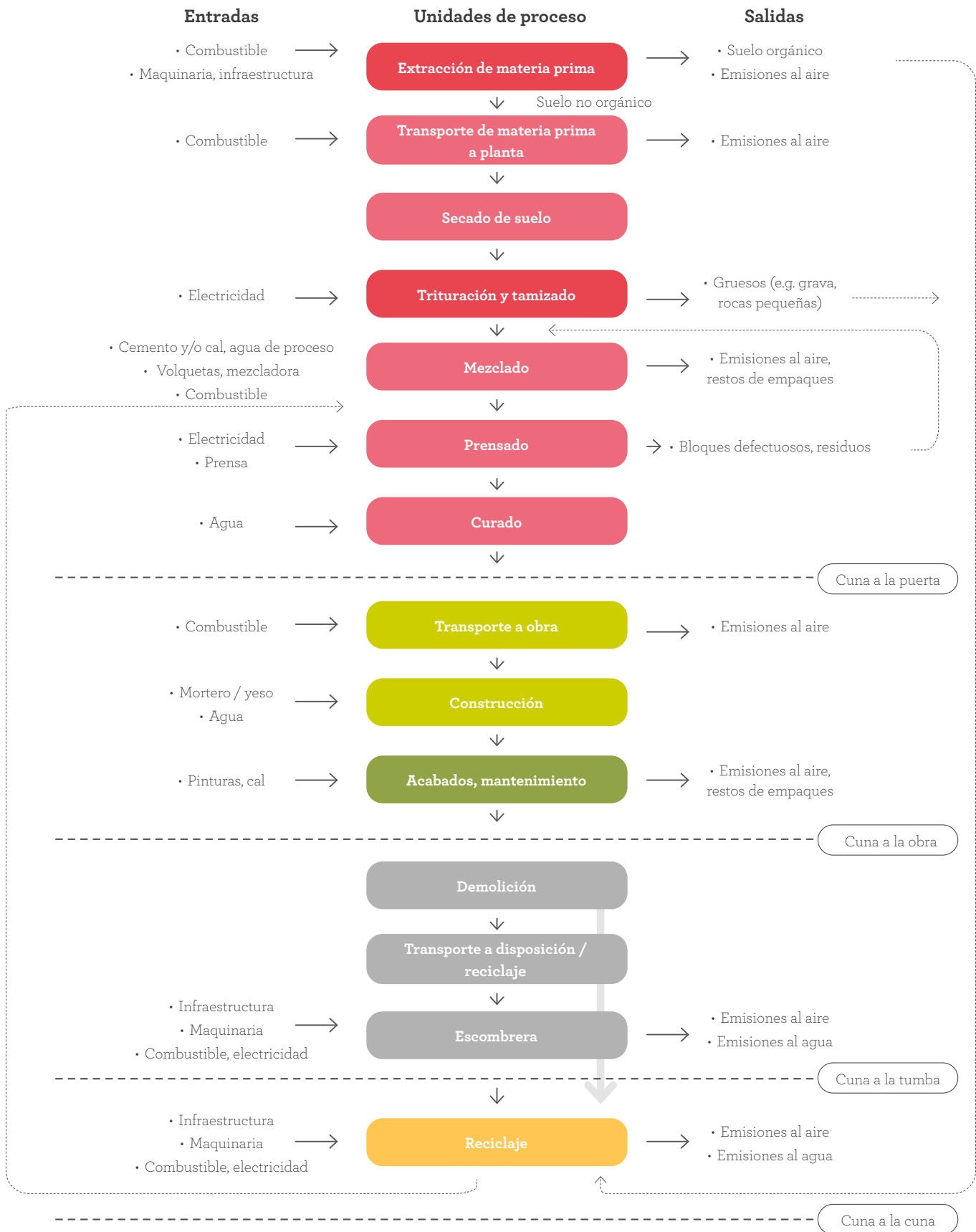
Asimismo, en esta primera etapa se eligen las unidades de proceso y los sistemas que se incluirán en el estudio, así como la unidad funcional con respecto a la cual se estimarán los impactos ambientales.



La unidad funcional es una unidad de escalado que se compone de una función, una cantidad, una duración y una calidad. En el trabajo realizado con una empresa constructora del AMB, se eligió como unidad funcional el ladrillo ecológico.

Flujograma del proceso de fabricación de ladrillos con material de excavación

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA



2

Análisis de inventario: en esta etapa se levanta información según los límites definidos anteriormente. Esta información puede ser:

- De primer plano: información de procesos que están bajo el control directo de quien lleva a cabo el estudio.
- De segundo plano: información de procesos aguas arriba o aguas abajo del sistema constructivo que se evalúa y que puede tomarse de literatura revisada o de bases de datos de inventarios de ciclo de vida.



— Inventario de ciclo de vida para el ladrillo EC2S (3,25 kg, estabilizado con cemento)

FLUJO, UNIDAD	CANTIDAD/UF	PROCESO BASE DE DATOS
Excavación, m ³	0,00310559	excavation, hydraulic digger, GLO
transporte, ton*km	0,000696398	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4
Disposición material rechazado	2,210625579	treatment of inert waste, inert material landfill, RoW
transporte, ton*km	0,003094876	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4
Consumo de agua, kg	2,0	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4
Cemento, kg	0,745341615	cement, Portland [kg], BR (CP V 5 ARI)
transporte, ton*km	0,009614907	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4
Arena, kg	0,829113699	sand, gravel and sand quarry operation, RoW
transporte, ton*km	0,037144294	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4
Electricidad Mezcladora, kWh	0,002666667	electricity, medium voltage, CO
Electricidad Prensadora, kWh	0,010	electricity, medium voltage, CO

3

Análisis de impacto: en esta fase los flujos de inventario se traducen a impactos usando factores de caracterización para diferentes categorías. En el caso particular de materiales y edificaciones, se consideran dos clases de indicadores:

- Impactos embebidos y emisiones de energía y carbono: asociados al ciclo de vida del producto desde la minería y el procesamiento de las materias primas, pasando por la manufactura de los productos y el uso de insumos y combustibles, hasta la puesta en obra (no se incluye, por lo general, la utilización del material, la demolición o la disposición final/el reciclaje).
- Otros impactos ambientales: la norma ISO 21930 de 2017, con miras al desarrollo de DAP, establece una serie de categorías de impactos ambientales, de uso de recursos energéticos, de generación de residuos sólidos y de consumo de agua fresca que deben considerarse de cara a una evaluación de ACV.

- Categorías de impactos ambientales, uso de recursos y generación de residuos para tener en cuenta en DAP de productos de construcción según la ISO 21930

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Potencial de cambio climático	kg CO ₂ eq/UF	El potencial de cambio climático de un gas se refiere a la contribución total al calentamiento global que resulta de la emisión de una unidad de ese gas en relación con una unidad de gas de referencia, dióxido de carbono, a la que se asigna un valor de 1.
Potencial de agotamiento de ozono	kg CFC-11 eq/UF	Destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege la tierra de la radiación ultravioleta perjudicial para la vida. Esta destrucción es causada por la degradación de ciertos compuestos basados en cloruros/bromuros clorofluorocarbonados o halones), que se degradan cuando alcanzan la estratosfera y catalizan la destrucción de las moléculas de ozono.
Potencial de acidificación	kg CO ₂ eq/UF	Deposiciones ácidas que causan impactos negativos en ecosistemas naturales y ambientes creados por el hombre como edificaciones. La mayor fuente de sustancias acidificantes son la agricultura y la quema de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica, como fuente de calor o transporte.
Potencial de eutrofización	kg PO ₄ ³⁻ eq/UF	Se refiere a la polución de cuerpos de agua por la emisión de nutrientes que conlleva al crecimiento de la biomasa y al consecuente agotamiento del oxígeno en el ecosistema receptor.
Creación de ozono fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq/UF	Reacciones químicas causadas por la energía lumínica del sol. Se refiere específicamente a la reacción de los óxidos de nitrógeno con los hidrocarburos en presencia de luz solar para la formación de ozono. Altas concentraciones de ozono fotoquímico a nivel de la troposfera pueden causar daños a la vegetación, el tracto respiratorio humano y a materiales creados por el hombre.
Potencial de agotamiento abiótico – Recursos no fósiles	kg Sb eq/UF	Consumo de recursos no renovables y disminución de su disponibilidad para futuras generaciones.
Potencial de agotamiento abiótico – Recursos fósiles	MJ/UF	
Uso de Energía Primaria No Renovable	MJ/UF	Energía disponible en la naturaleza, antes de ser convertida o transformada.
Uso de Energía Primaria Renovable	MJ/UF	
Uso de Materiales No Renovables	kg/UF	Uso de materiales durante el proceso de fabricación del material.
Uso de Materiales Materiales	kg/UF	
Consumo de agua fresca	m ³ /UF	Cantidad del agua extraída de fuentes superficiales o subterráneas que no es retornada a la cuenca de extracción durante el proceso de fabricación del material.
Residuos ordinarios dispuestos	kg/UF	Cantidad de residuos generados durante el proceso de fabricación del material.
Residuos peligrosos dispuestos	kg/UF	
Residuos radiactivos dispuestos	kg/UF	

- Potencial de calentamiento global a 100 años en gCO₂ eq para ladrillo EC2S (ladrillo de tierra estabilizado con cemento, 3,25 kg)



4

Interpretación: esta tarea se lleva a cabo durante cada etapa del proceso hasta llegar a la evaluación de impactos.

Análisis de flujos de caja descontados (DCF)

Esta metodología permite valorar la viabilidad financiera de un proyecto o de una inversión al analizar las entradas y las salidas de fondos durante sucesivos periodos de tiempo, aplicando una tasa de descuento apropiada con el fin de reflejar el valor dinero en el tiempo. Para este modelo de RCD se recomienda utilizar dos indicadores:

- Valor presente neto (VPN): este indicador mide la capacidad de producir valor a largo plazo.

Si este valor es positivo, el proyecto es factible. Para determinarlo se emplea la ecuación:

$$VPN = I_0 + \sum_r^R \left(\frac{Q_t - P_t - O_t - A - C_{it}}{(1+k)^t} \right)$$

Donde:

t: 0, ..., n años.

I₀: inversión inicial previa + intereses pagados por anticipado.

Q_t: producción anual (unidades/año).

P_t: precio de venta del producto.

k: tasa de descuento (k), tasa de retorno requerida sobre una inversión que refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente.

O_t: costos de operación.

A: amortización de capital y pago de intereses.

C_{it}: carga impositiva (impuestos por pagar).

- Precio mínimo de venta: representa el precio de un producto requerido para que el VPN, después de impuestos, sea igual a cero para una tasa interna de retorno definida. En el caso de RCD reciclados, este valor puede ser comparado con el precio de mercado de materiales convencionales para indicar el grado de madurez o aplicabilidad de los procesos de fabricación.



Referencias

ASHRAE (2002). *Measurement of energy demands savings*.

Cárdenas, J. (2017). *Herramienta metodológica para el análisis eficiente de simulaciones energéticas de edificaciones en el trópico*. Bucaramanga: UIS.

CCB e iNNpulsa. (2016). *Guía sectorial de buenas prácticas de construcción sostenible para Santander*. Bucaramanga.

EVO. (2009). *International Performance Measurement and verification Protocol*. Washington: Efficiency Valuation Organization.

Mustafaraj, D. M. (2014). Model calibration for building energy efficiency simulation. *Appl. Energy*, 130, 72-85.

WGBC. (2013). *The Business Case for Green Building*. World Green Building Council.



**Colombia+
Competitiva**

Cooperación suiza para la competitividad

