

## **CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> GENERADAS EN EDIFICACIONES TRADICIONALES DE USO RESIDENCIAL EN MEDELLÍN.**

Luisa Fernanda Quintero Ochoa

Janeth Caterine Trujillo Chaverra

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA

**RESUMEN:** El propósito de esta investigación fue evaluar una metodología en la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> para el sector doméstico, teniendo como modelo constructivo habitacional una muestra de 10 edificaciones tradicionales de la ciudad de Medellín, esta cuantificación se realizó a partir de diferentes fuentes generadoras de emisiones domésticas, como materiales básicos de construcción en su etapa de construcción y uso (KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), consumo energético per cápita (tonCO<sub>2</sub> e/hab.) y doméstico (tonCO<sub>2</sub> e), residuos sólidos dispuesto (tonCO<sub>2</sub> e) y consumo de agua doméstica (ton CO<sub>2</sub> e). Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> se usó la metodología Global Protocol for Community Scale, GHG Emissions inventories (GPC); luego se estableció un plan por secciones, relacionando en sentido descendente los diferentes objetivos específicos necesarios para el logro del objetivo principal y en sentido horizontal, las actividades planteadas para cumplir el logro de cada objetivo específico, obteniendo los siguientes porcentajes de emisión que ocupan los materiales básicos usados en la construcción; con un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el concreto, 12% para el ladrillo, 6% para el barro y 1% para el acero; además se cuantificaron los promedios estimados de emisiones para el consumo de agua potable (10.7 tonCO<sub>2</sub> e), consumo energético (1.2 tonCO<sub>2</sub> e), disposición de residuos sólidos (0.32 tonCO<sub>2</sub> e) y las emisiones per-cápita por consumo energético (0.27 tonCO<sub>2</sub> e/hab), para una vivienda de construcción tradicional en la ciudad. La aplicación del modelo de cuantificación seleccionado en viviendas con esta tipología tradicional, permite crear un perfil de referencia con el cual se puedan realizar análisis comparativos con otros modelos constructivos de tipologías diferentes, además el de aportar información acerca de los materiales de construcción y elementos básicos con mayor huella ambiental durante el ciclo de vida de la edificación.

**PALABRAS CLAVES:** ciclo de vida, cuantificar, emisiones, edificación tradicional.

**ABSTRACT:** The purpose of this research was to evaluate a methodology in the quantification of CO<sub>2</sub> emissions for the domestic sector, having as a residential construction model a sample of 10 traditional buildings in the city of Medellín, this quantification was carried out from different sources that generate emissions domestic, such as basic construction materials in their construction and use stage (KgCO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>), energy consumption per capita (tonCO<sub>2</sub> e / hab.) and domestic (tonCO<sub>2</sub> e), disposed solid waste (tonCO<sub>2</sub> e) and domestic water consumption (ton CO<sub>2</sub> e); To calculate CO<sub>2</sub> emissions, the Global Protocol for Community Scale, GHG Emissions inventories (GPC) methodology was used; Then a plan was established by sections, relating in descending order the different specific objectives necessary for the achievement of the main objective and horizontally, the activities proposed to meet the achievement of each specific objective, obtaining the following emission percentages that the materials occupy basics used in construction; with 80% of CO<sub>2</sub> emissions for concrete, 12% for brick, 6% for mud and 1% for steel; In addition, the estimated averages of emissions for drinking water consumption (10.7 tonCO<sub>2</sub> e), energy consumption (1.2 tonCO<sub>2</sub> e), solid waste disposal (0.32 tonCO<sub>2</sub> e) and per-capita emissions from energy consumption (0.27 tonCO<sub>2</sub> e) were quantified. ), for a house of traditional construction in the city. The application of the selected quantification model in homes with this traditional typology, allows creating a reference profile with which comparative analyzes can be made with other construction models of different typologies, in addition to providing information about construction materials and basic elements. with the greatest environmental footprint during the life cycle of the building.

**KEYWORDS:** life cycle, quantify, emissions, traditional building.

## Tabla de Contenidos

Introducción.....	7
Metodología .....	10
• Descripción del área de estudio .....	15
• Muestra seleccionada MCH (Modelo Constructivo Habitacional).....	16
Resultados.....	18
• Cuantificación de materiales consumidos.....	18
• Componentes básicos representativos del MCH seleccionado .....	19
• Caracterización de variables representativas de la muestra (MCH)....	20
• Cuantificación emisiones de CO2 por consumo de energía, agua potable y residuos sólidos generados por vivienda .....	20
1. Emisiones CO2 sector doméstico consumo energético por habitante .....	20
2. Emisiones de CO2 por consumo energético domestico.....	22
3. Emisiones de CO2 por residuos sólidos domésticos.....	25
4. Consumo de agua domestica.....	27
• Análisis de emisiones CO2 de los materiales básicos en el MCH.....	29
• Descripción Materiales básicos usados en una construcción tradicional.....	30
1. Concreto.....	30
2. Cemento .....	31
3. Ladrillo.....	31
4. Acero.....	32
• Materiales eficientemente amigables....	32
• Aplicación del programa CE3X en eficiencia energética para una vivienda tradicional....	33
1. Calificación del programa CE3X .....	35
Análisis de Resultados .....	36
Consideraciones Finales.....	39
Bibliografía .....	41

## **Glosario de términos y abreviaturas**

- MCH, acrónimo con el que se identifica al Modelo Constructivo Habitual.  
Objeto de estudio.
- CBM, acrónimo con el que se identifica al Componente Básico Material.  
En plural (CBMs)
- GEI, Gases de Efecto Invernadero.
- CO<sub>2</sub>, Dióxido de carbono.
- ACV, Análisis de ciclo de vida.
- GPC, Global Protocol for Community-Scale GHG Emissions Inventories.
- UPME, Unidad de Planeación Minero-Energética.
- SIAME, Sistema de Información Ambiental Minero Energético.
- EPM, Empresas Públicas de Medellín.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- BEDEC, Banco Estructurado de Elementos Constructivos.
- ITeC, Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- ACS, Agua Caliente Sanitaria.
- RS, Residuos Sólidos.
- ICAEN, Instituto Catalán de Energía.

## Lista de tablas

Tabla 1. Reporte de emisiones GEI, para energía estacionaria según protocolo GPC.....	11
Tabla 2. Areas (m <sup>2</sup> ) para las casas seleccionadas.....	17
Tabla 3. CBMs (Kg) para el MCH elegido.....	18
Tabla 4. Emisión de CO <sub>2</sub> (KgCO <sub>2</sub> /Kg) por cada CBM.....	19
Tabla 5. Matriz Final. Peso medio y emisiones (KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) por cada CBM.....	20
Tabla 6. Descripción de variables para la ecuación 2.....	21
Tabla 7. Emisiones tonCO <sub>2</sub> /hab. para cada vivienda seleccionada.....	21
Tabla 8. Descripción de las variables para la ecuación 3.....	23
Tabla 9. Emisiones tonCO <sub>2</sub> e por consumo energético .....	24
Tabla 10. Descripción de las variables para la ecuación 5.....	26
Tabla 11. Emisiones tonCO <sub>2</sub> e por disposición de residuos sólidos.....	27
Tabla 12. Descripción de las variables para la ecuación 6.....	28
Tabla 13. Emisiones tonCO <sub>2</sub> e por consumo de agua potable.....	28
Tabla 14. Generación de emisiones de CO <sub>2</sub> en la producción de concreto.....	30
Tabla 15. Listado materiales básicos eficientemente amigables.....	33
Tabla 16. Emisiones tonCO <sub>2</sub> e y porcentaje de emisión por fuente domestica.....	37

## Lista de figuras

Figura 1. Esquema metodológico.....	12
Figura 2. Mapa geoespacial para el MCH elegido.....	15
Figura 3. Plano en planta para el MCH elegido.....	16
Figura 4. Porcentaje de emisiones de CO2 por CBM.....	29
Figura 5. Fabricación del cemento.....	31
Figura 6. Vivienda seleccionada para aplicación del programa CE3X.....	34
Figura 7. Calificación en eficiencia energética para la vivienda seleccionada.....	35
Figura 8. Perfil de emisiones (ton CO2 e) para una vivienda tradicional de Medellín.....	36

## INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción de edificaciones es uno de los motores de crecimiento de la economía colombiana, es una industria dinámica y superior a otros sectores como la minería o las actividades de servicios. En los últimos 5 años ha tenido un crecimiento promedio del 5% anual; para el año 2017, el sector alcanzó una participación del 4,9 % dentro del Producto Interno Bruto (PIB), cifra que representa un aumento considerable frente a su aporte en 2001, cuando dicha participación no superaba el 1,8 % del PIB (DANE, 2017). Para el 2018, Colombia era el tercer mercado de construcción más grande de Latinoamérica, con un valor estimado de USD 23 mil millones. De acuerdo con cálculos de Asogras (Asociación Colombiana de Productores de Agregados Pétreos), se estima que la producción de materiales de construcción pase de 160 millones de toneladas en 2018 a 320 millones de toneladas en 2025 (Procolombia.co 2018).

La actividad denominada construcción define las etapas de la vida de los seres humanos, ya que es al interior de las edificaciones donde el hombre vive, trabaja y realiza un cúmulo de actividades que satisfacen sus necesidades básicas. “Actualmente, se calcula que el hombre habita por lo menos el 90% de su vida al interior de una edificación” (Ochsendorf & Norford, 2019).

Las edificaciones existentes a lo largo de su vida útil son una causa directa de contaminación ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), producidas por el alto consumo de energía eléctrica, agua y demás materias primas necesarias para su funcionamiento; esta demanda incontrolada de recursos contribuye a la contaminación ambiental generada por los edificios, aportando cerca de un tercio de las emisiones globales básicamente, a través del uso de combustibles fósiles durante su fase de operación (Pachauri & Reisinger, 2007), (Estevez, 2013).

La incidencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria de la construcción también es muy notable y está vinculada al consumo energético. Según la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 16 de diciembre de 2002, la considera un indicador de la eficiencia energética de los edificios en el sector residencial y terciario; ya que esta tasa puede ser medida y cuantificada, en términos energéticos y en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> (Mercader, 2012).

En octubre de 2009 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) realizó un proyecto llamado “Co-Eficiencia, que consistía en la Mejora de la eficiencia energética en edificios”, donde promueven la eficiencia energética en edificios y apoya la eliminación de barreras institucionales, políticas y de capacidad técnica que limiten la adopción de este tipo de medidas.

En materia de consumo de energía, según el plan indicativo de eficiencia energética elaborado por el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2016), en Colombia el sector de las edificaciones es uno de los mayores consumidores y generadores de pérdidas de energía final, representando el 22 % de la demanda nacional (el 16,72 % en el sector residencial, el 5,32 % en el sector comercial y público, y el 0,03 % en la construcción); en cuanto al consumo de agua, de acuerdo con cifras del Sistema Único de Información de Servicios Públicos (2018), en las principales ciudades de Colombia, las edificaciones residenciales concentran el 79 % de esta demanda nacional.

Finalmente, frente al impacto en materiales de construcción, el Consejo Internacional de Investigación e Innovación en Edificaciones y Construcción (CIB, por sus siglas en inglés), el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas y el Centro de Tecnología Medioambiental (UNEP-IETC, por sus siglas en inglés) (2002), estiman que la producción de materiales féreos, cemento, vidrio, ladrillos y cal son responsables de la producción anual del 20% de las emisiones de dioxinas y furanos a la atmósfera. (CONPES 3919).

La exposición excesiva a las dioxinas y furanos puede causar los efectos significativos sobre la salud humana, afectando a órganos importantes como el corazón, sistema inmune, hígado, piel y la glándula de tiroides, llegando incluso a provocar cáncer reproductivo. Una vez liberados a la atmósfera, las dioxinas y furanos son partículas minúsculas, que se depositan eventualmente sobre suelo y la vegetación. Siendo altamente insolubles en el agua, estos



compuestos se fijan fuertemente por adsorción a los suelos o sedimentos, por lo que se degradan muy lentamente, y persisten durante muchos años en el ambiente, llegando a acumularse en los organismos y entrar en la cadena alimenticia (PRTR-España 2017).

Por otra parte, es importante entender los tres pilares sobre los que se cimenta la construcción sostenible, que son: Reducir, Conservar y Mantener. La combinación de estos tres principios con el manejo eficiente de todo tipo de materiales y modo de uso, es lo que permite que un edificio sea sostenible y energéticamente eficiente.

Los “edificios verdes” son energéticamente eficientes, conservadores de agua, durables, no tóxicos, con alta calidad de espacios y materiales altamente reciclables. El éxito de su implementación depende de la calidad y eficiencia de cada uno de los sistemas instalados, de la tecnología y materiales seleccionados. La construcción de edificios verdes tiene como objetivos: optimizar la eficiencia energética y acuífera, establecer estrategias de responsabilidad ambiental, reducir los residuos, seleccionar materiales durables y de poco mantenimiento y proteger la calidad interna del aire; todo ello, con el fin de conservar recursos como energía, tierra y agua, median la reducción de su consumo, con lo cual se protege el medio ambiente y se reduce la emisión de contaminantes, lográndose entornos más saludables (Castro, Sefair, Florez, & Medaglia, 2009).

Para conocer el alcance de los impactos ambientales ocasionados por la industria de la construcción, surge, entre otras, la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) de los materiales, de los que existen numerosos estudios publicados (Estevez, 2013; Monroy, J., 2014; Basquet eco Design center 2014), que utilizan el ACV para evaluar el impacto ambiental de diferentes materiales y herramientas informáticas de aplicación, entre las que se citar el programa español TCQ-2000 asociado al Banco Estructurado de Elementos Constructivos (BEDEC), del Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC) (Mercader, 2012).

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo, cuantificar la emisión de CO<sub>2</sub>, en pertinencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 11 y 12, en edificaciones residenciales tradicionales en el municipio de Medellín, a partir de sus fuentes principales correspondientes a las características físicas y manejo de la edificación (materiales de construcción - consumo de energía – consumo de agua potable - manejo de residuos sólidos). Una vez cuantificadas sus fuentes de emisión de CO<sub>2</sub>, se determinan los elementos y/o

prácticas halladas que son ambientalmente amigables y cuáles no lo son, de modo que se evalúen posibles soluciones en cada caso analizado los criterios de edificaciones eficientes energéticamente.

## **METODOLOGIA**

Para la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>, se calculan los gases de efecto de invernadero (GEI) utilizando las metodologías de (Global Protocol for Community- Scale GHG Emissions Inventories), luego de una revisión, se eligió la metodología Global Protocol for Community- Scale GHG Emissions Inventories (GPC); ya que esta provee directrices para calcular y reportar emisiones de GEI, siendo estas consistentes con las directrices del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales de conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático; además de entender sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. El GPC está diseñado para ser usado por cualquiera que busque valorar las emisiones de GEI de un área geográfica definida. Sin embargo, fue diseñado para las ciudades principalmente.

Aunque este protocolo no ofrece métodos exactos para realizar los cálculos, ofrece una variedad de opciones para seleccionar la metodología más apropiada para cada caso. Las emisiones de GEI de una ciudad en específico pueden generarse al interior del límite de la ciudad o por fuera de este. Para poder diferenciar estas emisiones el GPC propone dividir las emisiones en tres categorías dependiendo del lugar donde generan y donde se emiten (Lopera. 2016):

ALCANCE 1: Emisiones de GEI provenientes fuentes ubicadas dentro del límite de la ciudad.

ALCANCE 2: Emisiones de GEI que se dan como consecuencia del consumo de la red eléctrica, de vapor, calor, o fuentes de enfriamiento dentro del límite de la ciudad.

ALCANCE 3: Todas las otras emisiones de GEI que se dan por fuera del límite de la ciudad como el resultado de actividades que se realizan dentro del límite de la ciudad.

Para el reporte del informe de las emisiones de GEI, el protocolo GPC, nos da las referencias y su alcance respectivo para cada fuente de emisiones seleccionada; en la tabla 1, se aprecia el alcance determinado en esta investigación, según lo propuesto en el protocolo GPC, en este proyecto se evaluó el capítulo I y sus secciones I.1; I1.1: I1.2; cuya fuente de emisión son los edificios residenciales los cuales pertenecen al sector de energía estacionaria para una ciudad como límite geográfico.

GPC ref.	ALCANCE	FUENTE EMISIÓN GEI
I		Energía estacionaria
I.1		Edificios residenciales
I.1.1	1	Emisiones a partir de la combustión de combustibles dentro del límite
I.1.2	2	Emisiones de la energía suministrada por la red que se consume dentro del límite

Tabla 1. Reporte de emisiones GEI para el sector elegido según protocolo GPC (GHGP\_GPC, 2014).

Como se aprecia en la tabla 1, los alcances a lograr y reportar en esta investigación son el primero y el segundo, en los cuales, se cuantifican las emisiones de CO<sub>2</sub> a las fuentes domésticas determinadas dentro del límite geográfico establecido.

En la figura 1, se aprecia el esquema metodológico desarrollado en esta investigación para el cumplimiento del objetivo general, modelo sugerido por Mercader (2012); donde relacionamos en sentido vertical los diferentes objetivos específicos a cumplir y en sentido horizontal, las acciones necesarias para cubrir estos objetivos.

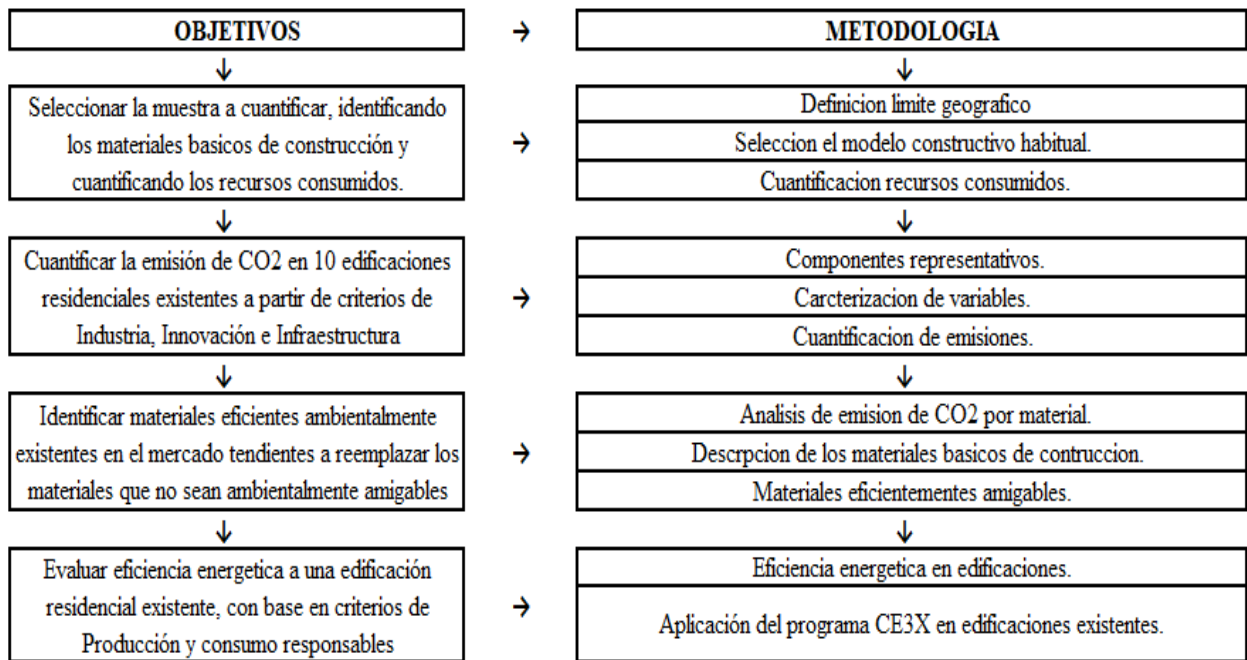


Figura 1. Esquema metodológico (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

Para usar el modelo sugerido por GPC, primero se describe el área de estudio o límites geográficos del inventario a realizar; luego de identificar el área geográfica, el período de tiempo, los gases a cuantificar y las fuentes de emisión. Se selecciona la muestra o modelo constructivo habitacional (MCH) dentro del límite geográfico definido y el número de viviendas que lo componen para determinar los recursos y materiales consumidos en la construcción de las viviendas y cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en las fuentes de emisión elegidas.

Los instrumentos de cuantificación de impactos ambientales emplean un listado de materiales genéricos usados en la construcción, por lo que fue necesario organizar los materiales de construcción de acuerdo a su principal componente básico (Arguello, T. 2008).

En la elaboración del listado de materiales de construcción utilizados por vivienda, se determinan los tipos y cantidades empleados en la construcción de cada parte a edificar, a partir de las descripciones técnicas de los conceptos de obra y un estudio de planimetría y altimetría a las viviendas seleccionadas.

Para la realización de este estudio, se consideró exclusivamente los materiales utilizados para la edificación de la estructura arquitectónica (cimentación, muros y techos, incluyendo puertas y ventanas), sin analizar material alguno de instalaciones eléctricas, hidráulicas o drenaje.

Dada la simplicidad de los sistemas constructivos elegidos, el número de materiales genéricos empleados es reducido y fácilmente identificable.

Fue necesario realizar un análisis descriptivo de los materiales que se usan tradicionalmente en nuestro medio, como el concreto, ladrillo y acero, para evaluar los impactos que estos tienen en el medio ambiente durante su fabricación, vida útil y disposición final. Para esta descripción se recurre a una técnica denominada análisis del ciclo de vida (ACV), que consiste en una revisión detallada en orden cronológico de los impactos ambientales asociados a cualquier producto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final (Uribe. C., 2012). Para realizar el análisis de emisión CO<sub>2</sub> por cada material básico encontrado en el MCH elegido, se utilizó inicialmente, el porcentaje (%) de emisión CO<sub>2</sub> obtenido de cada material básico empleado por m<sup>2</sup> construido.

Luego de determinar las emisiones generadas a partir de los materiales básicos de construcción para la muestra seleccionada, se cuantifican las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el Modelo Constructivo Habitacional elegido siguiendo el desarrollo pormenorizado de las fuentes principales establecidas, emisiones por consumo energético doméstico (tonCO<sub>2</sub> e), residuos domiciliarios (ton CO<sub>2</sub> e) y consumo de agua doméstica (ton CO<sub>2</sub> e).

Los factores de conversión para transformar las unidades de masa o volumen en unidades de energía, según el tipo de combustible, que representan el valor calorífico de los combustibles, son los registrados por la Of. Catalana de Canvi Climatic 2011.

Los factores de emisión se tomaron de la revisión realizada (Of. Catalana. 2011, Lopera A., 2016) y actualizados con el reporte dados por UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) 2020-2050 y SIAME (Sistema de Información Ambiental Minero Energético) 2015, EPM (Empresas Publicas de Medellín) 2020.

Para la cuantificación emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía, se consideran también las emisiones per-cápita (tonCO<sub>2</sub>/habitante/año), pues de esta forma se puede hacer una comparación más asertiva en cuanto los modelos económicos, de desarrollo y de consumo de las diferentes ciudades (Lopera, A. 2016); también se considera el consumo de la electricidad, gas natural, GLP (gas licuado del petróleo), combustibles líquidos (gasóleo C), carbón y biomasa y le asigna un factor de emisión de CO<sub>2</sub> a cada una de estas fuentes energéticas (Jara. Cesar, 2010).

Se toma un valor promedio de poder calorífico para los residuos sólidos urbanos (R.S.U) de

10 MJ/Kg = 2520.16 KWh/t (Romero, A. 2010); corroborando con otras revisiones bibliográficas de (Moratorio. et. al, 2012); este valor lo utilizamos como factor consumo de energía (Fc dc) que es necesario para procesar una unidad de RS de deposición controlada.

Para la variable deposición controlada (Dc) de Residuos Sólidos (RS), se tomó el dato encontrado en la revisión bibliográfica (Lopera. 2016); en la que para el año 2015 se generaron 351400,3 ton de RS, en ese año la ciudad tenía un censo de 2463848,7 habitantes, lo cual generó para ese año un valor per cápita de 0.1426 ton RS/hab/año; ajustando este dato per cápita a 2020 y utilizando el modelo sugerido por el protocolo GPC, se escala el dato per cápita del año 2015 al año 2020, por medio del siguiente indicador (Ec. 1).

Ecuación 1. Modelo de escalamiento de datos (GHGP\_GPC sept. 2014):

$$\text{Indicador (ton CO2 e/hab/año) 2020} = (\text{población 2020} / \text{población 2015}) * \text{indicador 2015.}$$

En el cálculo de la eficiencia energética de los inmuebles, según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Ministerio de Fomento en España, se promueve la utilización de varias herramientas informáticas (AEC, 2019), programa CALENER, el Programa informático CERMA, los programas informáticos CE3 y CE3X, este último el más recomendado ya que mediante este programa se puede certificar de una forma simplificada cualquier tipo de edificio: residencial, pequeño terciario o gran terciario, pudiéndose obtener cualquier calificación desde "A" hasta "G"

Se elige el programa CE3X es el "Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes", desarrollado conjuntamente por CENER y EFINOVATIC (<https://www.efinova.es/CE3X>); logrando evaluar en una forma rápida el edificio residencial seleccionado.

## Descripción del área de estudio:

Como límite a cuantificar, nuestro MCH se compone de 10 viviendas ubicadas en una cuadra de un barrio tradicional de la ciudad en la comuna 8, conocida como Villahermosa, el sector de La Mansión entre las carreras 42 y 43 con calle 63ª (Figura 2). Anteriormente, gran parte del barrio, eran, caminos de herradura, fincas con frutales y ganado. En el año de 1916 se compraron terrenos a 10 centavos, así se empezó a agrandar el barrio (Acevedo de Montoya: 1986, s.p). Entre 1930-40 ya había una zona residencial que servía de puente para Villa Hermosa, al igual que Manrique central permitía el paso hacia Guarne (Gutiérrez, 1989, s.p); entre los años 50-70's, se construye gran parte de las viviendas del sector, época en la cual el barrio era muy visitado porque albergaba la cárcel de varones "La Ladera" y los urbanizadores preferían este sector por su cercanía al centro de la ciudad.

Este sector, aún conserva edificaciones unifamiliares de los años 50- 60's mezcladas con construcciones en bloque más contemporáneas de los años 80's y de interés social construidas en los últimos 20 años. El estrato que predomina es el 3 (Sisben, 2008).



Figura 2. Mapa geoespacial de la cuadra elegida, en el sector de La Mansión (Google Maps),

### Muestra seleccionada MCH (Modelo Constructivo Habitacional):

Según la tipología de proyectos constructivos, las diez casas elegidas son tipo III, construcción de viviendas individuales con un área construida habitacional inferior a 300m<sup>2</sup>, como se registra en la tabla 2. (Manual Gestión Socio Ambiental para Obras en Construcción, 2010, Medellín). Son consideradas construcciones tradicionales, viviendas edificadas con materiales propios de la región, la mayoría con más de 50 años de existencia, entre los principales se encuentra ladrillo alta densidad, concreto, acero, barro y madera (Min. Amb., 2011) (Figura 3).

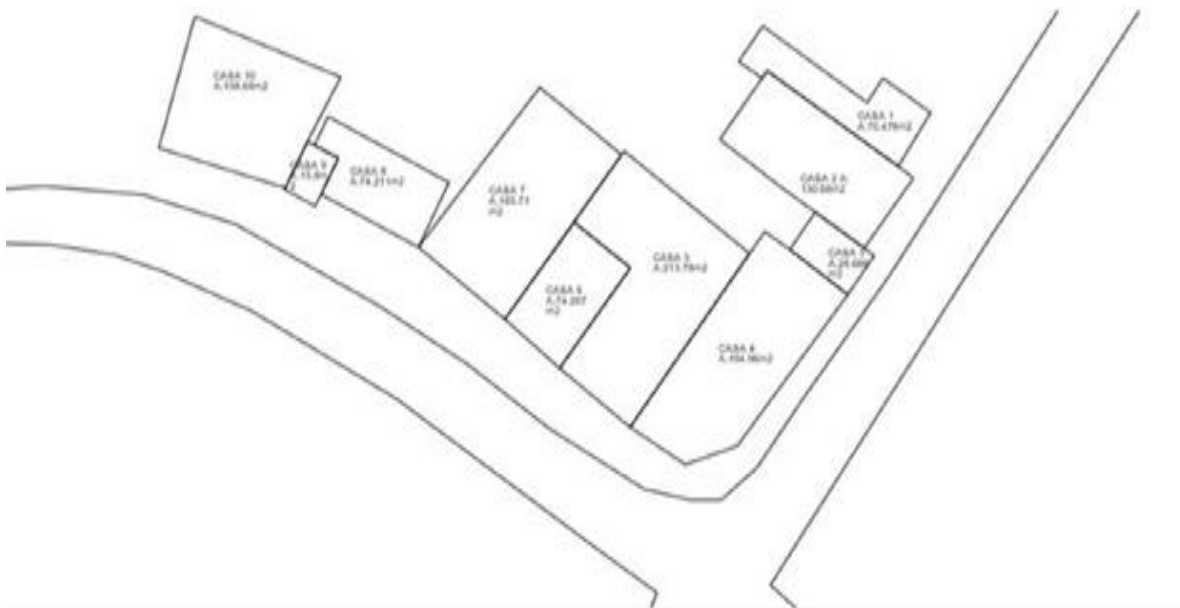


Figura 3. Plano en planta del MCH seleccionado (Global Mapper v.19).



En la tabla 2, se aprecia los valores de las áreas por cada vivienda seleccionada, estimadas mediante el programa Global Mapper v.19.

<b>N° Casa</b>	<b>Área (m2)</b>
1	70.476
2	130.68
3	28.666
4	194.96
5	213.78
6	74.267
7	185.71
8	74.211
9	15.812
10	158.68

Tabla 2. Áreas (m2) de las casas seleccionadas del sector la Mansión, barrio Villahermosa (Global Mapper v.19).

Luego de hallar el área de las viviendas seleccionadas (Global Mapper v.19), se realiza una visita técnica domiciliaria en la cual se verifican los niveles de cada vivienda y se halla el perímetro de cada una, de este perímetro se toma un porcentaje establecido por estudios de planimetría y altimetría (60%) para luego determinar las cantidades de los materiales básicos por m2 construido de cada vivienda.

## RESULTADOS

En el cumplimiento de los objetivos propuestos registrados en nuestro esquema metodológico, se realiza una amplia revisión en la obtención de datos necesarios para lograr la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en las fuentes domiciliarias determinadas, también de encuestas realizadas a los habitantes de la muestra habitacional seleccionada y de asesorías técnicas durante todo el proceso investigativo, todo esto con el fin de reportar resultados y análisis confiables que sirvan de base en próximas investigaciones.

### Cuantificación de materiales consumidos:

Identificado el listado de materiales básicos, calculamos las cantidades de cada componente básico por material (CBM) empleado en la construcción de cada una de las viviendas experimentales en estudio, organizando la información disponible y convirtiendo las cantidades de medición de los diferentes materiales a kilogramos, unidad de medida requerida por los sistemas de evaluación de impacto ambiental (Tabla 3).

<b>COMPONENTES BASICOS POR MATERIAL (CBM)</b>		
<b>CBM's del modelo habitacional elegido</b>		<b>Kg</b>
M2 MURO LADRILLO	2072.58	139898.88
M2 REVOQUE LADRILLO	3399.99	6799.98
M2 FACHALETA (CERAMICA)	278.18	677.855.115
CONCRETO LOSAS (M2)	120.91	278098.76
CUBIERTA TEJA DE BARRO M2	1009.88	44434.78
ACERO LOSA Y 30% MAS PARA VARIOS(M2)	4.53	5194.03
CUBIERTA ZINC M2	77.52	96.90
<b>Total (Kg)</b>		<b>481301.89</b>

Tabla 3. CBM's para el MCH elegido, m2 de material utilizado y su respectivo valor en Kg.

Una vez determinados los materiales básicos usados en la ejecución del MCH definido, se estimó un total de 481301.89 Kg en materiales consumidos., como se registra en la tabla anterior.

**Componentes básicos representativos del MCH seleccionado:**

Se seleccionó los componentes básicos más representativos y sus respectivos factores de emisión, determinando sus valores correspondientes a las emisiones de CO2 en KgCO2/Kg material (Tabla 4).

COMPONENTES BÁSICOS POR MATERIAL		Factores Emisión de KgCO2 por Kg de material		Emisión CO2
CBM's del medio modelo habitacional elegido	Kg	Material	Kg	KgCO2 Kg material
MURO LADRILLO	139898,88	Ladrillo	0,200	27979,776
REVOQUE LADRILLO	6799,98	Revoque	0,730	4963,982
FACHALETA	6778,55	Fachaleta (cerámica)	0,180	1220,139
CONCRETO LOSAS	278098,76	Cemento	0,417	115967,183
CUBIERTA TEJA DE BARRO	44434,78	Tejas de barro	0,180	7998,261
ACERO LOSA	5194,03	Acero	2,800	14543,291
CUBIERTA ZINC	96,9	Zn	2,800	271,333
<b>Total (Kg)</b>	<b>481301,89</b>		<b>Total (Kg CO2/Kg)</b>	<b>172943,965</b>

Tabla 4. Emisión (KgCO2/Kg) por Componente Básico por material. Factores de emisión tomados de del banco BEDEC del ITeC. (Banco de datos con información de productos de la construcción <https://itec.es/servicios/bedec/>). (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

La anterior tabla, nos presenta los valores obtenidos de las emisiones de CO2 por material utilizado, para un total de 172943.96 KgCO2/Kg, emisiones generadas en el consumo de materiales durante la ejecución de la construcción de las casas.

### **Caracterización de variables representativas de la muestra (MCH):**

Utilizamos para ello el peso medio (Kg material/m<sup>2</sup> construido) de cada Componente Básico por Material de la muestra seleccionada; determinando así un total emisiones de 5916837.81 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, para el total de viviendas en la muestra seleccionada (Tabla 5).

<b>COMPONENTES BÁSICOS POR MATERIAL (CBM)</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub></b>	<b>PESO MEDIO</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub></b>
<b>CBM</b>	<b>KgCO<sub>2</sub>/Kg material</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup></b>
LADRILLO	27979,776	25,56	715266,066
REVOQUE	4963,982	2	9927,965
CERAMICA	1220,139	24,3675	29731,742
CEMENTO	115967,183	40,906	4743805,297
BARRO	7998,261	44	351923,47
ACERO	14543,291	4,527	65844,099
ZINC	271,333	1,25	339,166
<b>Total (KgCO<sub>2</sub>/Kg)</b>	<b>172943,965</b>	<b>Total(KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5916837,806</b>

Tabla 5. Matriz Final. Peso medio y Emisiones en KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> construido por cada CBM del MCH elegido (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

### **Emisiones CO<sub>2</sub> sector doméstico por habitante:**

Por medio de la ecuación (1), cuantificamos las emisiones del sector doméstico por habitante (t CO<sub>2</sub>/hab.) para un periodo anual, asociadas a los consumos energéticos de Electricidad, Gas Natural y Gas licuado de petróleo (GLP) de las viviendas elegidas (Jara. Cesar, 2010).

Ecuación 2. Indicador consumo energético sector doméstico por habitante (Jara. Cesar, 2010):

$$\text{ton CO}_2/\text{hab} = (((\text{Ce} * \text{Fe}) + (\text{Cgn} * \text{Fgn})) + ((\text{CglpB} + \text{CglpP}) * \text{Fglp})) / (\text{Pob})) * 0.00110231$$

En la tabla 6, se aprecian los valores para cada una de las variables de la ecuación 2:

Variables	Descripción	Fuente
Ce	Consumo eléctrico (KWh) Consumo total de energía eléctrica medida en los contadores	EPM
Fe	Factor de emisión de la electricidad (Kg CO2 eq/KWh) Se asocia las emisiones en la generación de electricidad al lugar de consumo.	UPME 2020
Cgn	Consumo de gas natural (KWh). Consumo total de gas natural medida en los contadores	EPM
Fgn	Factor de emisión del gas natural (Kg CO2 eq/KWh)	Siame
Cglp B	Consumo de GLP: Butano (KWh). Consumo anual de butano	Encuesta
Cglp P	Consumo de GLP: Propano (KWh). Consumo anual de propano vendido a granel	Encuesta
Fglp	Factor de emisión del GLP (Kg CO2 eq/KWh)	Siame
Pob	Población censada (Hab)	Encuesta

Tabla 6. Descripción de las variables para la ecuación 2 (Jara, C. 2010).

En la tabla 7, se aprecia los valores obtenidos tonCO2 e/hab.; de las 10 casas seleccionadas en la muestra, valores obtenidos a partir de la ecuación 1.

Variables	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4	Vivienda 5	Vivienda 6	Vivienda 7	Vivienda 8	Vivienda 9	Vivienda 10
Ce	1620	1536	1692	1608	1860	1704	1860	1608	1716	1752
Fe	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438
Cgn	1200	1260	1320	1332	1416	1236	1344	1308	1272	1356
Fgn	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883
Cglp B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cglp P	1835,0	2752,5	2752,5	2752,5	3211,2	1376,2	2752,5	1835,0	2752,5	2752,5
Fglp	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358	0,2358
Pob	4	5	5	6	8	3	6	4	5	5
ton CO2 e/hab.	0,2749	0,26787	0,27681	0,22869	0,19501	0,3351	0,23685	0,2817	0,27505	0,28096

Tabla 7. Emisión tonCO2e/hab. Para cada vivienda seleccionada (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

El promedio total de emisiones per-cápita en tonCO<sub>2</sub> para todas las viviendas en la muestra seleccionada es igual a 0.27 tonCO<sub>2</sub> e/hab./año.

### **Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo energético domestico:**

Por medio de la siguiente ecuación (2), cuantificamos las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales asociadas a los consumos energéticos anuales de cada vivienda seleccionada.

Ecuación 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> anuales asociadas a los consumos energéticos anuales del sector doméstico (Jara. Cesar, 2010):

$$\text{ton CO}_2 = [ (C_e * F_e) + (C_{gn} * F_{gn}) + ( C_{glp} * F_{glp} ) + ( C_{cl} * F_{cl} ) + ( C_c * F_c ) + ( C_{bio} * F_{bio} ) ] / 1000$$

En la siguiente tabla, se describen las variables a utilizar y su fuente de obtención para la ecuación 3.

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
Ce	Consumo eléctrico (KWh) Consumo total de energía eléctrica medida en los contadores de cada vivienda	EPM
Fe	Factor de emisión de la electricidad (Kg CO2 eq/KWh) Se asocia las emisiones emitidas en la generación de electricidad al lugar de consumo	UPME 2020
Cgn	Consumo de gas natural (KWh). Consumo total de gas natural medida en los contadores de cada vivienda	EPM
Fgn	Factor de emisión del gas natural (Kg CO2 eq/KWh). Se considera constante en los años	Siame
Cglp	Consumo de GLP: Butano (KWh). Consumo anual de butano y propano para uso doméstico. Empresas distribuidoras de GLP del municipio.	Encuesta
Fglp	Factor de emisión del GLP (Kg CO2 eq/KWh). Se considera constante en los años	Siame
C cl	Consumo combustibles líquidos (KWh). Consumo anual de combustible líquido para uso doméstico, tales como el gasóleo C, Keroseno, etc.	Encuesta

F cl	Factor de emisión de combustibles líquidos (KgCO2 eq/KWh). Se considera constante con los años	Siame
C c	Consumo de carbón (KWh). Consumo anual de carbón para uso doméstico. Empresas distribuidoras de carbón del municipio	Encuesta
F c	Factor de emisión de carbón (KgCO2 eq/KWh). Se considera constante en los años	Siame
C bio	Consumo de biomasa (KWh). Consumo anual de biomasa para uso doméstico. Empresas distribuidoras de biomasa del municipio	Encuesta
F bio	Factor de emisión de la Biomasa (Kg CO2 eq/KWh). Se considera constante con los años.	Of Catalana 2011

Tabla 8. Descripción de las variables para la ecuación 3 (Jara, C. 2010).

En la tabla 9, se aprecia el total de emisiones de CO2 para cada vivienda de la muestra seleccionada por consumo energético, obteniendo para un periodo de un año un promedio igual a 1.2 ton CO2 e. por vivienda, adicionando el consumo energético por habitante (tabla 7) el total de emisiones de CO2 por consumo energético doméstico en promedio para una vivienda será de 1.47 ton CO2 e.

Variable	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4	Vivienda 5	Vivienda 6	Vivienda 7	Vivienda 8	Vivienda 9	Vivienda 10
Ce	1620	1536	1692	1608	1860	1704	1850	1608	1716	1752
Fe	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438
Cgn	1200	1260	1320	1332	1416	1236	1344	1308	1272	1356
Fgn	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883	0,24883
Cglp	1834,98	2752,464	2752,464	2752,464	3211,208	1376,232	2752,464	1834,976	2752,464	2752,464
Fglp	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579	0,23579
C d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F d	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855	0,268855
C c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F c	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958	0,34958
C bio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F bio	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202
<b>ton CO2</b>	<b>0,997561</b>	<b>1,215017</b>	<b>1,25559</b>	<b>1,244768</b>	<b>1,415261</b>	<b>0,912159</b>	<b>1,289178</b>	<b>1,022462</b>	<b>1,247591</b>	<b>1,274411</b>

Tabla 9. Emisiones ton CO2 e/año por consumo energético para cada vivienda. (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).



### **Emisiones de CO2 por residuos sólidos domésticos:**

Para cuantificar las emisiones de CO2, se usó la siguiente ecuación 3 (Jara. Cesar, 2010):

Ecuación 4. Indicador para la cuantificación de CO2 del tratamiento de residuos del sector doméstico municipal (Jara. Cesar, 2010):

$$\text{ton CO2 e} = [ [ (\text{Dc} * \text{Fc dc}) + (\text{Dc ae} * \text{Fc Dc\_ae}) + (\text{In} * \text{Fc in}) + (\text{Me} * \text{Fc me}) + (\text{Co} * \text{Fc co}) ] * \text{Fe} ] / 1000.$$

La ecuación anterior (3), permite cuantificar la energía que es necesaria para procesar una unidad de residuo (ton), se tiene en cuenta en la ecuación, las instalaciones para la deposición controlada en vertederos, el tratamiento de incineración, de metanización y de compostaje; también se considera, las emisiones de los residuos de deposición controlada sin aprovechamiento energético y con aprovechamiento energético, este último utiliza el biogás que emana de los depósitos de residuos para la producción de energía eléctrica (Jara, C. 2010).

Para esta investigación, solo se consideró la ecuación 3, las variables Dc, Fc dc y Fe; ya que no se cuentan con datos confiables de deposición controlada de residuos sólidos municipales en aprovechamiento para el sector energético (Dc ae), para incineración (In), en metanización (Me) y en aprovechamiento como compostaje para agricultura (Co). La ecuación modificada quedaría de la siguiente forma (Ec. 5):

Ecuación 5. Indicador para la cuantificación de CO2 para la disposición de residuos sólidos del sector doméstico (Quintero, L., Trujillo, J. 2020):

$$\text{ton CO2} = [ [ (\text{Dc} * \text{Fc dc}) ] * \text{Fe} ] / 1000$$

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
Dc	Deposición controlada (t). Residuos Sólidos (RS) para deposición controlada	Lopera A, 2016
Fc dc	Factor de consumo de energía en deposición controlada (KWh/t). Consumo de energía que es necesaria para procesar una unidad de RM de deposición controlada. Dependerá del tipo de tecnología.	Romero A, 2010
Fe	Factor de emisión de la electricidad (Kg CO2 eq/KWh). Se asocia las emisiones emitidas en la generación de electricidad al lugar de consumo. Corresponde al mix eléctrico	UPME 2020

Tabla 10. Descripción de las variables en el Indicador para la cuantificación de CO2 del tratamiento de residuos del sector doméstico (Ec. 5) (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

De la ecuación 1, se proyectó una generación per cápita por generación de residuos sólidos en la ciudad para el 2020 aproximado de 0.15 tonCO<sub>2</sub>/hab/año, este valor fue multiplicado por el número de habitantes por vivienda, sería el dato registrado para la deposición controlada de RS (Dc) en cada vivienda del MCH seleccionado (Tabla 11).

Variable	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4	Vivienda 5	Vivienda 6	Vivienda 7	Vivienda 8	Vivienda 9	Vivienda 10
Dc	0,59649	0,74561	0,74561	0,89473	1,19298	0,44737	0,89473	0,59649	0,74561	0,74561
Fc dc	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16	2520,16
Fe	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438
ton CO2 e	0,2471	0,30888	0,30888	0,37066	0,4943	0,18533	0,37066	0,2471	0,30888	0,30888

Tabla 11. Cantidad emitida en ton CO2 e, para disposición de los residuos sólidos para cada vivienda de la muestra seleccionada (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

De la tabla anterior, determinamos el valor de las emisiones generadas por disposición de residuos sólidos para cada vivienda del MCH, obteniendo un valor promedio de 0.32 ton CO2 e. por vivienda.

#### **Emisiones CO2 por Consumo de agua domestica:**

Por medio de la ecuación 6, se cuantifico las emisiones de CO2 anuales asociadas a los consumos energéticos de las instalaciones de depuración, distribución de agua potable y de tratamiento de agua residual (Jara. Cesar, 2010).

Ecuación 6. Indicador para la cuantificación de las emisiones de CO2 del consumo de agua potable en el sector doméstico (Jara. Cesar, 2010):

$$\text{ton CO2} = [(Ca * Fc \text{ ap} * Fe) + (1 - (Pa/100))] + [Vat * Fc \text{ at} * Fe]$$

En la siguiente tabla 12, se describen las variables a remplazar en la ecuación 6 y sus fuentes de obtención con que se realizaron los cálculos.

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
Ca	Consumo de agua en m3	EPM
Fc ap	Factor de consumo de energía en agua potable (KWh/m3)	UPME 2020
Fe	Factor de emisión de la electricidad (Kg CO2 eq/KWh). Se asocia las emisiones emitidas en la generación de electricidad al lugar de consumo. Corresponde al mix eléctrico	UPME 2020
Pa	Pérdidas en la red de agua (%). Volumen de agua que se pierde en el transporte de agua potable de la red de abastecimiento público	EPM
Vat	Volumen de agua residual tratada	EPM
Fc at	Factor de consumo de energía para agua residual (KWh/m3). Consumo unitario de energía por unidad de agua residual tratada	EPM

Tabla 12. Descripción de las variables en el Indicador para la cuantificación de CO2 para el consumo de agua del sector doméstico (Ec. 6). (Jara, C. 2010).

En la tabla 13, se reportan las emisiones de CO2 por consumo de agua potable para uso doméstico para cada vivienda seleccionada, obteniendo un valor promedio por vivienda de 10.7 ton CO2 e.

<b>Variable</b>	<b>Vivienda 1</b>	<b>Vivienda 2</b>	<b>Vivienda 3</b>	<b>Vivienda 4</b>	<b>Vivienda 5</b>	<b>Vivienda 6</b>	<b>Vivienda 7</b>	<b>Vivienda 8</b>	<b>Vivienda 9</b>	<b>Vivienda 10</b>
Ca	120	132	120	156	168	108	144	120	132	120
Fc ap	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Pa	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Vat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fc at	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Fe	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438	0,16438
<b>ton CO2 e</b>	<b>9,77652</b>	<b>10,66417</b>	<b>9,77652</b>	<b>12,43948</b>	<b>13,32713</b>	<b>8,88868</b>	<b>11,55182</b>	<b>9,77652</b>	<b>10,66417</b>	<b>9,77652</b>

Tabla 13. Emisiones tonCO2 e por consumo de agua domestica para el MCH seleccionado (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

### **Análisis de emisiones CO2 de los materiales básicos en el MCH elegido:**

El análisis de los materiales básicos encontrados en el MCH elegido, arrojó los siguientes porcentajes de emisión por cantidad usada de cada componente básico por material (CBM), utilizado en la construcción de las viviendas seleccionadas (Figura 4):

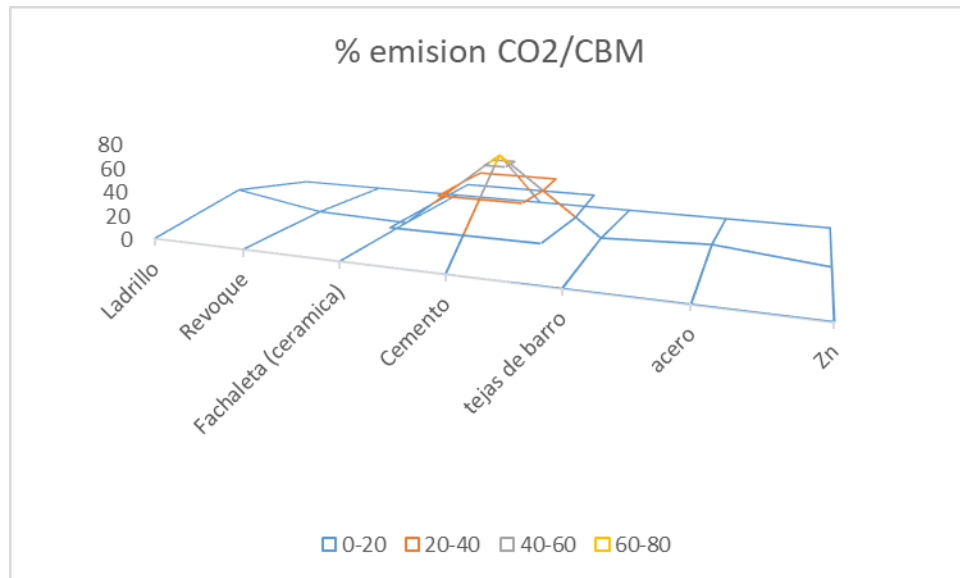


Figura 4. % emisión CO2 por componente básico de material usados en la edificación del modelo seleccionado (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

De la figura 4, se concluye, que el cemento es el material de construcción básico con mayores emisiones, con un valor obtenido del 67.06 % del total de las emisiones en  $\text{KgCO}_2/\text{Kg}$  material para la muestra elegida, seguido del ladrillo que alcanza un 16.18% y el acero con un 8.41%, los otros materiales suman el 8.35% restante del total de emisiones. De lo anterior, se puede apreciar que son casas unifamiliares de construcción tradicional, donde se utilizaron materiales convencionales propios de la región en su momento.

## **Descripción general de los materiales básicos utilizados en una construcción**

### **tradicional:**

#### Concreto:

Se considera concreto como una proporción de mezcla de 1:1.5:3 donde, 1 es parte del cemento, 1.5 es parte de agregados finos y 3 es parte de agregados gruesos de tamaño máximo de 20mm. La relación agua cemento requerida para mezclar el concreto es tomada como 0.45.

En la siguiente tabla 14, observamos la generación de emisiones y consumo de energía en diversas partes del ciclo de vida de una losa de concreto reforzado.

	<b>Combustibles fósiles y electricidad</b>	<b>Emisiones de CO2</b>	<b>Emisiones de NOx</b>	<b>NOx</b>	<b>Emisiones de metales pesados</b>
<b>Cemento</b>	63%	79%	69%	69%	88%
<b>Agregados</b>	3%	1%	1%	1%	1%
<b>Acero</b>	9%	4%	3%	3%	-
<b>Transporte de materias primas</b>	4%	3%	8%	8%	<1%
<b>Producción de concreto</b>	15%	8%	5%	5%	10%
<b>Transporte del producto final</b>	6%	5%	14%	14%	<1%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 14. Generación de emisiones y consumo de energía en diversas partes del ciclo de vida de una losa de concreto reforzado (Vares Sirje y HÄKKINEN, Tarja).

Como se aprecia en la tabla 14, el cemento es el material que mayor generación de emisiones y consumo de energía produce para la fabricación del concreto, siendo el responsable de aproximadamente el 74% de las emisiones durante el ciclo de vida de este material.

### Cemento:

En la figura 5, se observa el proceso de fabricación del cemento; debido a las altas temperaturas que deben alcanzarse en los hornos para su producción y para la descomposición del carbonato cálcico el consumo energético es alto y, por ende, son altas las emisiones generadas en este punto del proceso.

### **Cómo se fabrica el cemento**

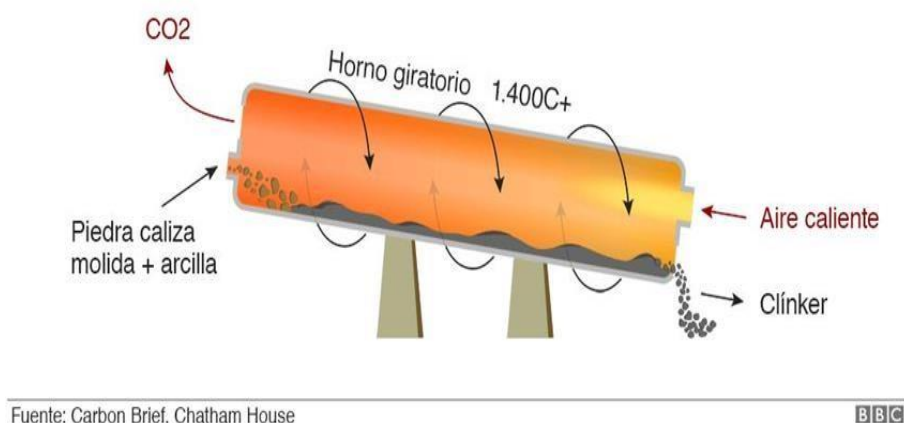


Figura 5. Fabricación de cemento (Rodgers. L., 2018).

En 2016, la producción mundial de cemento generó alrededor de 2.200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente al 8% del total mundial. Más de la mitad provino del proceso de calcinación (Rodgers. L., 2018). La fabricación del Clinker, sustancia que se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosas preparadas artificialmente con adición eventual de otras materias; supone la mayor parte de las emisiones en la producción de cemento; sin embargo, el desarrollo de cementos bajos en carbono y nuevos tipos de cementos podría eliminar el uso del clinker por completo.

### Ladrillo:

El proceso de fabricación del ladrillo consiste en la extracción de la materia prima (arcilla), luego se somete el material a un tratamiento de trituración y reposo, se extraen cualquier tipo de impurezas que pueda traer el material y se procede a hacer la humectación para facilitar el moldeado de ladrillo. De acuerdo con estudios realizados de análisis del ciclo de vida del

ladrillo (Álvarez. 2010. Uribe, C. 2012), se ha determinado que los principales impactos ambientales de este material, se dan durante su producción y están asociados al consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, dióxido de azufre y al consumo de materias primas.

Otros impactos asociados a la producción de ladrillo, son los cambios en el ecosistema que se producen durante el proceso de extracción de las materias primas y que pueden generar cambios en el nivel freático, aumentar los riesgos de inundaciones, desaparición de la fauna y flora, contaminación de aguas superficiales, erosión, generación de material particulado, entre otros (Uribe, C. 2012).

#### Acero:

El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro altamente refinado (más de un 98%) y carbono (alrededor de 0.05% y 2%). En el proceso la transformación o aleación del hierro en acero, es responsable de cerca de 1,7 giga toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que representa el 5 % de las emisiones globales actuales de CO<sub>2</sub>, y eso es sin tener en cuenta las emisiones del combustible necesario para encender los hornos (Temple, 2018).

Otro impacto ambiental asociado a la producción de acero, es la contaminación del recurso agua, debido a su amplio uso en los procesos de refrigeración, lo que causa que al momento de su disposición cargue consigo contaminantes como aceites que terminan contaminando los cuerpos de agua (Uribe, C. 2012).

#### **Materiales eficientemente amigables:**

A partir de la revisión de literatura realizada en búsqueda de materiales básicos para las construcciones más eficientes ambientalmente, que promuevan los criterios de edificación sostenible para las nuevas construcciones residenciales de la ciudad (resolución 0549 de 2015 Min. Vivienda). Se obtuvo un listado de “nuevos” materiales posibles a implementar en las etapas de instalación y usos del ciclo de vida de las edificaciones (Tabla 15).



MATERIAL	DESCRIPCIÓN	BENEFICIO
Concreto verde	Se fabrica a partir de productos de desecho como cáscara de arroz, cenizas, micro silicatos, etc.	El uso del concreto verde reduce las emisiones de CO2 debido a que requiere menos cemento en su composición. Cada metro cúbico de concreto incluye poco más de un 10% de cemento en su composición
Cemento verde	Este material no utiliza piedra caliza en su fabricación y además es capaz de captar CO2 durante su proceso de producción, lo que lo hace un material aún más atractivo	Mientras la producción de cemento tradicional emite 800Kg de CO2 por cada tonelada producida el NOVACEM varía entre el rango de 50 a 100Kg de CO2 por tonelada
Ladrillos de arcilla aligerada	Compuesto por un 85% de arcilla y un 15% de paja y de los ladrillos silico-calcáreos (con arena de sílice)	Reducir la transmitancia térmica de los cerramientos trabajando sobre la geometría interna y externa de los bloques cerámicos
Ladrillos PET	Fabricado con reciclado de materiales existentes, en especial el de los envases destinados a bebida	Altamente utilizados en el mundo debido a sus características de resistencia ante los ataques químicos, desgaste y sobre todo por su economía en el proceso de producción
Eco-steel	Fabricación por medio de la laminación en frío.	Permite menor consumo de energía eléctrica y agua por tanto, menor emisión de CO2

Tabla 15. Listado resumen de materiales básicos eficientemente ambientales (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

### **Aplicación del programa CE3X en eficiencia energética para una vivienda tradicional:**

Para el análisis de los materiales y su comportamiento en emisiones de CO2, entre las casas seleccionadas, se logra diferenciar dos épocas diferentes en las construcciones; las casas 2,3,4,5 y 10, son construcciones con materiales de más de 50 años de existencia, para las casas 1,6,7,8 y 9; son edificaciones con reformas y acabados entre 20-30 años de existencia. Esta diferencia entre las épocas de construcción seguramente se verá reflejada en los datos de emisión de CO2 a determinar para las muestras seleccionadas.

Del grupo de casas con más de 50 años construidas, se elige la casa 10 para ser evaluada por el programa, por tener el más alto consumo energético por habitante (0.28096 tonCO2 e/hab.); ubicada en la calle 63 A con la carrera 43, para la aplicación del programa de eficiencia energética en edificaciones existentes y así dar por cumplido el esquema metodológico propuesto. Para esto se utilizó el programa CE3X (certificación energética de edificios

existentes). Esta vivienda fue seleccionada por ser una construcción hecha con materiales tradicionales, por tener más de 50 años de habitada y como caso práctico para la aplicación del programa en edificaciones unifamiliares.



Figura 6. Vivienda seleccionada para ejercicio de certificación en eficiencia energética en edificaciones tradicionales (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

Para el ingreso de datos generales de la vivienda al programa, se tomaron las áreas y longitudes determinadas para la cuantificación de recursos consumidos; para la zona climática; el valor estimado de agua caliente sanitaria (ACS), se obtuvo a partir del consumo de gas natural en L/día para la vivienda. Para las instalaciones de la vivienda, se utilizaron valores por defecto, aquellos que el programa asigna según la norma que cobija la vivienda dependiendo del año de construcción

## Calificación del programa CE3X:

Luego de que el programa procesara los datos ingresados y de que arrojará un resultado; como calificación energética (Figura 7), se obtuvo un valor total de 39.0 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> construido (valor cualitativo: E), siendo esta una calificación muy lejos de ser una edificación energéticamente eficiente (A < 4.4 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).



Figura 7. Calificación energética para la vivienda seleccionada (CE3X v 2.3).

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

Según el protocolo GPC, se logra cuantificar emisiones de CO<sub>2</sub> para las diferentes fuentes domiciliarias determinadas (consumo energético, agua potable y residuos sólidos) hasta el alcance 2, en el cual, se cuantifican las emisiones de energía suministradas por la red de consumo dentro del límite determinado; en el consumo de combustibles, sólo el gas natural y el propano son considerados dentro de los indicadores de energía.

En la descripción realizada a las viviendas seleccionadas, es considerable la disminución en los valores obtenidos en las emisiones de CO<sub>2</sub> para los CBM's, las viviendas con 30 años de construidas presentan un 29% menos de emisiones generadas en KgCO<sub>2</sub>/Kg que las edificaciones con 50 o más años de construidas; el uso de ladrillos aligerados en peso para las construcciones más recientes y el aumento en materiales como la cerámica con la disminución en el uso de concreto, permiten que se presente porcentaje de disminución en las emisiones por materiales entre las diferentes épocas de construcción para las viviendas del modelo seleccionado.

Las altas generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en las etapas de instalación y uso de materiales para construcciones residenciales tradicionales de la ciudad de Medellín, promueve la cultura de construcción de vivienda social en bloque y no unifamiliar como las elegidas en esta propuesta, adicional al uso de materiales eficientes con el ambiente; esto reduce considerablemente la generación de emisiones y promueve la construcción sostenible altamente calificada energéticamente.

El alto consumo en agua potable comparado con las demás fuentes cuantificadas dentro de una vivienda tradicional (Tabla 16), es debido a muchos factores; entre ellos, no se utilizan sistemas de ahorro de agua como limitadores de caudal en las griferías de ducha, lavado y cocina, que permiten un ahorro del 40% del consumo de agua y del 40% del consumo de energía para agua caliente sanitaria según reportes del Instituto Catalán de Energía (ICAEN); tampoco ninguna de las viviendas encuestadas, cuenta con sistemas de recolección de aguas

lluvias; adicional a esto, se tiene el antecedente de que Medellín es una de las ciudades con mayor consumo de agua potable residencial per cápita en Colombia con un promedio de 113 L/hab./día (Red Colombiana, 2014).

<b>Fuente doméstica</b>	<b>ton CO2 e</b>	<b>%</b>
Energía	1,47	11,80
Agua	10,66	85,62
Residuos	0,32	2,57
<b>Total</b>	<b>12,45</b>	<b>100</b>

Tabla 16. Resumen promedio de emisiones en tonCO2 e para una vivienda tradicional y porcentaje de emisión por fuente domestica determinada (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

Para el MCH seleccionado, se evidenció en las viviendas, el uso iluminarias ahorradoras y el remplazo de equipos eléctricos a equipos a gas, principalmente en estufas y calentadores, esto se ve reflejado al ser menores las emisiones por consumo energético que por consumo de agua potable, lo cual demuestra que se ha mejorado en los hábitos energéticos.

Con los resultados obtenidos en la cuantificación de emisiones CO2 sector doméstico, esto permitió crear un perfil de emisiones de CO2 para una vivienda tradicional de Medellín, a partir de las fuentes de consumo energético, agua potable y residuos sólidos; sobre el cual se podrían comparar otros MCH en diferentes límites geográficos de la ciudad (Figura 8).

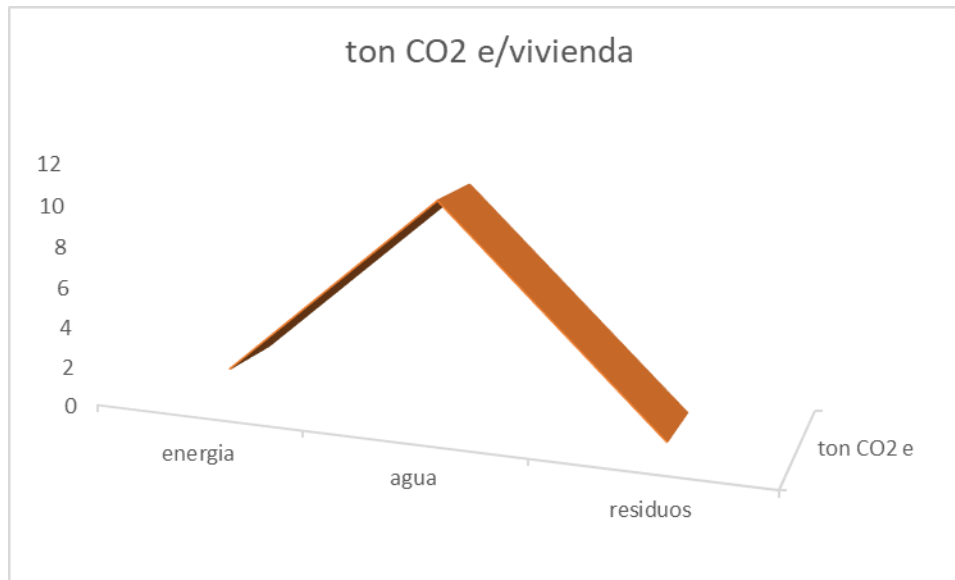


Figura 8. Perfil de emisiones (ton CO2) en el sector doméstico tradicional para la ciudad de Medellín (Quintero, L., Trujillo, J. 2020).

Del listado resumen de materiales básicos eficientemente ambientales (Tabla 15), al implementar el uso de estos en las construcciones, podría obtenerse una disminución aproximada del 12.5% en las emisiones de CO2 durante la producción de cemento “verde” comparada con el uso de cemento convencional; si el MCH elegido fuese construido con cemento “verde” en vez de convencional, se hubiese reducido las emisiones de CO2 por kilogramo de material en un 30%.

La aplicación del programa CE3X en la obtención de una calificación de eficiencia energética con estándares internacionales para viviendas existentes en la ciudad, permitió obtener una aproximación de la generación de emisiones en la etapa de instalación y uso de los materiales y equipos en una vivienda, el programa es desarrollado según el análisis del ciclo de vida (ACV) de materiales y edificaciones.

Para la vivienda seleccionada, la calificación arrojada por el programa (E), representa una edificación poco eficiente energéticamente; para mejorar este valor se proponen, en primer lugar las acciones destinadas a disminuir la demanda de energía (mejorando los hábitos energéticos, mejoras en la envolvente, y mejorando la eficiencia de los sistemas), y el uso de materiales; en segundo lugar las acciones que plantean la producción de energías con renovables (Jara. C. 2010).

## **CONSIDERACIONES FINALES**

El esquema metodológico desarrollado, permitió el logro de los objetivos específicos planteados por medio de actividades con una secuencia lógica desarrollada según el orden de importancia de los mismos. La generalización de la metodología implementada en esta investigación, podría ser extensible a cualquier tipología edificatoria y ámbito geográfico en la ciudad.

El modelo constructivo habitacional (MCH) seleccionado, hace parte de las edificaciones tradicionales (Min. Amb. 2011) de los últimos 50 años en la ciudad de Medellín; cuyos materiales son propios de la región y las técnicas constructivas han sido un legado dejado de generación en generación y cuya cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>, no se había realizado antes de esta investigación.

Se seleccionó el límite geográfico y se cuantificaron los recursos consumidos en materiales de construcción utilizados. Esto con el fin de establecer una Imagen de Referencia del MCH (Fig. 10) sobre la cual se pueda ensayar y comparar diferentes soluciones constructivas alternativas a las convencionales, tendentes a conseguir una vida de los edificios más sostenible.

Para el desarrollo de la metodología en esta investigación, el sector donde se puede considerar que hay más incertidumbre por la obtención de datos es en el sector de residuos sólidos domésticos. Esto se debe a que por falta de información fue necesario escalar información para poder contar con una cantidad significativa de datos y lograr hacer el análisis respectivo; Se propone realizar un estudio más meticuloso sobre el estado, manejo y tratamiento de los

residuos sólidos en el sector doméstico, con el fin de tener información más acertada y concreta a la hora de cuantificar emisiones GEI para esta fuente.

Dentro del sector de energías estacionarias, el sub sector de edificaciones residenciales aporta el 65% del total de emisiones en ton CO<sub>2</sub> generadas por este sector en el Valle de Aburra (Lopera, 2016); con el uso de materiales más eficientes ambientalmente como los descritos en esta investigación (Tabla 15), se reduciría considerablemente hasta en un 20% ese total de emisiones, lo cual es un aspecto clave en un modelo de desarrollo más sostenible para la construcción de edificaciones residenciales a futuro.

Los materiales de construcción, los cuales no son cuantificados en la mayoría de los planes de acción para las construcciones residenciales, representan un porcentaje alto de las emisiones de CO<sub>2</sub> municipales. Cuantificarlos y buscar alternativas para reducirlos es una buena manera de enfrentar el cambio climático.

A pesar de que en la actualidad no se ha implementado en Colombia un sistema organizado de incentivos económicos para la implementación de criterios de sostenibilidad en todos los grupos de edificaciones, son varios los proyectos de vivienda, instituciones educativas y edificios gubernamentales que han empezado a incluir este tipo de criterios a través de las certificaciones de sellos voluntarios. Dentro de estos proyectos se destacan: apartamentos de viviendas social del proyecto Piamonte en Madrid, Cundinamarca; el primer edificio del Centro Administrativo Nacional en Bogotá; la Institución Educativa Gabriel García Márquez Sede Panorama, en Yumbo, Valle del Cauca; y la Sede de la Universidad Nacional de Colombia en Tumaco, (Tumaco Pacífico Campus). Todos estos proyectos cuentan con estrategias de certificación que incluyen criterios de sostenibilidad (CONPES 3919).



## **BIBLIOGRAFIA.**

- Acevedo de Montoya Consuelo. (1986) La historia de mi barrio San Miguel La Mansión. Secretaría de Desarrollo Comunitario Medellín. Medellín.
- Acevedo, H., Vásquez, A., Ramírez, D., Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. (2012). Univ. Eafit. Medellin. Tomado de: Gest. Ambient., Volumen 15, Número 1, p. 105-118, 2012. ISSN electrónico 2357-5905. ISSN impreso 0124-177X.
- Álvarez, C., “Lo que contamina un ladrillo”. (2010). El país semanal blogs. <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html>
- Anderson, J. (2019). Greenspec. Obtenido de <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/>
- Argüello Méndez, T., Cuchí Burgos A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de la Construcción Vol. 60, 509, 25-34.
- Área Metropolitana del Valle de Aburra, Secretaria del Medio Ambiente Medellín, (2010). Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras de Construcción. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.
- Asociación Española para la Calidad (A.E.C). (2019). Certificación Energética de Edificios.
- Asociación de productores de cemento. ASOCEM. (2015). "El cemento y el medio ambiente". <http://www.asocem.org.pe/productos-a/el-cemento-y-el-medio-ambiente>.
- Banco Mundial. (2012). América Latina: ¿Cómo afecta la crisis en el precio de los alimentos? Washington: GBM.

- Bringas, M. (2012). Historia económica mundial. De las crisis petrolíferas a la caída del bloque soviético. Cantabria.
- Castro, D., Sefair, L., Florez, A., & Medaglia, L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a Leed-based green building rating system in Colombia. Elsevier, 9.
- Cementos Tequendama, (2018). "Tipos de cementos y sus características según NTC 121" <http://www.cetesa.com.co/tipos-de-cementos-y-caracteristicas-segun-ntc-121>.
- C.K Chau, T. &. (2014). A review on Life Cycle Assesment, Lyfe Cycle Energy Assesment and Life Cycle Carbon Emissions Assesment on Building. Applied Energy, 395-413.
- CONPES 3919. (2018) Política Nacional de edificaciones sostenibles. Dpto Nal. de Planeación. Bogotá.
- Departamento Administrativo de Planeación. Información General de las Comunas de Medellín: Comuna 10. Departamento de Planeación, 2004. 235 páginas.
- Development, O. f.-p. (1997). Sustainable consumption and production. Washington.
- DNP, D. N. (2002). Plan nacional de desarrollo 1998- 2002. Bogotá.
- GreenHouse Gas Protocol. GLobal Protocol for Community-Scale GreenHouse Gas Emmision Inventories. (GHGP\_GPC). sept. 2014. CEO, WRI; C- 40; ICLEI.
- Gonzalez, M. (2011). Ecología, economía y sociedad, pilares del desarrollo sostenible. Revista Acta diurna, 16- 17.
- Estevez, R., (2013) “el analisis del ciclo de vida”, eco-inteligencia. <https://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>

- Guía práctica para el cálculo de gases de efecto invernadero 2011. Oficina Catalana de Canvi Climatic. tomado de:

<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

- Gutiérrez Zapata Hugo León. (1989) La historia de mi barrio Villa Hermosa. Secretaría de desarrollo comunitario Medellín.

- Herrera, C., Ubilla, A., (2018) Estándares de construcción sustentables para viviendas de Chile. Ministerio de vivienda y urbanismo de Chile.

- Ministerio de Fomento Catálogo de Elementos Constructivos del CTE

v2.1 Actualización: Octubre 2011. <https://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>

- Alcaldía de Medellín. Encuesta Calidad de Vida 2005, Estrato socioeconómico. (2010)

Available from:

[http://www.medellin.gov.co/alcaldia/jsp/modulos/datosEstadisticos/obj/pdf/calidaddevida2005/03\\_Vivienda\\_01\\_-\\_24.pdf](http://www.medellin.gov.co/alcaldia/jsp/modulos/datosEstadisticos/obj/pdf/calidaddevida2005/03_Vivienda_01_-_24.pdf).

- Perfil Demográfico 2016-2020. Total Medellín:

[https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano\\_2/PlandeDesarrollo\\_0\\_17/IndicadoresyEstadisticas](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadisticas).

- Cálculo del Factor de Emisión de Co2 del SIN:  
<https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/calculo-factor-de-emision-de-Co2-del-SIN.aspx>

- Programa para la certificación energética de edificios existentes.  
<https://www.efinova.es/CE3X>

- Intergovernmental panel on climate change, IPCC web pages:  
[https://archive.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)

- Colombia crecimiento, confianza y oportunidades para invertir 2014. Procolombia.co:  
[https://www.inviertaencolombia.com.co/images/Adjuntos/SECTOR\\_MATERIAL\\_ES\\_DE\\_CONSTRUCCION\\_2016.pdf](https://www.inviertaencolombia.com.co/images/Adjuntos/SECTOR_MATERIAL_ES_DE_CONSTRUCCION_2016.pdf).

- Informe nacional de aprovechamiento 2017, Departamento de planeación nacional:  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Ene/informe\\_sectorial-cuatrenio\\_2014-2017\\_.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Ene/informe_sectorial-cuatrenio_2014-2017_.pdf)
- DIOXINAS Y FURANOS (PCDD+PCDF), Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes, España 2019:  
<http://www.prtr-es.es/Dioxinas-y-Furanos-PCDDPCDF,15634,11,2007.html>
- Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Metodología y aplicación práctica Metodología y aplicación práctica, Gobierno Vasco. 2014:  
<https://es.slideshare.net/Ihobe/anlisis-de-ciclo-de-vida-acv-metodologa-y-aplicacin-prctica-metodologa-y-aplicacin-prctica>.
- Industria y Negocio. (2017). "Nuevas tecnologías de aceros amigables con el ambiente" <https://revistaconstruir.com/nuevas-tecnologias-aceroamigables-ambiente/>.
- ICLEI, C. i. (1994). Carta de las ciudades Europeas hacia la sostenibilidad. La carta de Aalborg. Aalborg, Dinamarca.
- Ihobe S.A. (2013). 7 metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial Gobierno Vasco.

- Instituto Catalán de energía, ICAEN (2020) <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>
- IPCC, 2006. Guidelines Vol. 3 IPPU Chapter 4.
- IPCC, I. P. (2014). Quinto informe de evaluación 2014.
- Jara, Cesar. (2010) Alternativas para la reducción de emisiones de CO2 del sector doméstico del municipio de Santa María de Palautordera. U.P.C Barcelona.
- Jaurilaritzaren, E. (2008). El petróleo y la energía en la economía. Victoria, Gasteiz: EVE.
- Lopera, A., (2016). “Cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono en el valle de Aburrá”. Universidad EIA.
- Lopez, L. (2001). Desarrollo sostenible. Aproximación conceptual y operativa de principios de sostenibilidad en el sector de la construcción. Criterios de sostenibilidad y principios de sostenibilidad. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Mercader, M., Ramírez, A., Olivares. M. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. Informes de la Construcción Vol. 64, 527, 401-414, julio-septiembre 2012.
- Ministerio de Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial 2011. "Los materiales en la construcción de vivienda de interés social". Serie guías de asistencia técnica. República de Colombia.

- Ministerio de Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial 2012. "Criterios para el diseño y construcción de vivienda urbana" Republica de Colombia.
- Monroy, J., (2014). "Construcción sostenible una alternativa para la edificación de vivienda de interés social y prioritario". Univ. Católica de Colombia. Bogotá.
- Moratorio, D., Rocco, I., Castelli, M., (2012). Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. Univ. Montevideo.
- Muñoz. P. (2013). Análisis y optimización de las propiedades térmicas y mecánicas de ladrillos fabricados con arcilla aligerada, utilizados como cerramientos monocapa en edificios, mediante utilización de nuevos aditivos. Univ. La Rioja. España.
- Norma Técnica Colombiana NTC-6034. Criterios Ambientales para elementos de aceros planos conformados en frio para uso en construcción. 2013. Icontec. Min. Amb.
- Normas de diseños de sistemas de acueducto. (2009). EPM. Medellín. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA – del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Ochsendorf, J., & Norford, L. (2019). Reverdecer a la industria de la construcción. Obtenido de: <http://noticias.arquired.com.mx/shwArt.ared?idArt=953>
- Pachauri, R., & Reisinger, A. (2007). Cambio climatico 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra.
- Paes Vitoria y Gasteiz, (2009). Agencia de ecología urbana. Instituto Catalán de energía, ICAEN. La energía en el hogar. <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>.

- Pierri, N. (1970). Historia del concepto de desarrollo sostenible. Buenos Aires: Ministerio del medio ambiente argentino.
- Plan energético Nacional 2020 - 2050. UPME, tomado de:  
[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf).
- Population.City (2020). <http://poblacion.population.city/colombia/medellin/>
- Quispe, C. (2016) Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- Red Colombiana de Ciudades. Informe calidad de Vida 2014.  
<https://www.medellincomovamos.org/medell-n- la-segunda-ciudad-con-mayor-consumo-de-agua- potable-en-la-red-colombiana-de-ciudades-c-mo-v/>
- Rendón, M., Fernández. A., Palomo, A., (2015). Desarrollo de nuevo cementos: "Cementos alcalinos y cementos Híbridos". Instituto Mexicano de Transporte.
- Revista Académica Ciencias Exactas Fis. Nat., vol. 104, nº 1, pp. 175-187, 2010.
- Rodger, L., (2018). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías. BBC News, Dic.
- Romero, A. (2010). «La incineración de residuos: está justificado el rechazo social?,» Dpto Ing. Química. Universidad Complutense de Madrid. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Valverde 22, 28004 Madrid.
- Rua. D., Mambell. R., Lora. E., (2015). Generación energética a partir de los residuos sólidos urbanos. Tomado de: <https://www.researchgate.net/publication/312536541>.
- SALAZAR, Alejandro. (2005) Producción de eco material con base en residuos sólidos industriales y escombros de construcción. Cali, Colombia. 10 p. Eco ingeniería S.A.S.

- Temple, J., (2018). "Una nueva forma de fabricar acero podría limpiar el CO2 de la Siderurgia". <https://www.technologyreview.es/s/10562/una-nueva-forma-de-fabricar-acero-podria-limpiar-el-co2-de-la-siderurgia>.
- UN, N. U. (2012). Cumbre de Rio. Rio de Janeiro, Brasil.
- UN, N. U. (2019). Cumbre 2019 Acción Climática. Nueva York: Cumbre 2019.
- UN, N. U., & CA, C. A. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. CEPAL.
- Uribe. C. (2012) Materiales y prácticas de construcción sostenible. Univ. EAFIT. Medellín.
- VARES, Sirje y HÄKKINEN, Tarja. (1998). Cargas medioambientales de la producción de concreto y productos de cemento. Finlandia, Technical Research Centre of Finland. 15 p.