



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA  
VIVIENDA EN MÉRIDA, YUCATÁN”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**I.C. ANA GUADALUPE VÁZQUEZ ROSADO**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE  
MAESTRA EN INGENIERÍA**

**OPCIÓN CONSTRUCCIÓN**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2016**

Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiere sido aprobado por el Sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.

## RESUMEN

La construcción sustentable en México se ha enfocado mayormente en la edificación de vivienda, ya que aún falta mucha demanda por satisfacer en cuanto a este tipo de infraestructura, y representa por tanto un factor relevante para el logro del desarrollo sustentable. A través de la medición de la huella de carbono de la vivienda se pueden identificar las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de su ciclo de vida y los puntos críticos en los que sería prioritaria la implementación de prácticas más sustentables para reducir las emisiones que genera esta actividad. Por lo tanto, el principal objetivo de este estudio fue la determinación de la huella de carbono de la vivienda que comúnmente se construye en Mérida, Yucatán. Con este propósito se siguió la Norma ISO 14067:2013 (“Huella de carbono en productos”) para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan a lo largo del ciclo de vida de una vivienda, la cual, para los propósitos de esta investigación, fue considerada como el producto a analizar. Esto incluyó cinco diferentes etapas de su ciclo de vida: extracción de materia prima, producción de insumos, construcción, operación y uso, y disposición final. Se llevaron a cabo tres estudios de caso con el fin de estudiar distintos niveles socioeconómicos de vivienda: tradicional, media y residencial plus. Se seleccionaron entonces tres complejos habitacionales que contaban con viviendas en proceso de construcción y con viviendas ya habitadas, con el fin de poder analizar tanto la etapa de construcción como la de operación y uso. En la recolección de los datos participó personal involucrado en la construcción de las viviendas, proveedores de materiales, y habitantes de las viviendas. Los resultados arrojaron que la huella de carbono total obtenida por vivienda fue mayor conforme mayor fue la superficie construida de cada vivienda, ya que conforme mayor es el tamaño de la vivienda mayor es la cantidad de material que se emplea para su construcción y mayor es el número de ocupantes de la vivienda. Sin embargo, con respecto a la huella de carbono por  $m^2$  de superficie construida de vivienda, ésta no resultó en función del tamaño de la vivienda, pues fue la vivienda media la que presentó mayor cantidad de emisiones por  $m^2$ . Mediante los resultados de este análisis se pudieron identificar los procesos dentro del ciclo de vida de la vivienda con mayor contribución a la generación de emisiones. Tal como se esperaba,

la etapa de operación y uso fue en la que se generó una mayor cantidad de emisiones, asociada al consumo energético de las viviendas durante su tiempo de vida útil. Por otro lado, la etapa en la que se generó la menor cantidad de emisiones fue la de disposición final.

# ABSTRACT

Sustainable construction in Mexico has been mostly focused on housing projects, given that there is still a great need for housing in Mexico and the execution of such kind of projects depicts a great opportunity to enforce the sustainable development of our country. The measuring of Carbon footprint in housing projects promises the identification of the major sources of greenhouse gas emissions throughout their life cycle, as well as the milestones in which the implementation of sustainable practices should be prioritized in order to reduce such emissions. Therefore, the main objective of this study was to determine the Carbon footprint of typical housing projects in Merida, Yucatan. The ISO 14067:2013 Standard ("Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication") was then pursued in order to quantify greenhouse gas emissions generated throughout the life cycle of a house, which for the purposes of this study it was deemed the product to analyze. This included five stages in the life cycle of a house: extraction of raw materials, production of construction supplies, construction, operation and use, and final disposal. Three case studies were conducted to analyze housing from different socioeconomic levels: traditional, middle, and residential plus. Three housing projects were then selected based on the availability of under construction and already occupied houses, in order to make feasible the analysis of the construction stage, as well as of the operation stage. Data collection involved the participation of construction managers, material suppliers, and residents. The results indicate that the Carbon footprint increases according to the area of the house, given that a bigger house implies the use of a greater amount of materials, as well as more occupants. However, it was found the Carbon footprint per square meter does not rely on size of the house. For in this study the middle house resulted with a greater emission rate (per square meter). As expected, the stage with the greatest amount of emissions was the Operation and Use of the house, for the energy consumption during lifetime. On the other hand, the lowest amount of emissions is generated during the Final Disposal.

# INDICE

INDICE DE TABLAS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Preguntas de investigación .....	5
1.2. Objetivo general.....	5
1.3. Objetivos específicos .....	5
1.4. Justificación .....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero .....	7
2.1.1. Efectos ambientales.....	8
2.1.2. Efectos económicos.....	10
2.1.3. Efectos en la salud.....	11
2.2. Medición de emisiones de gases de efecto invernadero .....	12
2.2.1. Estándares ISO.....	12
2.2.2. ISO 14064.....	13
2.2.3. ISO 14065.....	14
2.2.4. ISO 14067.....	14
2.2.5. ISO 14069.....	14

2.2.6.	GHG Protocol.....	15
2.2.7.	PAS 2050.....	16
2.2.8.	PAS 2060.....	17
2.3.	Guía para evaluar la sustentabilidad de las viviendas .....	17
2.3.1.	Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda (País Vasco, España).....	17
2.3.2.	Código de Hogares Sustentables: Guía Técnica (Reino Unido) .....	19
2.3.3.	Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables (México) .	20
2.3.4.	Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables (México) ....	23
2.4.	Estudios sobre la medición de emisiones de gases de efecto invernadero en la construcción.....	25
2.5.	Herramientas de cómputo para el análisis de emisiones de gases de efecto invernadero .....	28
2.6.	Análisis del ciclo de vida de la vivienda .....	28
2.6.1.	Definición de objetivos y alcance .....	29
2.6.2.	Análisis del inventario .....	31
2.6.3.	Evaluación del impacto .....	33
2.6.4.	Interpretación del ciclo de vida.....	33
2.7.	Conclusiones de la revisión bibliográfica .....	35
3.	METODOLOGÍA.....	37
3.1.	Tipo, alcance y diseño de la investigación .....	37

3.2.	Unidad de análisis y población.....	37
3.3.	Procedimientos del estudio.....	39
3.3.1.	Selección de viviendas para los estudios de caso.....	40
3.3.2.	Análisis del ciclo de vida.....	41
3.4.	Análisis usando el software SimaPro.....	52
4.	RESULTADOS.....	53
4.1.	Resultados de la selección de viviendas para los estudios de caso.....	53
4.2.	Resultados del análisis del ciclo de vida.....	57
4.2.1.	Resultados de la definición del objetivo y alcance de la cuantificación.....	58
4.2.1.1.	Resultados de objetivo y alcance del estudio.....	58
4.2.1.2.	Resultados de la unidad funcional y el flujo de referencia.....	58
4.2.1.3.	Resultado de la definición de los límites del sistema.....	59
4.2.2.	Resultados del análisis del inventario del ciclo de vida para la obtención de la huella de carbono.....	62
4.2.2.1.	Resultados de la construcción del diagrama de procesos.....	62
4.2.2.2.	Resultados de la recolección de datos para cada etapa del ciclo de vida.....	62
4.2.2.2.1.	Datos recolectados para la etapa de extracción de materia prima.....	64
4.2.2.2.2.	Datos recolectados para la etapa de producción de insumos.....	67
4.2.2.2.3.	Datos recolectados para la etapa de construcción.....	73
4.2.2.2.4.	Datos recolectados para la etapa de operación y uso.....	75

4.2.2.2.5. Datos recolectados para la etapa de disposición final.....	76
4.2.2.3. Procesamiento de los datos.....	78
4.2.3. Resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida y obtención de la huella de carbono .....	80
4.2.4. Resultados de la interpretación del ciclo de vida .....	81
4.3. Resultados del análisis usando el software SimaPro.....	87
4.3.1. Resultados de SimaPro para vivienda tipo tradicional .....	88
4.3.2. Análisis de SimaPro para vivienda media .....	93
4.3.3. Análisis de SimaPro para vivienda residencial plus .....	98
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	103
5.1. Respuesta a las preguntas de investigación.....	103
5.2. Análisis de los resultados generales.....	104
5.3. Análisis de los resultados por etapas.....	104
5.3.1. Etapa de extracción de materia prima .....	104
5.3.2. Etapa de producción de insumos.....	104
5.3.3. Etapa de construcción .....	105
5.3.4. Etapa de operación y uso .....	105
5.3.5. Etapa de disposición final .....	105
5.4. Comparación de resultados con otros estudios .....	106
5.5. Análisis de resultados obtenidos usando el software SimaPro .....	107

5.6.	Impactos de las limitaciones del estudio en los resultados obtenidos .....	108
5.7.	Estimación de emisiones generadas por procesos de la vivienda no considerados en el estudio.....	109
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	112
7.	REFERENCIAS.....	114
8.	APENDICES.....	120
	APENDICE A. Croquis y especificaciones de las viviendas analizadas .....	121
	APENDICE B. Equivalencias de materiales por unidad de concepto .....	129
	APENDICE C. Cuantificación de materiales para vivienda tipo tradicional .....	131
	APENDICE D. Cuantificación de materiales para vivienda tipo media .....	137
	APENDICE E. Cuantificación de materiales para vivienda tipo residencial plus.....	144
	APENDICE F. Factores de emisiones calculados para los materiales analizados en las etapas extracción y producción.....	152
	APENDICE G. Resumen de cálculos realizados para la primera etapa: extracción de materia prima .....	153
	APENDICE H. Resumen de cálculos realizados para la segunda etapa: producción de insumos.....	163
	APENDICE I. Resumen de cálculos realizados para la tercera etapa: construcción .....	178
	APENDICE J. Resumen de cálculos realizados para la cuarta etapa: operación y uso .	187
	APENDICE K. Resumen de cálculos realizados para la quinta etapa: disposición final .	202

APENDICE L. Emisiones estimadas para la vivienda tipo tradicional en cada etapa del ciclo de vida .....	208
APENDICE M. Emisiones estimadas para la vivienda tipo media en cada una de las etapas del ciclo de vida.....	210
APENDICE N. Emisiones estimadas para la vivienda tipo residencial plus en cada una de las etapas del ciclo de vida .....	212
APENDICE O. Tablas y gráficos comparativos de los resultados obtenidos para los tres estudios de caso .....	214
ANEXOS .....	224

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Principales GEI y su potencial de calentamiento global para horizontes temporales de 20, 100 y 500 años.....	3
Tabla 1.2 Fuentes de los principales GEI y su potencial de calentamiento global en un plazo de 100 años.....	4
Tabla 2.1 Áreas de actuación, aspectos ambientales y categorías de impacto consideradas en la Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda .....	18
Tabla 2.2 Total de créditos disponibles, factores de ponderación y puntajes del Código de Hogares Sustentables.....	21
Tabla 2.3 Aspectos a evaluar y puntuaciones asignadas en los Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables.....	23
Tabla 2.4 Temas de interés prioritario y puntajes asignados en el Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables.....	25
Tabla 2.5 Principales herramientas para la estimación de GEI.....	30
Tabla 2.6 Potencial del Calentamiento Global a 100 años de los principales gases de efecto invernadero según metodologías IPCC 2007 y Ecoindicador 95 .....	33
Tabla 2.7 Principales categorías de impacto ambiental contempladas por la Sociedad Toxicológica y Química Ambiental .....	34
Tabla 3.1 Clasificación de vivienda por precio promedio de acuerdo al Código de Edificación de Vivienda CONAVI 2010 .....	38
Tabla 3.2 Límites del sistema analizado en cada etapa de la vivienda.....	43
Tabla 3.3 Fuentes de los datos requeridos en cada etapa del ciclo de vida de la vivienda.....	45

Tabla 3.4 Formato de recolección de datos para etapa de Extracción de materia prima .	46
Tabla 3.5 Formato de recolección de datos para etapa de Producción de insumos.....	47
Tabla 3.6 Formato de recolección de datos para etapa de Construcción .....	48
Tabla 3.7 Formato de entrevista para habitantes de las viviendas .....	49
Tabla 3.8 Formato de recolección de datos para etapa de Operación y uso .....	50
Tabla 3.9 Formato de recolección de datos para etapa de Disposición final .....	50
Tabla 4.1 Resumen de análisis de viviendas para selección de casos de estudio .....	54
Tabla 4.2 Datos recolectados para cemento gris en etapa de extracción.....	64
Tabla 4.3 Datos recolectados para cal hidratada en etapa de extracción.....	64
Tabla 4.4 Datos recolectados para polvo de piedra en etapa de extracción.....	65
Tabla 4.5 Datos recolectados para grava en etapa de extracción .....	65
Tabla 4.6 Datos recolectados para bloques en etapa de extracción.....	65
Tabla 4.7 Datos recolectados para bovedillas en etapa de extracción .....	66
Tabla 4.8 Datos recolectados para recubrimientos cerámicos en etapa de extracción ....	66
Tabla 4.9 Datos recolectados para tablas de pino en etapa de extracción .....	66
Tabla 4.10 Datos recolectados para varilla corrugada en etapa de extracción.....	67
Tabla 4.11 Datos recolectados para tubería de PVC sanitario en etapa de extracción ....	67
Tabla 4.12 Datos recolectados para cemento gris en etapa de producción.....	68
Tabla 4.13 Datos recolectados para cal hidratada en etapa de producción.....	68
Tabla 4.14 Datos recolectados para polvo de piedra en etapa de producción.....	69

Tabla 4.15 Datos recolectados para grava en etapa de producción .....	69
Tabla 4.16 Datos recolectados para bloques en etapa de producción .....	70
Tabla 4.17 Datos recolectados para bovedillas en etapa de producción .....	70
Tabla 4.18 Datos recolectados para recubrimiento cerámico en etapa de producción .....	71
Tabla 4.19 Datos recolectados para tablas de pino en etapa de producción .....	72
Tabla 4.20 Datos recolectados para varilla corrugada en etapa de producción .....	72
Tabla 4.21 Datos recolectados para tubería de PVC sanitario en etapa de producción ...	73
Tabla 4.22 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de construcción ..	74
Tabla 4.23 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de construcción .....	74
Tabla 4.24 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de construcción .....	74
Tabla 4.25 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de operación y uso .....	75
Tabla 4.26 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de operación y uso .....	75
Tabla 4.27 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de operación y uso .....	76
Tabla 4.28 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de disposición final .....	77
Tabla 4.29 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de disposición final .....	77
Tabla 4.30 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de disposición final .....	77
Tabla 4.31 Emisiones generadas por combustibles fósiles producidos por PEMEX .....	79

Tabla 4.32 Factores de emisión de electricidad promedio calculados por el Programa GEI México.....	80
Tabla 4.33 Huella de carbono obtenida para cada estudio de caso .....	81
Tabla 4.34 Resumen de emisiones generadas por etapa y por vivienda.....	82
Tabla 4.35 Emisiones generadas por etapa del ciclo de vida y por tipo de vivienda, obtenidas del análisis con SimaPro .....	87
Tabla 4.36 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo tradicional.....	89
Tabla 4.37 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo tradicional.....	90
Tabla 4.38 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para la vivienda tipo tradicional.....	91
Tabla 4.39 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo tradicional.....	92
Tabla 4.40 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo tradicional.....	92
Tabla 4.41 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo media .....	94
Tabla 4.42 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo media .....	95
Tabla 4.43 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para la vivienda tipo media .....	96
Tabla 4.44 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo media .....	97

Tabla 4.45 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo media .....	97
Tabla 4.46 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo residencial plus .....	99
Tabla 4.47 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo residencial plus .....	100
Tabla 4.48 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus .....	101
Tabla 4.49 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo residencial plus .....	102
Tabla 4.50 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo residencial plus .....	102
Tabla 5.1 Estimación de emisiones generadas por consumo de agua en la vivienda ....	109
Tabla 5.2 Estimación de emisiones generadas por uso de aluminio en la vivienda.....	109
Tabla 5.3 Estimación de emisiones generadas por uso de vidrio en la vivienda .....	110
Tabla 5.4 Estimación de emisiones generadas por uso de pintura vinílica en la vivienda.....	110
Tabla 5.5 Estimación de emisiones generadas por mantenimiento .....	110
Tabla 5.6 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo tradicional.....	111
Tabla 5.7 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo media .....	111
Tabla 5.8 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo residencial plus .....	111

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución del comportamiento de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en varios países de América entre 1990 y 2006 .....	2
Figura 2.1 Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero antropogénicos.....	8
Figura 2.2 Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte .....	9
Figura 2.3 Variaciones en la temperatura superficial promedio, durante el periodo comprendido entre 1970 al 2004 .....	10
Figura 2.4 Vías por las que el cambio climático afecta a la salud humana .....	11
Figura 2.5 Ejemplo de diagrama de flujo para la unidad funcional y los límites del sistema.....	32
Figura 3.1 Porcentaje de registro de vivienda (en base a su superficie) más ofertada a nivel nacional en el año 2015, según el reporte mensual del sector vivienda emitido por CONAVI en octubre de 2015 .....	40
Figura 3.2 Etapas del ciclo de vida de la vivienda como un producto.....	42
Figura 4.1 Croquis de vivienda tipo tradicional .....	55
Figura 4.2 Croquis de vivienda tipo media, en planta baja .....	56
Figura 4.3 Croquis de vivienda tipo media, en planta alta.....	56
Figura 4.4 Croquis de vivienda tipo residencial plus, en planta baja.....	57
Figura 4.5 Croquis de vivienda tipo residencial plus, en planta alta.....	57
Figura 4.6 Diagrama de procesos definido para el análisis.....	63
Figura 4.7 Gráfico comparativo de las emisiones generadas por etapa y por vivienda ....	82

Figura 4.8 Emisiones generadas en la etapa de extracción de materia prima.....	83
Figura 4.9 Emisiones generadas en la etapa de producción de insumos .....	84
Figura 4.10 Emisiones generadas en la etapa de construcción.....	84
Figura 4.11 Emisiones generadas en la etapa de operación y uso.....	85
Figura 4.12 Emisiones generadas en la etapa de disposición final.....	86
Figura 4.13 Red obtenida con SimaPro para vivienda tradicional.....	88
Figura 4.14 Red obtenida con SimaPro para vivienda media .....	93
Figura 4.15 Red obtenida con SimaPro para vivienda residencial plus .....	98

# 1. INTRODUCCIÓN

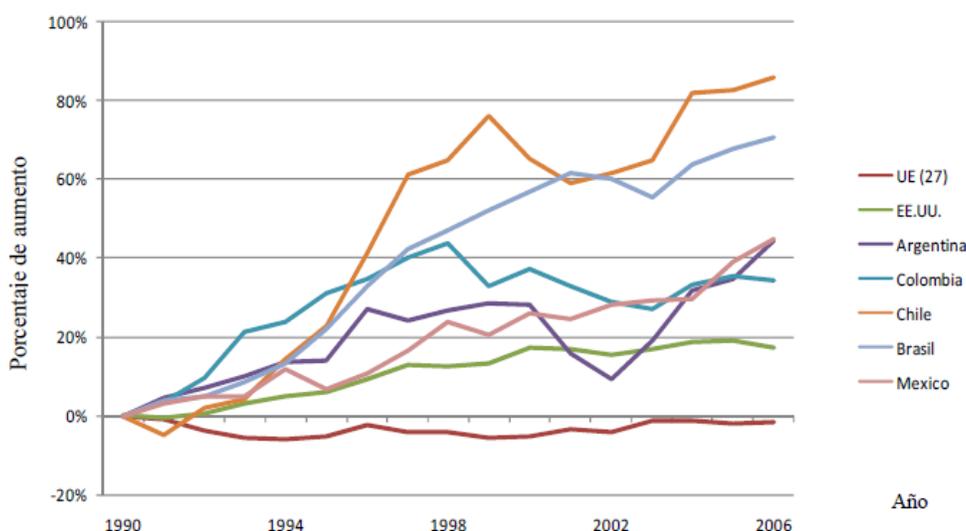
El calentamiento global es un problema muy grave en la actualidad, lo cual se evidencia en el aumento en la temperatura promedio global del aire y del mar, el derretimiento extensivo de nieve y hielo, así como también en el aumento de nivel promedio global del mar. Un siglo y medio de industrialización ha provocado el aumento en la cantidad de gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), en su informe de 2007, pronosticó a finales del siglo XX un incremento de la temperatura promedio, de 1.4°C a 5.8°C, obteniendo las mayores temperaturas promedio en la década de 1990 y en el año 2005. Nuestro entorno no se encuentra exento de estos efectos, ya que Mérida ha presentado un incremento en las temperaturas promedio y el índice de calor observables en datos históricos que abarcan el periodo de 1960 al 2003 (Reyes, 2005).

La emisión antropogénica de gases, principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es causa importante del fenómeno de efecto invernadero que conduce al calentamiento global. López (2009) afirma que aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en los últimos 20 años provienen de la combustión de petróleo, carbón y en menor medida de gas natural; el resto se debe en mayor medida a las actividades de cambio de uso de suelo y silvicultura.

A medida que crecen las poblaciones y economías, y aumentan los niveles de vida, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de gases de efecto invernadero (SEMARNAT-SHCP, 2009). Núñez y Núñez (2012) afirmaron que los costos económicos de los impactos climáticos al 2010 son al menos tres veces superiores a los costos de mitigación de 50% de las emisiones.

La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) afirmó en 2011 que varios países latinoamericanos, considerados como los líderes económicos de la región, se encuentran en un periodo de alto crecimiento económico que se traduce en un alza importante de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al respecto, en la Figura 1.1 se reporta el

comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero entre los años 1990 y 2006 en varios países de América.



Fuente: CEPAL, 2011

Figura 1.1 Evolución del comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en varios países de América entre 1990 y 2006

En México, la SEMARNAT indicó que, en 2009, el CO<sub>2</sub> representó más del 80% de las emisiones generadas a nivel nacional, mientras que el metano aportó un 6%; ambos gases contribuyen al efecto invernadero atribuido a las actividades humanas (SEMARNAT-PNUMA, 2006). También se ha estimado que, hasta el 2010, México ya había producido 3.8 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> per cápita (Grupo del Banco Mundial, 2015). Si bien México no fue incluido en el Anexo I del Protocolo de Kyoto, por lo cual no tuvo restricciones vinculantes en la emisión de gases de efecto invernadero, ocupó en 2009 el lugar número 13 entre los 25 mayores emisores del mundo (López, 2009).

La construcción ha sido identificada como uno de los principales generadores de emisiones de GEI, ya que según el Programa para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) este sector contribuye, a nivel mundial, con hasta un 40% de estas emisiones, principalmente por el uso de energía durante la vida útil de los edificios. Por esta razón, la construcción sustentable debe constituir una manera de reducir las emisiones de GEI (UNEP, 2015).

Para reducir eficazmente las emisiones de GEI se requiere identificar las fuentes que generan éstas, lo cual puede lograrse mediante la obtención de la huella de carbono. Sin embargo, Xiaodong et al. (2009) argumentaron que la cantidad de estudios sobre la huella de carbono en edificaciones, que se habían realizado hasta ese momento, eran insuficientes.

La norma internacional ISO 14067:2013 “Huella de Carbono de Productos” define la huella de carbono como la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de un producto, la cual se expresa en CO<sub>2</sub> equivalente ya que es el gas predominante en el efecto invernadero. En la Tabla 1.1 se presentan los principales gases de efecto invernadero (GEI) y su potencial de calentamiento global para horizontes temporales de 20, 100 y 500 años, mientras que en la Tabla 1.2 se resumen las fuentes de los principales GEI y su potencial de calentamiento en un plazo de 100 años.

Tabla 1.1 Principales GEI y su potencial de calentamiento global para horizontes temporales de 20, 100 y 500 años

Gas		Vida media (años)	Potencial de calentamiento global horizonte temporal		
			20 años	100 años	500 años
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>		1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12	62	23	7
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	114	275	296	156
Diclorodifluorometano CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	10,200	10,600	5,200
Diclorofluorometano HCFC-22	CHCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	2	700	210	65

Fuente: Bailey et al. (2002)

Existen diversos estudios realizados sobre la huella de carbono en las edificaciones y en la vivienda. En el ámbito internacional, Dahlstrom (2011), en Noruega, realizó un estudio para comparar el ciclo de vida de dos viviendas construidas con diferente normatividad, encontrando que la etapa de uso es la que genera más emisiones de GEI. De manera similar, en el Reino Unido, Barret y Wiedmann (2007) estudiaron el ciclo de vida de dos viviendas que, en este caso, fueron construidas con diferentes métodos: una elaborada en el sitio y otra con elementos prefabricados. Los resultados de Barret y Wiedmann coincidieron con los de Dahlstrom, ya que fue la etapa de uso la que mayor cantidad de

emisiones reportó. En Chile, Muñoz et al. (2012) realizaron un estudio de dos etapas del ciclo de vida de una vivienda, las cuales fueron etapas de construcción y de uso de una vivienda; como resultado de este estudio sugieren que el consumo energético durante la fase de construcción de un edificio o vivienda es despreciable si se compara con la fase de operación, pero la huella de carbono que genera es mayor debido a los procesos de cimentación y albañilería de ladrillos.

Tabla 1.2 Fuentes de los principales GEI y su potencial de calentamiento global en un plazo de 100 años

<b>Gases</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Potencial de calentamiento</b>
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados de petróleo y gas), reacciones químicas en procesos de manufactura (como la producción de cemento y acero), cambio de uso de suelo (deforestación).	1
Metano CH <sub>4</sub>	Descomposición anaerobia (cultivo de arroz, rellenos sanitarios, estiércol), escape de gas en minas y pozos petroleros.	21
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados, quema de combustibles fósiles.	310
Hidrofluorocarbonos HFCs	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	140 – 11,700
Perfluorocarbonos PFCs	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	6,500 – 9,200
Hexafluoruro de Azufre SF <sub>6</sub>	Emitido en procesos de manufactura donde se usa como fluido eléctrico.	23,900

Fuente: SEMARNAT

En el ámbito regional, Medina (2007) analizó la etapa de construcción de un conjunto de viviendas en Mérida, Yucatán, para determinar el impacto ambiental que tienen los materiales de construcción. En ese trabajo se reportó que una vivienda de interés social genera 5.37 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y se identificó al cemento y sus productos como la principal fuente de emisiones de contaminantes.

En base a lo anterior, se concluyó pertinente la realización de un estudio sobre la huella de carbono en la vivienda que comúnmente es construida en Mérida, Yucatán. La principal contribución de este estudio es la determinación de la huella de carbono en el ciclo de vida de la vivienda, ya que no se encontró reportes que dieran cuenta de algún estudio en el contexto local que haya tenido dicho alcance. Este estudio tiene como principal objetivo obtener la huella de carbono en tres viviendas asociadas a distintos niveles socioeconómicos: vivienda tradicional, media y residencial plus (CONAVI, 2010), para así comparar la huella de carbono, por metro cuadrado en las tres viviendas, e identificar el origen de eventuales diferencias entre estas.

### **1.1. Preguntas de investigación**

¿Cuántas son las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en cada componente del ciclo de vida de la vivienda en Mérida, Yucatán?

¿Cuáles son los procesos que generan más emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de la vivienda en Mérida, Yucatán?

### **1.2. Objetivo general**

Determinar la huella de carbono de la vivienda que comúnmente se construye en Mérida, Yucatán.

### **1.3. Objetivos específicos**

1. Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan a lo largo del ciclo de vida de la vivienda que comúnmente se construye en Mérida, Yucatán.
2. Identificar los procesos más perjudiciales respecto a sus emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida en Mérida, Yucatán.

## 1.4. Justificación

En la actualidad, la mayoría de las actividades que realizamos así como los bienes que poseemos y utilizamos implican un consumo de energía y, por consiguiente, significan una contribución a las emisiones de GEI.

Es por lo anterior que la medición de la huella de carbono representaría un indicador para la identificación de las principales fuentes de emisiones de GEI en las viviendas construidas en los desarrollos habitacionales de Yucatán. La cuantificación de estas emisiones a lo largo del ciclo de vida de estos proyectos permitiría conocer a detalle la implicancia de los procesos constructivos y los materiales de construcción, que son característicos de la región y se encuentran poco estudiados, en la afectación al medio ambiente. Esto permitiría identificar los puntos críticos en los que habría que aplicar prácticas más sostenibles que redunden en la reducción de estas emisiones.

La pertinencia de un estudio sobre la obtención de la huella de carbono de viviendas ubicadas en desarrollos habitacionales de Mérida, Yucatán, radica en la importancia de la cuantificación que sirve de referencia para la posterior puesta en marcha de planes para la reducción de emisiones de GEI, la disponibilidad de metodologías y herramientas para el análisis de la generación de estas emisiones y la falta de estudios sobre el tema en nuestro medio.

De acuerdo a lo anterior, se consideró justificable la realización de un estudio para obtener una estimación más precisa de la huella de carbono de la vivienda producida en el contexto local.

## **2. MARCO TEÓRICO**

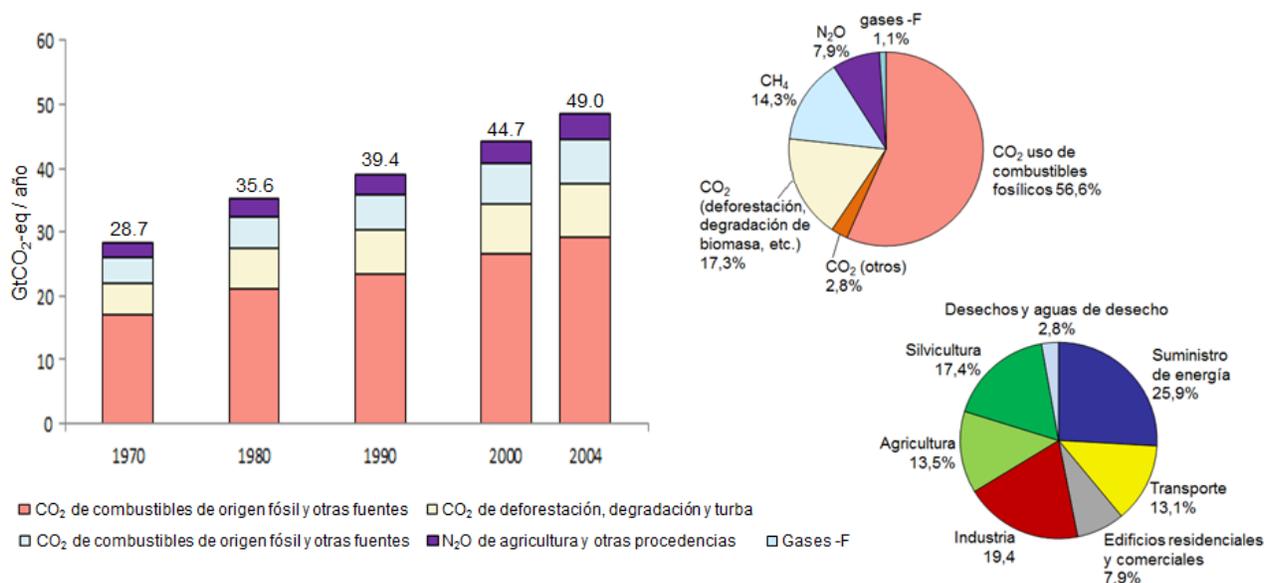
Con el fin de contar con una apreciación más extensa acerca de los efectos generados por las emisiones de GEI, así como las metodologías y herramientas para la medición de las emisiones y algunos estudios realizados sobre el tema, se presenta en los siguientes apartados una recopilación de la información encontrada sobre los temas antes mencionados.

### **2.1. Efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero**

Desde la Revolución Industrial la quema indiscriminada de combustibles fósiles ha cambiado la composición de la atmósfera. En particular, se ha incrementado la concentración de CO<sub>2</sub>, la cual mantuvo su variación en un rango aproximado de 200 a 300 partes por millón en volumen (ppmv) durante los últimos 600 mil años, pero ahora se encuentra cerca de 400 ppmv (Gay et al., 2010).

Según datos del IPCC (2007), las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por efecto de actividades humanas han aumentado desde la era preindustrial, evidenciándose en un aumento del 70% entre 1970 y 2004 (véase Figura 2.1).

Como consecuencia, el calentamiento provocado por la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera genera impactos considerables en el ambiente, en la salud y en la economía.



Fuente: IPCC, 2007

Figura 2.1 Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero antropogénicos

### 2.1.1.Efectos ambientales

El principal efecto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero es el aumento en la temperatura promedio del planeta, tal como se evidencia en diversos estudios. Según el informe emitido por el IPCC en 2007, en el periodo 1995-2006, se han registrado los años más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura mundial, que se registran desde 1850; este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores, las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. El aumento del nivel del mar, la disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerdan con este calentamiento (véase Figura 2.2), estos se atribuyen al efecto de la dilatación térmica y del deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares (IPCC, 2007).

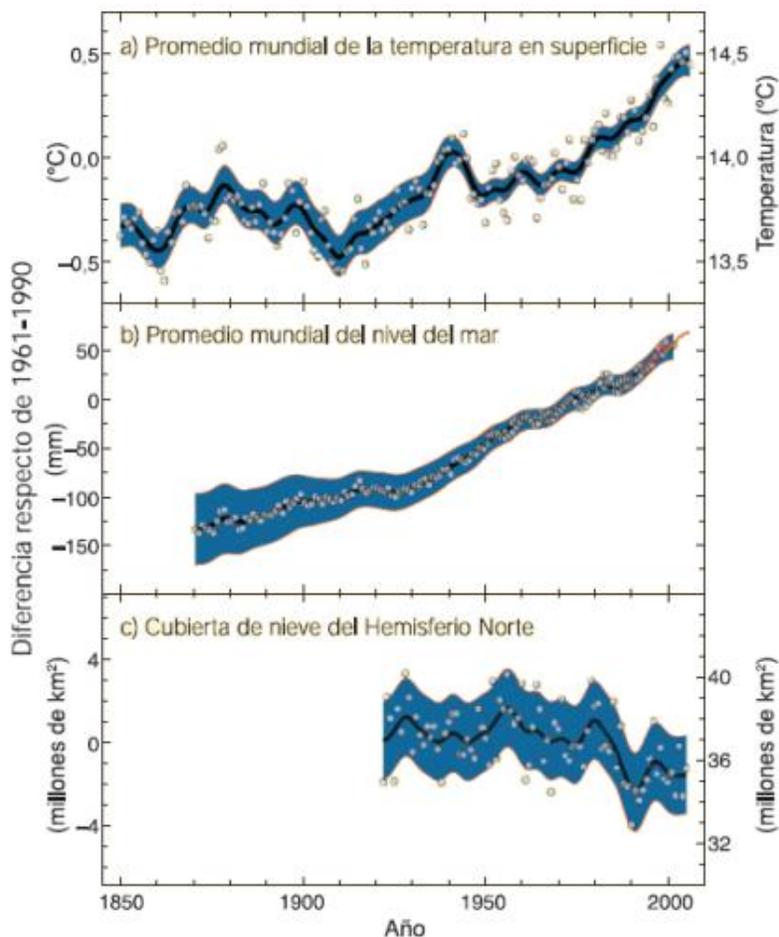


Figura 2.2 Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte

Otro efecto observable entre 1900 y 2005 es el aumento notable de la precipitación en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa septentrional, y Asia septentrional y central, aunque disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia, como puede observarse en la Figura 2.3 (IPCC, 2007).

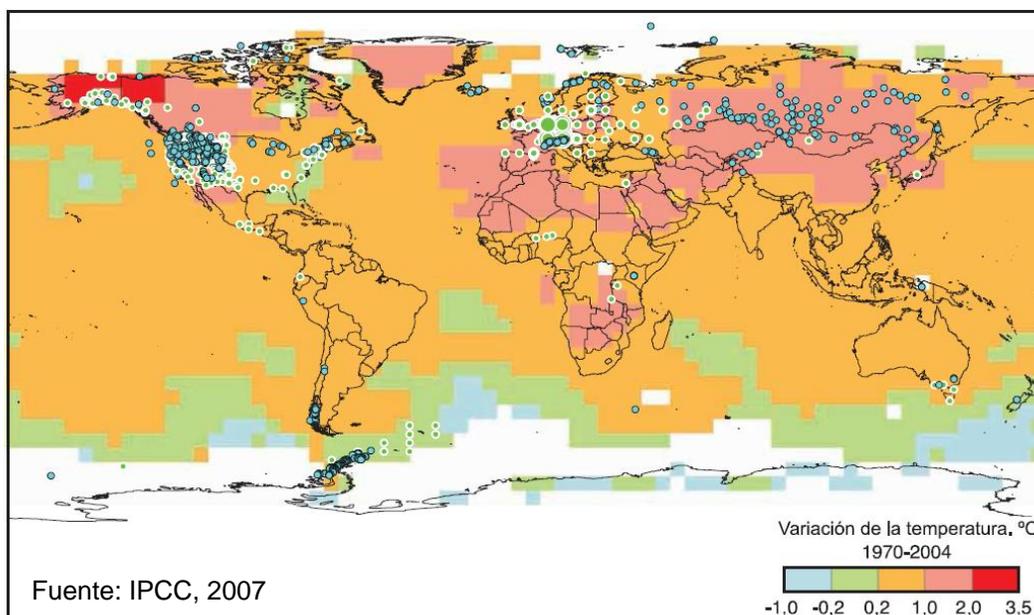


Figura 2.3 Variaciones en la temperatura superficial promedio, durante el periodo comprendido entre 1970 al 2004

### 2.1.2. Efectos económicos

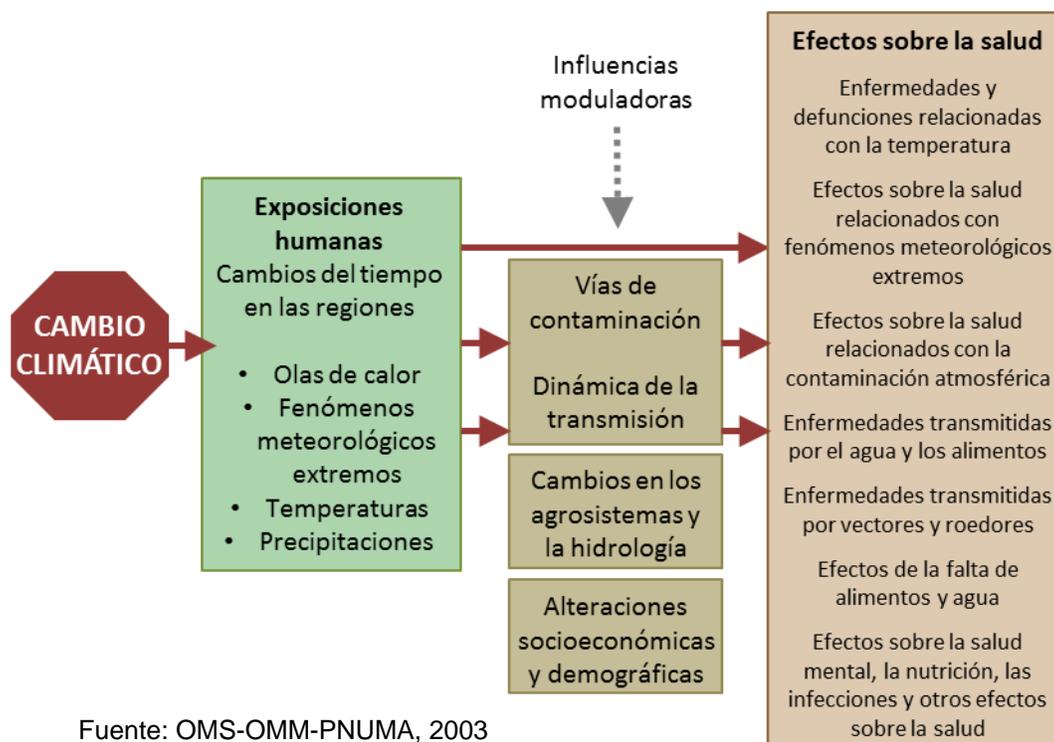
La estimación de los impactos potenciales del cambio climático en la economía ha sido, desde hace décadas, un tema de constante investigación y debate. Una de las principales motivaciones de tales estudios es promover la toma eficiente de decisiones sobre la conveniencia de aplicar políticas de mitigación y adaptación (Gay et al., 2010).

El documento La economía del cambio climático en México (SEMARNAT-SHCP, 2009) estima que los impactos de cambio climático acumulados desde la actualidad hasta el 2100 representarían alrededor de 7.68% del PIB actual del país, mientras que las estimaciones obtenidas utilizando el modelo de evaluación integrada del Centro de Ciencias de la Atmósfera muestran que los impactos potenciales de cambio climático para México acumulados hasta el 2100 podrían ser considerablemente mayores, representando alrededor de 20 veces el PIB actual de México.

### 2.1.3. Efectos en la salud

Las últimas investigaciones han ampliado con rapidez los conocimientos sobre las relaciones entre el clima y la salud, debido en gran medida al estímulo del IPCC y otros análisis de políticas a nivel regional y nacional (OMS-OMM-PNUMA, 2003).

Aunque el calentamiento mundial puede tener algunos efectos beneficiosos en la salud, como una menor mortalidad en invierno en las regiones templadas y un aumento en la producción de alimentos en determinadas zonas, los efectos globales para la salud del cambio climático serán probablemente muy negativos. Este influye en los determinantes sociales y medioambientales de la salud, tales como el aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura (DIRESA, 2014).



Fuente: OMS-OMM-PNUMA, 2003

Figura 2.4 Vías por las que el cambio climático afecta a la salud humana

Según el informe del IPCC (2007), se prevé entre 2030 y 2050 que el cambio climático causará unas 250,000 defunciones adicionales cada año, debido a malnutrición, paludismo, diarrea y estrés calórico. Las zonas con malas infraestructuras sanitarias, que

se hallan en su mayoría en los países en desarrollo, serían las menos capacitadas para prepararse ante esos cambios y responder a ellos si no reciben ayuda.

La planificación en materia de salud puede reducir los futuros efectos adversos en este ámbito, pero la solución óptima está en manos de los gobiernos, la sociedad y los individuos, y exige cambios en los comportamientos, las tecnologías y las prácticas para permitir la transición hacia la sostenibilidad (OMS-OMM-PNUMA, 2003). La reducción de las emisiones de GEI mediante mejoras de transporte y de las elecciones en materia de alimentos y uso de la energía puede traducirse también en mejoras de la salud.

## **2.2. Medición de emisiones de gases de efecto invernadero**

En la actualidad existen diversas metodologías disponibles para la cuantificación de las emisiones de GEI, tales como los estándares procedentes de la Organización Internacional para la Estandarización, así como diversas normas y guías para el desarrollo sustentable, emitidas por diversas organizaciones, las cuales se refieren a la cuantificación de emisiones de GEI. Las más relevantes se presentan en los siguientes apartados.

### **2.2.1. Estándares ISO**

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) es un organismo mundial que promueve la creación y revisión de estándares que proporcionan requerimientos, especificaciones, directrices o características utilizadas consistentemente para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios son adecuados para su propósito. Esta organización ha publicado más de 19500 normas internacionales abarcando prácticamente cada industria, tales como tecnología, seguridad en alimentos, agricultura y salud (ISO, 2015). A continuación se presentan las normas ISO más relevantes respecto a la medición de emisiones de GEI.

## 2.2.2. ISO 14064

La norma ISO 14064, publicada en 2006, forma parte de las normas internacionales para la gestión medioambiental. Esta proporciona a gobiernos, negocios y otras organizaciones herramientas complementarias para programas de cuantificación, monitoreo, reporte y verificación de las emisiones de GEI (ISO, 2006).

La norma ISO 14064 fue publicada en tres partes:

- ISO 14064-1:2006. "Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero". Esta parte de la norma detalla los principios y requisitos para el diseño, desarrollo, gestión y reporte de los inventarios de los GEI a nivel de organizaciones. Además, incluye los requisitos que permitirían a las organizaciones determinar los límites de la emisión de GEI, cuantificar sus emisiones y reducciones e identificar las acciones que permiten mejorar la gestión de sus GEI. Asimismo incluye los requisitos y orientaciones para la gestión de la calidad del inventario, el informe, la auditoría interna y las responsabilidades de la organización en las actividades de verificación (ISO, 2006).
- ISO 14064-2:2006. "Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de proyecto, para la cuantificación, la monitorización y la declaración de las reducciones y de las mejoras en la eliminación de gases de efecto invernadero". Esta segunda parte de la norma está centrada en los proyectos diseñados para reducir las emisiones de GEI o aumentar sus remociones. Detalla los principios y requisitos para determinar las líneas de base de los proyectos, así como para monitorear, cuantificar y reportar el desempeño del proyecto (ISO, 2006).
- ISO 14064-3:2006. "Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones para la validación y la verificación de declaraciones de gases de efecto invernadero". Esta tercera parte de la norma recoge los principios y requisitos para llevar a cabo la verificación de los inventarios y los proyectos de GEI (ISO, 2006).

### 2.2.3. ISO 14065

La norma ISO 14065 fue publicada en 2013. Especifica los requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de GEI, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento.

Los requisitos generales de esta norma se relacionan con temas tales como aspectos legales y contractuales, responsabilidades, gestión de imparcialidad y temas de financiamiento y responsabilidad legal. También se incluyen requisitos más específicos con temas relacionados con la estructura, recursos y competencias, gestión de los registros y de la información, procesos de verificación y validación, apelaciones, quejas y sistemas de gestión (ISO, 2013).

### 2.2.4. ISO 14067

La norma ISO 14067 “Huella de carbono de productos” fue publicada en 2013. Esta norma detalla los principios, requerimientos y directrices para la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de productos, tanto de bienes como de servicios, basándose en las Normas Internacionales ISO 14040 “Gestión Ambiental – Análisis del Ciclo de Vida – Principios y Marco de Referencia”, ISO 14044 “Gestión Ambiental – Análisis del Ciclo de Vida – Requisitos y Directrices”, ISO 14020 “Etiquetas Ambientales y Declaraciones – Principios Generales”, ISO 14022 “Etiquetas Ambientales y Declaraciones – Etiquetado Ambiental Tipo I – Principios Generales y Procedimientos”, e ISO 14025 “Etiquetas Ambientales y Declaraciones – Etiquetado Ambiental Tipo III – Principios y Procedimientos (ISO, 2013).

### 2.2.5. ISO 14069

La norma ISO 14069 “Gases de efecto invernadero. Cuantificación y reporte de gases de efecto invernadero para organizaciones” fue publicada en 2013. Esta describe los principios, conceptos y métodos relacionados con la cuantificación y reporte de las emisiones de GEI, tanto directas como indirectas, para organizaciones. Provee los

lineamientos para la aplicación de la norma ISO 14064-1 para inventarios de GEI a nivel organización (ISO, 2013).

### 2.2.6. GHG Protocol

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol en inglés) es la herramienta internacional para el cálculo y comunicación del inventario de emisiones. Ha sido desarrollado entre el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Esta herramienta consiste en una metodología extensa y complicada pero eficaz para la obtención de las emisiones de los GEI directas e indirectas. Utiliza una visión intersectorial y contabiliza las emisiones de cualquier sector, como por ejemplo las debidas al uso de combustible en instalaciones productivas, a los viajes, a la combustión estacionaria y a las emisiones indirectas derivadas de la compra de electricidad. Incluso permite el tratamiento de todas las emisiones indirectas que se producen a partir de fuentes que no son propiedad de la empresa, como las actividades de extracción de materias primas y su transporte (WBCSD-WRI, 2001).

Las organizaciones deben elegir justificadamente un año de base (o de referencia para marcar objetivos de reducción) a partir del cual los datos de emisiones fiables están disponibles.

La iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero comprende dos estándares distintos, aunque vinculados entre sí (WBCSD-WRI, 2001):

- Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI., el cual provee una guía minuciosa para empresas interesadas en cuantificar y reportar sus emisiones de GEI.
- Estándar de Cuantificación de Proyectos del Protocolo de GEI, el cual sirve para la cuantificación de reducciones de emisiones de GEI derivadas de proyectos específicos.

### 2.2.7. PAS 2050

La norma PAS 2050 “Especificación para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en el ciclo de vida de bienes y servicios”, es una norma publicada por British Standards Institution (BSI) en 2011 y en su elaboración han participado diversos expertos de la administración pública británica de organizaciones empresariales, así como expertos procedentes de organizaciones internacionales (BSI, 2015).

Se trata de un documento de aplicación voluntaria y, aunque en este caso pueda utilizarse para gestionar requisitos reglamentarios, hay que tener en cuenta que su cumplimiento no confiere inmunidad a las organizaciones frente al cumplimiento de sus obligaciones legales.

Las organizaciones que requieran la conformidad del cálculo de la huella de carbono de sus productos conforme a PAS 2050 deben garantizar que el análisis del ciclo de vida de sus productos sea completo.

PAS 2050 diferencia dos tipos de ciclos de vida, en función del tipo de producto (BSI, 2011):

- Business to business, cuando el ciclo de vida considerado del producto finaliza con la entrega del mismo a otra organización para que lo utilice en la elaboración de otro producto.
- Business to customer, cuando se considera el ciclo de vida completo del producto, incluidas las actividades posteriores a la entrega del producto al cliente/usuario.

Adicionalmente, requiere que se consideren al menos y de forma no limitante toda una serie de fuentes de emisión, tales como el uso de energías, los procesos de combustión, la reacción química y las pérdidas de gases refrigerantes y otros gases volátiles.

Esta norma utiliza como referencias para sus términos y definiciones normas internacionales como ISO 14021, ISO 14025, ISO 14040, ISO 14044, ISO 14048 e ISO 14064-1.

### 2.2.8. PAS 2060

La norma PAS 2060 “Especificación para la Neutralidad de Carbono” es un estándar publicado por el British Standards Institution, cuya última versión fue publicada en 2014. Esta permite a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de CO<sub>2</sub> son correctas y aumentar la confianza de los clientes (BSI, 2015).

La norma PAS 2060 proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica en un ámbito muy diverso, incluidas las actividades, productos, servicios, edificios y proyectos, entre otros; esta norma se aplica a todas las entidades que puedan demostrar que no producen un aumento neto en las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia del desarrollo de ciertas actividades. Busca no sólo la compensación de las emisiones, sino también su reducción, y por ello, no tiene un carácter instantáneo (BSI, 2014).

## 2.3. Guía para evaluar la sustentabilidad de las viviendas

Además de las normativas mencionadas anteriormente, existen, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, instrumentos para evaluar la sustentabilidad de las viviendas que consideran aspectos relacionados con las emisiones de GEI. A continuación se presentan cuatro guías que se consideran relevantes para este estudio.

### 2.3.1. Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda (País Vasco, España)

La Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco, publicada en 2011, fue desarrollada por el Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales y el Departamento de Industria, Comercio y Turismo, a

través del Ente Vasco de la Energía (EVE); y por el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, a través de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (IHOBE).

Según lo especifica la misma guía, ésta se estructura en torno a cinco áreas de actuación asociadas a varios aspectos ambientales. En la Tabla 2.1 se presenta un esquema de los aspectos ambientales asociados a cada área y de los impactos que pueden producir sobre el medio ambiente.

Tabla 2.1 Áreas de actuación, aspectos ambientales y categorías de impacto consideradas en la Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda

ÁREAS DE ACTUACIÓN			ASPECTOS AMBIENTALES			CATEGORÍAS DE IMPACTO														
						1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11		12
												7.1	7.2	7.3				11.1	11.2	
						Cambio climático	Alimento de la radiación ultravioleta	Ocupación y agotamiento del suelo natural	Pérdida de fertilidad del suelo (acidificación)	Pérdida de biodiversidad	Pérdida de vida acuática (eutrofización)	Recursos naturales y ecosistemas	Deforestación local	Desertificación local	Degradación del entorno natural	Generación de residuos tóxicos	Discomfort humano	Salud	Variación de condiciones de movilidad personal	
											Agotamiento de os recursos naturales						Pérdida de salud	Radioactividad y residuos radioactivos		
ENERGÍA	CALEFACCIÓN Y ACS	DEMANDA	Emisiones a la atmósfera			X			X											
		RENDIMIENTO RENOVABLES	Emisiones a la atmósfera			X			X											
	OTRAS	Consumos de energías no renovable								X										
MATERIALES	CONSUMO		Emisiones a la atmósfera			X			X											
	TRANSPORTE		Consumo de materiales primas no renovable								X	X								
	RESIDUOS		Emisiones a la atmósfera			X														X
RECURSOS	SUELO	USO	Vertido de residuos							X				X				X		X
			Ocupación de suelo					X							X					
	AGUA	AGUA POTABLE	Consumo de agua potable									X								
		AGUAS GRISAS	Vertido de aguas grises								X									
	ATMÓSFERA		Emisiones a la atmósfera			X	X		X	X										X
ECOSISTEMAS		Contaminación de los ecosistemas						X			X	X	X							
MOVILIDAD	TRANSPORTE URBANO		Emisiones a la atmósfera			X			X											X
SALUD	CALIDAD DEL AIRE INTERIOR		Enrarecimiento del aire interior													X			X	
	CONFORT Y SALUD		Pérdida de confort (térmico, acústico, luminoso)													X	X			

Fuente: EVE (2011)

Esta guía española recoge una extensa relación de buenas prácticas aplicables a la construcción de edificios de vivienda a lo largo de todo su ciclo de vida; englobando desde el planteamiento urbanístico hasta la gestión de los residuos obtenidos en la demolición y en las operaciones de explotación y mantenimiento de las viviendas. Recoge toda una serie de medidas que contribuyen a que los edificios de viviendas resulten

medioambientalmente sostenibles sin menoscabo de la calidad de los mismos y sin pérdida de prestaciones o de funcionalidad respecto al usuario final.

El procedimiento de evaluación de esta guía se divide en obra nueva y rehabilitación, y se emplea para cada caso fichas clasificadas según su área de actuación.

Para efectos de la Guía de Edificación y Rehabilitación para Hogares Sostenibles, y se consideran las emisiones a la atmósfera como aspectos ambientales en las áreas de actuación de energía, materiales, recursos y movilidad, las cuales se relacionan con categorías de impacto tales como la pérdida de fertilidad del suelo, el cambio climático y la variación de condiciones de movilidad personal, entre otras.

### 2.3.2. Código de Hogares Sustentables: Guía Técnica (Reino Unido)

El Código de Hogares Sostenibles es un estándar del Reino Unido para el diseño y construcción sustentable de nuevos hogares. Su principal objetivo es reducir las emisiones de carbono y promover altos estándares de diseño sustentable por encima de las normas actuales establecidas en los reglamentos de construcción. Según establece el propio código, se consideran las siguientes nueve categorías:

1. Energía y emisiones de CO<sub>2</sub>
2. Agua
3. Materiales
4. Corriente superficial (inundaciones y prevención de inundaciones)
5. Desechos/residuos
6. Contaminación
7. Salud y bienestar
8. Gestión
9. Ecología

La Guía Técnica, publicada en 2010, establece los requerimientos para el Código de Hogares Sustentables, definiendo el proceso por el que se realiza la evaluación del código de la manera más simple, transparente y rigurosamente posible. Esta guía técnica incluye dos partes:

1. Parte Uno:

- Proceso de evaluación del Código de Hogares Sustentables
- Sistema de puntuación

2. Parte Dos:

- Temas ambientales a evaluarse
- Requisitos de funcionamiento y su evaluación
- Evidencia requerida para confirmar la evaluación del desempeño
- Cálculo de algoritmos, listas de verificación y otras herramientas empleadas en el método de evaluación

Para su evaluación se consideran ponderaciones distintas para cada categoría, tal como se muestra en la Tabla 2.2.

El Código de Hogares Sustentables considera las emisiones de CO<sub>2</sub> como la primera categoría de impacto ambiental, en la que se consideran cuestiones como la tasa de emisión de la vivienda, la eficiencia energética y las tecnologías de carbono, entre otras.

### 2.3.3. Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables (México)

La Comisión Nacional de Vivienda desarrolló en 2008, en el marco del Programa Transversal para la Vivienda Sustentable, los Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables. Su objetivo es buscar mejorar la calidad de vida de los ocupantes de las viviendas, así como el mantenimiento y mejora constante de las mismas, para integrar comunidades saludables y seguras que promuevan el uso de materiales adecuados y optimicen el uso del suelo urbano.

Tabla 2.2 Total de créditos disponibles, factores de ponderación y puntajes del Código de Hogares Sustentables

<b>Categorías de Impacto Ambiental</b>	<b>Total de créditos en cada categoría</b>	<b>Factor de Ponderación (% de participación)</b>	<b>Valor aproximado de cada crédito</b>
<i>Categoría 1:</i> Energía y emisiones de CO <sub>2</sub>	31	36.4%	1.17
<i>Categoría 2:</i> Agua	6	9.0%	1.50
<i>Categoría 3:</i> Materiales	24	7.2%	0.30
<i>Categoría 4:</i> Corriente superficial	4	2.2%	0.55
<i>Categoría 5:</i> Desechos y residuos	8	6.4%	0.80
<i>Categoría 6:</i> Contaminación	4	2.8%	0.70
<i>Categoría 7:</i> Salud y bienestar	12	14.0%	1.17
<i>Categoría 8:</i> Gestión	9	10.0%	1.11
<i>Categoría 9:</i> Ecología	9	12.0%	1.33
<b>Total</b>	-	<b>100%</b>	-

Fuente: Departamento para las Comunidades y Gobierno Local de Reino Unido (2010)

Según el mismo documento, el desarrollo de los criterios para evaluar los Desarrollos Habitacionales Sustentables presentados en él es el resultado de un esfuerzo conjunto de especialistas en los diferentes temas abordados, representantes de las instituciones y organismos del Gobierno, quienes colaborando intensamente en grupos de trabajo temáticos, aportaron el contenido técnico incluido en esta guía y que es aplicable a la vivienda. Los organismos participantes en la realización de esta guía fueron la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México (ANEAS), el Centro Mexicano de Capacitación en Agua y Saneamiento (CEMCAS), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Fideicomiso para

el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Luz y Fuerza del Centro (LyFC), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), la Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAE), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). Los criterios atienden los rubros relacionados con el uso del suelo, su ubicación y sus características, la energía, el agua y los residuos sólidos, y delimitan los principios y acciones a seguir en la construcción y operación de los desarrollos habitacionales.

Este documento establece un sistema de puntuación mínima requerida por tipo de vivienda para evaluar la sustentabilidad, agrupando dicho puntaje integralmente en la incidencia de los siguientes aspectos:

- A. Ubicación, densificación del suelo, verticalidad y servicios
- B. Uso eficiente de la energía
- C. Uso eficiente del agua
- D. Manejo adecuado de residuos
- E. Solución estructural y materiales utilizados
- F. Factores socioculturales

En la Tabla 2.3 se presentan las puntuaciones correspondientes a cada aspecto a evaluar.

Si bien, los aspectos a evaluar en los Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables no mencionan las emisiones de GEI como tales, el propio documento define como implicaciones fundamentales de la demanda de vivienda en México el desempeño de la propia vivienda en materia de consumo de energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que la puntuación de los aspectos a evaluar se ven relacionados con dichas emisiones.

Tabla 2.3 Aspectos a evaluar y puntuaciones asignadas en los Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables

Aspectos a evaluar		Puntuación mínima por tipo de vivienda			
		Económica	Social	Media	Residencial
A.	Ubicación, densificación del suelo, verticalidad y servicios	20	20	20	20
B.	Uso eficiente de la energía	14	14	19	20
C.	Uso eficiente del agua	8	8	9	9
D.	Manejo adecuado de residuos sólidos	6.5	6.5	7	8.5
E.	Solución estructural y materiales empleados	Pendiente de desarrollo			
F.	Factores socioculturales	Pendiente de desarrollo			
<i>Total</i>		<i>48.5</i>	<i>48.5</i>	<i>55</i>	<i>57.5</i>

Fuente: CONAVI (2008)

#### 2.3.4. Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables (México)

La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza desarrolló en 2010 la Estrategia Fronteriza para Desarrollos Habitacionales Sustentables cuyo Tomo I es el Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables. En este manual se establecen criterios de evaluación para reconocer, certificar y apoyar financieramente propuestas que cumplan con criterios y parámetros establecidos desde el enfoque del desarrollo urbano, ambiental, social y económico sustentable.

Mediante este manual se trata de impulsar específicamente el diseño y construcción de vivienda que considere la aplicación de dispositivos y eco-tecnologías para lograr ahorros en el consumo de energía y agua; para disminuir la emisión de gases efecto invernadero, en particular el CO<sub>2</sub>; así como para lograr un manejo adecuado y disposición final de residuos sólidos. En este sentido, este instrumento presenta algunos de los beneficios ambientales y de calidad de vida que resultan en un proyecto de desarrollo habitacional sustentable, a partir de la atención a los indicadores establecidos en él (COCEF, 2010).

Según detalla el mismo documento, los criterios e indicadores incluidos en él consideran los siguientes aspectos:

- Integridad y proximidad a la mancha urbana
- Conectividad y movilidad
- Infraestructura
- Uso del suelo y densidad habitacional
- Uso eficiente de la energía
  - Gas
  - Energía eléctrica
  - Envoltente térmica
  - Sistemas pasivos
  - Diseño urbano
  - Diseño arquitectónico
- Uso eficiente del agua
  - Disponibilidad de agua en el conjunto
  - Agua residual
  - Agua pluvial
- Manejo adecuado de residuos sólidos
  - En el conjunto
  - En la vivienda
- Solución estructural
- Materiales empleados

Los aspectos anteriores se integraron en un sistema de evaluación en el que se identifican seis temas de interés prioritario. La forma de evaluación consiste en un método de calificación con ponderación de puntaje base cien establecido para cada uno de los temas. En la Tabla 2.4 se presentan los seis temas de interés prioritario, así como el número de puntos que cada uno de los temas tiene asignado.

Tabla 2.4 Temas de interés prioritario y puntajes asignados en el Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables

<b>Temas de interés prioritario</b>		<b>Puntaje</b>
1	Aspectos urbanos, medio ambiente y protección civil	33
2	Diseño urbano-arquitectónico y aplicación de ecotecnologías	15
3	Uso eficiente de la energía	12
4	Uso eficiente del agua	15
5	Manejo adecuado de residuos sólidos	12
6	Factores para la construcción de comunidad y sentido de pertenencia	13
	<i>Puntaje máximo</i>	<i>100</i>

Fuente: COCEF (2010)

El Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables contempla en el uso eficiente de la energía, tema de interés prioritario número 3, el uso eficiente y racional de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente. Con atención a este tema se contribuye a la prevención y mitigación de emisiones de contaminantes, además de estar en posibilidad de aprovechar en un momento dado las oportunidades que ofrecen los mercados internacionales de carbono (COCEF, 2010).

#### **2.4. Estudios sobre la medición de emisiones de gases de efecto invernadero en la construcción**

Existen diversos trabajos, desarrollados alrededor del mundo, que reportan la cuantificación de las emisiones de GEI producidas por el proceso de la construcción en edificación. A continuación se presenta un resumen de estudios encontrados sobre el tema tratado en esta investigación.

Barret y Wiedmann (2007) calcularon y compararon las emisiones de GEI generadas por la construcción de una vivienda realizada en obra, en la forma tradicional, contra las generadas por una vivienda hecha de prefabricados, ambas en Reino Unido. Para ambos casos realizaron un análisis del ciclo de vida calculando las emisiones en cada una de las etapas, obteniendo que la vivienda construida con el método tradicional generó menor cantidad de emisiones. Por otra parte, en ambos casos se obtuvo que la etapa con mayor cantidad de emisiones fue la que incluye la energía empleada en el uso de la vivienda,

seguida por la construcción y producción de los materiales empleados, el mantenimiento y finalmente el transporte de materiales.

Dahlstrom (2011) analizó el ciclo de vida de dos construcciones noruegas fabricadas con normas distintas (Estándar para Edificación TEK07 y Estándar Noruego NS 3700:2010), obteniendo que las etapas que generan más emisiones fueron la generación de agua y electricidad.

Filipe y Quintana (2013) calcularon la huella de carbono parcial de la vivienda tipo en Chile, es decir, únicamente teniendo en cuenta el transporte y la energía usada en la vivienda. Para realizar su estudio, aplicaron la metodología creada por Wackernagel y Rees en 1997 para el cálculo de la huella ecológica con base en encuestas. Entre sus conclusiones se menciona la falta de estudios sobre el tema para comparar metodologías y resultados, así como el poco grado de confiabilidad que tiene el estudio ya que las emisiones son basadas sólo en entrevistas a los habitantes de las viviendas analizadas.

Muñoz et al. (2012) evaluaron el ciclo de vida simplificado de una solución habitacional de construcción masiva en Chile, despreciando la etapa final de la construcción. Como resultado obtuvieron que si bien la etapa de construcción es despreciable en consumo energético su huella de carbono es mayor, ya que está asociada a los procesos de producción de los materiales empleados, tales como ladrillos y cimientos.

En el ámbito regional se encontraron los siguientes estudios:

Ramírez (2011) realizó un cálculo de las emisiones de GEI en una unidad habitacional militar tipo de la Zona Metropolitana del Valle de México, empleando la metodología de GHG Protocol para la elaboración de inventarios de emisiones con información real y actualizada para la elaboración de inventarios en unidades, dependencias e instalaciones del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos. Como resultado de su estudio, se obtuvo como principal fuente emisiones el consumo de energía eléctrica, siendo consistente con los balances energéticos realizados por la Secretaría de Energía.

Medina (2007) realizó un análisis del ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción de vivienda masiva en Yucatán, México. Como resultados obtuvo una

contribución de 5.37 ton de CO<sub>2</sub> por vivienda, identificando el cemento y sus productos como la fuente principal de emisión de contaminantes.

May (2012) realizó una evaluación de la sustentabilidad de los desarrollos tradicionales en la ciudad de Mérida, Yucatán, México, para determinar el grado de sustentabilidad que alcanza la construcción en esta localidad. Los indicadores fueron obtenidos de cuatro criterios de evaluación: la Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco (España), el Código para Hogares Sustentables (Reino Unido), Criterios e Indicadores para los Desarrollos Habitacionales Sostenibles (México) y el Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables (México). Los resultados indicaron que el grado de sustentabilidad se encontró por debajo del 50%, y fue considerado como bajo con respecto a otros proyectos nacionales e internacionales.

Finalmente, Ramírez (2013) evaluó el nivel de sustentabilidad en viviendas de interés social en Mérida, Yucatán, México, con base en el Manual para el Diseño de Desarrollos Habitacionales Sustentables (DUIS), Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (GPEDUIS) y la Guía CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda), obteniendo niveles de sustentabilidad por debajo de las tres guías comparadas.

Podemos observar, con base en los estudios mencionados anteriormente, que las etapas con mayor generación de emisiones de gases de efecto invernadero fueron las referentes al uso de la edificación, debido al consumo energético, y la etapa de construcción, relacionada a la producción de los materiales empleados.

Sin embargo algunos autores, como Xiaodong et al (2009), coinciden con que existen pocos estudios relacionados con el tema, y los encontrados abarcan la huella de carbono basados en el análisis parcial del ciclo de vida. Además, en nuestro entorno regional los estudios han sido realizados en un contexto distinto a esta investigación, pues la generación de emisiones de GEI es sólo uno de los puntos evaluados sin ser el eje central de los estudios.

## **2.5. Herramientas de cómputo para el análisis de emisiones de gases de efecto invernadero**

Según Salt-Jauregui (2011), el último informe de Groom Energy notifica que el mercado para software relacionado con el carbono se ha triplicado en 2011 y revela que el mayor condicionante ya no es la legislación sino la demanda de información de clientes e inversores. Aunque el mercado de software medioambiental todavía está madurando existe una amplia gama de productos que hace difícil la elección del software más conveniente para una empresa o producto determinado.

El IHOBE, en su documento Análisis del Ciclo de Vida y Huella de Carbono, presenta una tabla con las principales herramientas existentes hoy en día para la estimación de los GEI (ver Tabla 2.5).

## **2.6. Análisis del ciclo de vida de la vivienda**

Es pertinente una revisión más a fondo acerca de las consideraciones relacionadas al análisis del ciclo de vida de una vivienda como un producto, esto debido a que la Norma ISO 14067:2013 relacionada con la Huella de Carbono en Productos precisa el uso de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida para la obtención de la huella de carbono.

El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida, basado en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener como resultados los impactos ambientales potenciales, con el objetivo de determinar estrategias para la reducción de los mismos. Los elementos que se consideran dentro de las entradas son el uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada etapa del sistema; mientras que como parte de las salidas se consideran las emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se consideran en cada etapa del sistema. La forma en la que se recopilan y cuantifican estas entradas y salidas se conoce como inventario del ciclo de vida (IHOBE, 2009).

La Norma ISO 14040:2006 “Gestión Ambiental – Análisis del Ciclo de Vida – Principios y Marco de Referencia” distingue cuatro fases para el estudio del Análisis del Ciclo de Vida:

1. Definición de objetivo y alcance
2. Análisis del inventario
3. Evaluación del impacto
4. Interpretación del ciclo de vida

En las siguientes secciones se presenta un resumen con cada una de las fases para el estudio del Análisis del Ciclo de Vida.

#### 2.6.1. Definición de objetivos y alcance

En esta fase se determina el tema del estudio y los motivos que llevan a realizarlo, se define la unidad funcional y se establecen los límites del sistema que determinan los procesos unitarios a incluirse dentro del análisis (Antón, 2004).

El objetivo y alcance del estudio deben definirse claramente y ser consistentes con la aplicación que se persigue. En esta fase se concreta el motivo por el que se lleva a cabo el estudio y se describe el sistema objeto del mismo, así como la utilización prevista de los resultados (Aranda et al., 2006).

La unidad funcional describe la función del sistema analizado, ya que un análisis del ciclo de vida no sirve para comparar productos entre sí sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a la misma función (Antón, 2004). La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

Tabla 2.5 Principales herramientas para la estimación de GEI

Entidad	Descripción	Mide emisiones de
PE International	<p>La consultora PE International trabaja en torno a la huella de carbono en dos vertientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Huella de Carbono de corporaciones</u>: la metodología utilizada para estimación de la huella se basa en el ACV, trabajando de acuerdo con lo establecido en los protocolos existentes, tales como el Protocolo GHG, la ISO 14064 y la PAS 2050. Los factores de emisión para las operaciones indirectas hacen referencia a la Base de Datos del Ciclo de Vida de la UE. El <i>software SoFi</i> es la solución ofrecida e integra la huella de carbono de las organizaciones y su cadena de suministro.</li> <li>• <u>Huella de Carbono de producto</u>: el ACV de acuerdo a la ISO 14044 (cubierto también por la PAS 2050) es la metodología elegida para la determinación de la huella de carbono de un producto. El <i>software GaBi</i> es la solución técnica ofrecida. Los datos primarios específicos correspondientes al análisis de la propia compañía, y pueden combinarse con datos acerca de emisiones GEI recogidas en la base de datos de GaBi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organización</li> <li>• Proyectos</li> <li>• Actividades</li> <li>• Productos</li> </ul>
Autodesk	<p>El asistente para materiales sostenibles de Autodesk Inventor ayuda en la toma de decisiones para la selección de materiales que pueden reducir el impacto ambiental producido por un producto.</p> <p>El asistente ofrece amplios inventarios de materiales con campos en los que añadir propiedades de sostenibilidad y materiales usados habitualmente, e informes de sostenibilidad para analizar y documentar el impacto ambiental de los materiales seleccionados, posibilitando el cálculo de la huella de carbono del diseño completo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos</li> </ul>
Carbon Footprint	<p>Recoge una serie de herramientas para el cálculo de las emisiones asociadas con diferentes actividades de negocios y domésticas.</p> <p>Los cálculos de las emisiones primarias se basan en factores de conversión tratadas por diferentes instituciones, como el Ministerio de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido, la EPA norteamericana, etc.</p> <p>Los cálculos de las emisiones secundarias se basan en estimaciones desarrolladas por la propia empresa para ilustrar así el impacto en el medio ambiente de las actividades diarias.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organización</li> <li>• Proyectos</li> <li>• Actividades</li> <li>• Productos</li> </ul>

Fuente: IHOBE (2009)

Debido a la naturaleza global de un análisis del ciclo de vida, es necesario identificar perfectamente los límites del sistema, para determinar qué procesos unitarios se deben incluir en el análisis. Los límites son determinados por varios factores, como la aplicación prevista del estudio, los criterios de exclusión, los datos y las limitaciones económicas y el destinatario previsto, entre otros (Antón, 2004).

## 2.6.2. Análisis del inventario

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional, esto es la elaboración del inventario (Antón, 2004).

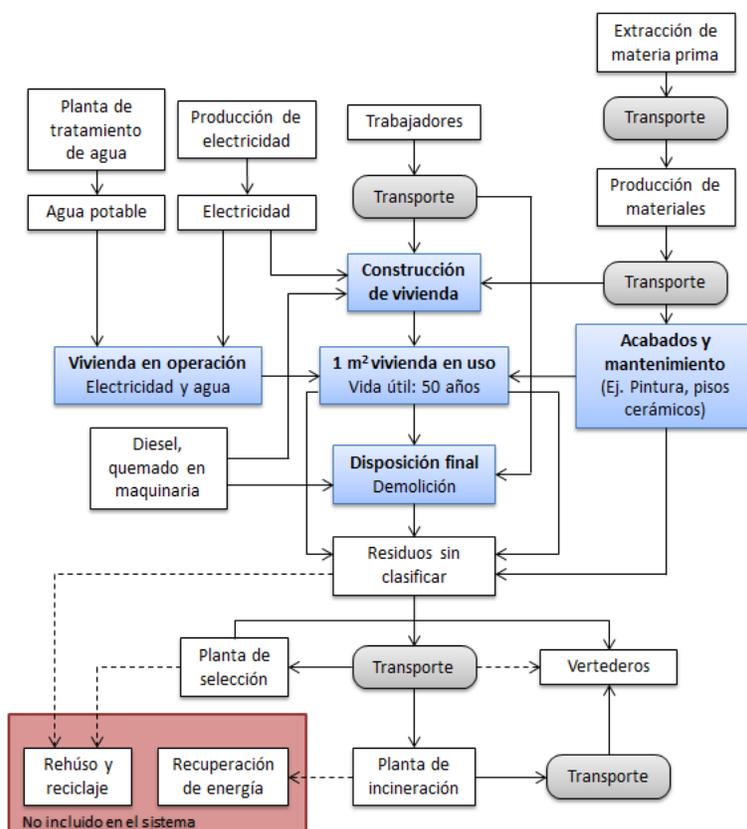
Con base en los lineamientos definidos en la fase anterior, se elabora un diagrama de flujo donde se grafica el proceso analizado, y en cada paso se visualizan las entradas y salidas, las cuales pueden incluir el uso de recursos y descargas al aire, al agua y al suelo asociados con el sistema (Antón, 2004). En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de diagrama de flujo para la unidad funcional y los límites del sistema.

Tomando como referencia el diagrama de flujo del sistema se realiza la recolección de la información necesaria para la cuantificación de inventarios en cada una de las etapas del ciclo de vida. Bayer et al (2010) especifican que cada producto o proceso pasa por varias fases o etapas durante su vida útil. En el caso de las edificaciones, estas etapas quedan definidas como: manufactura de los materiales, construcción, uso y mantenimiento, y disposición final.

1. **Manufactura de los materiales:** en esta etapa se incluye la extracción de la materia prima, el transporte de la misma a lugar de manufactura, la fabricación del producto, y su posterior empaque y distribución.
2. **Construcción:** en esta etapa se cuentan las actividades relacionadas con la construcción del proyecto de edificación. Las actividades que suelen incluirse en esta etapa son la transportación de los materiales al lugar de la construcción, el uso de equipo durante la construcción, y la energía empleada en el sitio de los trabajos.

También se pueden incluir impactos permanentes al sitio que sean generados durante esta etapa.

3. **Uso y mantenimiento:** esta etapa se refiere a la operación del edificio, que incluye el consumo de energía, el uso de agua y la generación de desperdicios medio ambientales. También se suelen incluir las reparaciones que se realizan a la edificación, así como el transporte y equipos empleados para las reparaciones.
4. **Disposición final:** en esta etapa se incluye la energía y los desechos generados durante la demolición y disposición final de los materiales a los vertederos correspondientes, así como el transporte del material mencionado. Las actividades de reciclaje y rehúso relacionadas se incluyen en esta etapa, las cuales se deben considerar como un impacto negativo.



Traducido de Dahlstrom, 2011

Figura 2.5 Ejemplo de diagrama de flujo para la unidad funcional y los límites del sistema

### 2.6.3. Evaluación del impacto

En esta fase se incluye la selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos para la evaluación. También se realiza la clasificación, en la que se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado, y la caracterización que consiste en la modelización de los datos del inventario para cada una de las categorías clasificadas (Antón, 2004).

Existen diversas categorías de impacto ambiental a considerar, y su selección dependerá del objetivo del estudio y el nivel de exactitud de los resultados requeridos. En la Tabla 2.6 se muestra a modo de ejemplo algunos factores de caracterización relativos a la categoría de Calentamiento Global, y en la Tabla 2.7 se indican las principales categorías de impacto ambiental contempladas por la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental.

Tabla 2.6 Potencial del Calentamiento Global a 100 años de los principales gases de efecto invernadero según metodologías IPCC 2007 y Ecoindicador 95

<b>Factores de Caracterización para la categoría de Calentamiento Global</b>			
<b>Sustancia</b>		<b>Factor de Caracterización – Kg. eq CO<sub>2</sub></b>	
		<b>IPCC 2007</b>	<b>Ecoindicador 95</b>
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	21	11
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298	270
Hidrofluorocarbonos	CFCs	124-14,800	100-13,000
Hexafloruro de azufre	SF <sub>6</sub>	22,800	-

Fuente: IHOBE (2009)

### 2.6.4. Interpretación del ciclo de vida

Finalmente, esta fase permite determinar en qué etapa del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y, por tanto, qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse (Antón, 2004). También se realiza un análisis de los resultados y se elaboran las conclusiones.

Tabla 2.7 Principales categorías de impacto ambiental contempladas por la Sociedad Toxicológica y Química Ambiental

<b>Categorías de impacto ambiental</b>		<b>Unidad de referencia</b>	<b>Factor de caracterización</b>
Calentamiento Global	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.	Kg. eq CO <sub>2</sub>	Potencial de Calentamiento Global
Consumo de Recursos Energéticos	Energía consumida en la obtención de las materiales primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad Consumida
Reducción de la Capa de Ozono	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kg. eq CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono
Eutrofización	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	Kg. eq de NO <sub>3</sub>	Potencial de Eutrofización
Acidificación	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.	Kg. eq SO <sub>3</sub>	Potencial de Acidificación
Consumo de Materias Primas	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad Consumida
Formación de Oxidantes Fotoquímicos	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O <sub>3</sub> es el más importante por su abundancia y toxicidad).	Kg. eq C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos

Fuente: IHOBE (2009)

## 2.7. Conclusiones de la revisión bibliográfica

Finalmente, de la revisión bibliográfica se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero se ha ido acrecentando desde la Revolución Industrial, y según pronósticos y proyecciones continuará en aumento. México, aunque no está incluido en el Anexo I del Protocolo de Kyoto y no tiene restricciones vinculantes en la emisión de gases de efecto invernadero, ocupa el lugar número 13 entre los 25 mayores emisores del mundo.
2. Las emisiones de gases de efecto invernadero tienen diversos efectos, tanto ambientales, económicos y en la salud a nivel mundial. Entre los efectos ambientales podemos mencionar el aumento de la temperatura promedio mundial, el aumento de los niveles del mar, el derretimiento de los polos y el aumento de precipitaciones. Lo anterior influye en determinantes sociales y medioambientales de la salud, tales como el aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura.
3. Existen diversas normativas, como los estándares ISO, que proporcionan principios generales, terminologías y aspectos a considerarse para cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero mediante la obtención de la huella de carbono, tanto de productos como de servicios.
4. Los estudios encontrados, sobre el análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero y la obtención de la huella de carbono en la construcción, concluyeron en su mayoría que las etapas con mayor generación de emisiones de gases de efecto invernadero fueron las referentes al uso de la edificación, debido al consumo energético, y la etapa de construcción, relacionada con la producción de los materiales empleados. Sin embargo algunos autores coinciden con que existen pocos estudios relacionados con el tema, y los encontrados abarcan la huella de carbono basados en el análisis parcial del ciclo de vida.
5. Finalmente, con base en lo anterior, podemos concluir que la pertinencia de la obtención de la huella de carbono en desarrollos habitacionales de Yucatán radica en la importancia de la cuantificación y posterior puesta en marcha de planes para la

reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disponibilidad de metodologías y herramientas para el análisis de las emisiones en desarrollos habitacionales, y la falta de estudios sobre el tema en nuestro medio.

## **3. METODOLOGÍA**

En este capítulo se establece la metodología que se empleó para la realización de esta investigación.

### **3.1. Tipo, alcance y diseño de la investigación**

Este estudio tuvo un enfoque cuantitativo, ya que principalmente se enfocó en la medición de una variable continua: la cantidad de emisiones de GEI. El alcance fue descriptivo, pues buscó especificar propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno que se analizó, el cual fue en este estudio, la generación de emisiones de GEI durante el ciclo de vida de la vivienda que se construye comúnmente en Mérida, Yucatán. De acuerdo con Hernández et al. (2010), el diseño de la investigación se consideró no experimental transeccional, ya que se realizó sin la manipulación deliberada de variables (no experimental), y los datos se recopilaron en un único momento (transeccional o transversal).

También es importante aclarar que debido a la extensión y profundidad con la que se midió la generación de emisiones en cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda, la investigación consistió en estudios de caso.

### **3.2. Unidad de análisis y población**

En esta investigación la unidad de análisis fue el ciclo de vida de una vivienda con características de las que de manera común se construyen actualmente en Mérida, Yucatán. Específicamente, esto se refiere a las viviendas construidas con muros de block hueco de concreto y losa de vigueta y bovedilla. El estudio de caso está conformado por viviendas asociadas a tres diferentes niveles socioeconómicos: vivienda tradicional, vivienda media, y vivienda residencial plus (de acuerdo a la clasificación del CONAVI, 2010, definida en la Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Clasificación de vivienda por precio promedio de acuerdo al Código de Edificación de Vivienda CONAVI 2010

<b>Clasificación</b>	<b>Superficie construida</b>	<b>Superficie construida promedio</b>	<b>Veces Salario Mínimo Mensual del D.F. (VSMMDF)</b>	<b>Número de cuartos</b>
<i>Económica</i>	20-40 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	Hasta 118	Baño, cocina, área de usos múltiples.
<i>Popular</i>	40-45 m <sup>2</sup>	42.5 m <sup>2</sup>	De 118.1 a 200	Baño, cocina, estancia-comedor, 1 a 2 recámaras.
<i>Tradicional</i>	45-80 m <sup>2</sup>	62.5 m <sup>2</sup>	De 200.1 a 350	Baño, cocina, estancia-comedor, 2 a 3 recámaras.
<i>Media</i>	80-115 m <sup>2</sup>	97.5 m <sup>2</sup>	De 350.1 a 750	Baño, 1/2 baño, cocina, sala, comedor, 2 a 3 recámaras, cuarto de servicio.
<i>Residencial</i>	115-175 m <sup>2</sup>	145 m <sup>2</sup>	De 750.1 a 1,500	De 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, 3 a 4 recámaras, cuarto de servicio, estancia familiar.
<i>Residencial plus</i>	175-275 m <sup>2</sup>	225 m <sup>2</sup>	Mayor de 1,500	De 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, 3 o más recámaras, 1 a 2 cuartos de servicio, estancia familiar.

Fuente: CONAVI, 2010

Consecutivamente, se identificó al subgrupo de la población de interés en el que se seleccionaron las viviendas de donde se recolectaron los datos (Hernández et al., 2010). En esta investigación, la población incluyó al grupo de viviendas construidas a base de muro de block hueco y losa de vigueta y bovedilla, que se ubican en los complejos habitacionales de la ciudad de Mérida, Yucatán. Un requisito especial que debieron cumplir las viviendas estudiadas es que el complejo del cual formaran parte debería incluir una etapa que se encontrara en plena etapa de uso (viviendas habitadas), al mismo tiempo que tuviera una etapa que se encontrara aún en proceso de construcción. Esto permitiría medir las emisiones de GEI durante la etapa de construcción de las viviendas, además de obtener información de los mismos habitantes que ya estuvieran habitando viviendas similares, con el fin de estimar las emisiones generadas durante su uso.

### 3.3. Procedimientos del estudio

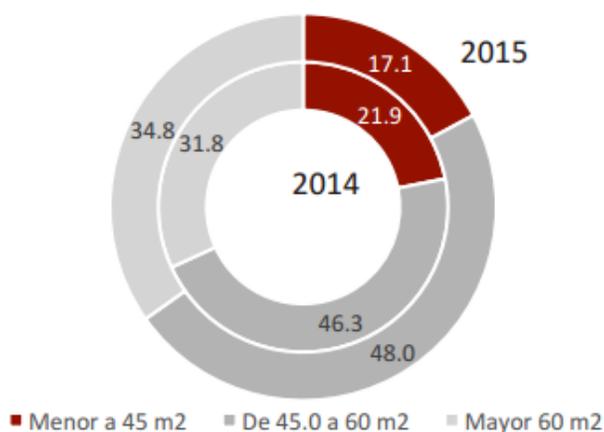
La metodología de este trabajo de investigación comprendió dos partes principales: la primera corresponde a las actividades relacionadas con la selección de las viviendas que se estudiaron; mientras que la segunda parte se refiere al análisis del ciclo de vida de las viviendas (basado en la Norma ISO 14067:2013). A continuación se presentan las actividades que integraron el proceso metodológico en esta investigación, las cuales se describen en los apartados siguientes:

1. Selección de viviendas para el estudio de caso
2. Análisis del ciclo de vida
  - A. Objetivo y alcance de la cuantificación
    - A1. Definición de objetivo y alcance
    - A2. Definición de unidad funcional
    - A3. Definición de los límites del sistema
  - B. Análisis del inventario del ciclo de vida para la huella de carbono
    - B1. Construcción del diagrama de procesos
    - B2. Recolección de datos para cada etapa
    - B3. Procesamiento de los datos
  - C. Evaluación del impacto del ciclo de vida y obtención de la huella de carbono
    - C1. Selección de categorías, clasificación y caracterización
    - C2. Obtención de la huella de carbono
  - D. Interpretación del ciclo de vida

### 3.3.1. Selección de viviendas para los estudios de caso

Para la realización de este estudio se consideraron tres estudios de caso, cada uno enfocado en el estudio de una categoría de vivienda: tradicional, media, y residencial plus.

Se decidió trabajar con estas tres categorías de vivienda (tradicional, media y residencial plus) ya que de acuerdo con el reporte mensual del sector vivienda emitido por CONAVI en octubre de 2015 (SEDATU-CONAVI, 2015), éstas se encontraron dentro de los tipos de vivienda más ofertados a nivel nacional durante el año 2015 (ver Figura 3.1).



Fuente: SEDATU-CONAVI, 2015

Figura 3.1 Porcentaje de registro de vivienda (en base a su superficie) más ofertada a nivel nacional en el año 2015, según el reporte mensual del sector vivienda emitido por CONAVI en octubre de 2015

El proceso de selección de las viviendas para los estudios de caso se inició con una preselección de los complejos habitacionales que serían apropiados para los propósitos de esta investigación. Se realizó un análisis con los proyectos preseleccionados, en el que se consideraron aspectos tales como su ubicación, los tipos de viviendas ofertadas en cada complejo, y los métodos constructivos utilizados. Tal como se mencionó con anterioridad, un requisito indispensable para elegir las viviendas fue que el complejo del cual formarían parte debería incluir tanto viviendas en uso (habitadas) como viviendas en proceso de construcción.

Todos los complejos habitacionales preseleccionados cumplieron con el criterio de ubicarse en Mérida, Yucatán; sin embargo, algunos de estos complejos fueron descartados por tratarse de construcciones a base de prefabricados, lo cual aún no es considerado un método de construcción comúnmente utilizado en la región.

Posteriormente, se contactó con los constructores de los complejos seleccionados que cumplieran con las características mencionadas, con el fin de invitarlos a participar en esta investigación. Finalmente, se eligieron las viviendas que conforman los tres estudios de caso que cumplieran con las características antes mencionadas y cuyos constructores aceptaran participar en este estudio.

Los resultados del proceso de selección de los casos de estudio, así como los detalles de las viviendas elegidas se presentan en el Capítulo 4 de este documento, que presenta los resultados de la investigación.

### 3.3.2. Análisis del ciclo de vida

Como parte del objetivo 1 de esta investigación se realizó la obtención de la huella de carbono de cada una de las viviendas seleccionadas como estudio de caso. La metodología para su obtención se formuló con base en la Norma ISO/DIS 14067:2013 “Gases de Efecto Invernadero – Huella de Carbono de Productos – Requerimientos y Lineamientos para su Cuantificación y Comunicación”. Esta norma proporciona directrices sobre la metodología que se debe seguir cuando se trata de evaluar las emisiones de GEI en el ciclo de vida de un producto. Para los propósitos de esta investigación se consideró a la vivienda como el producto a evaluar. En base a esta norma, el análisis incluyó las siguientes actividades:

#### A. Definición del objetivo y alcance de la cuantificación

##### A1. Definición de objetivo y alcance del estudio

El objetivo fundamental de llevar a cabo este estudio de huella de carbono fue calcular la contribución potencial que un producto tiene en el calentamiento global, expresado en

CO<sub>2</sub>e, mediante la cuantificación de las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un producto.

Para la elaboración del análisis del ciclo de vida se consideraron cinco etapas en el ciclo de vida de la vivienda como un producto (ilustradas en la Figura 3.2): 1) extracción de materia prima, 2) producción de insumos, 3) construcción de la vivienda, 4) operación y uso de la vivienda, y 5) disposición final de la vivienda.



Figura 3.2 Etapas del ciclo de vida de la vivienda como un producto

El alcance de este análisis se definió de manera consistente con los objetivos que guían esta investigación. Se definió también la vivienda como el producto que se estudió, su sistema y sus funciones, los requisitos en la calidad de los datos, el límite de tiempo de los datos, los supuestos que se consideraron para el análisis, y las limitaciones del estudio.

#### A2. Definición de la unidad funcional y el flujo de referencia

Según la Norma ISO/DIS 14067 (2013), el estudio de la huella de carbono debe especificar claramente las funciones que conforman el sistema del producto estudiado, en este caso la vivienda. La unidad funcional definida cumplió con proporcionar una referencia para las entradas y salidas de los procesos del sistema, y fue claramente definida y medible. Habiendo elegido la unidad funcional, se definió el flujo de referencia.

### A3. Definición de los límites del sistema

Un producto tan complejo, como lo es una vivienda, engloba una cantidad innumerable de aspectos a considerar durante su vida útil, estimada en 50 años. Por este motivo fue necesario definir claramente los límites del sistema que se analizó, los cuales determinaron cuáles fueron los procesos unitarios que se incluyeron en el análisis de la huella de carbono de la vivienda (véase Tabla 3.2), especificando el nivel de detalle con el que se estudiaron los procesos unitarios, así como sus entradas y salidas.

Tabla 3.2 Límites del sistema analizado en cada etapa de la vivienda

<b>Etapas</b>	<b>Se incluye en el sistema</b>	<b>No se incluye en el sistema</b>
Extracción de materia prima	Materia prima para producción de los 10 materiales más usados Maquinaria empleada	Materia prima para producción de materiales menos usados Fabricación de maquinaria Trabajadores
Producción de insumos	Producción de los 10 materiales más usados Transporte de materia prima Maquinaria empleada	Producción de materiales menos usados Fabricación de maquinaria Trabajadores
Construcción	10 materiales más usados Transporte de materiales Transporte de trabajadores Maquinaria empleada	Materiales menos usados Fabricación de maquinaria Trabajadores Transporte de maquinaria Aspectos exteriores, como urbanización
Operación y uso	Uso de electricidad Mantenimiento sugerido por el constructor Trasporte de desechos	Ampliaciones Trabajadores de mantenimiento Mantenimiento ocasional Consumible de los ocupantes Reciclaje
Disposición final	Maquinaria empleada Transporte de material reusable Transporte de material no reusable	Reciclaje

## B. Análisis del inventario del ciclo de vida para la huella de carbono

Según dicta la Norma ISO/DIS 14067(2013), el análisis del inventario implica la compilación y cuantificación de las entradas y salidas del producto durante su ciclo de vida, y comprendió las actividades que se especifican a continuación.

### B1. Construcción del diagrama de procesos

Para facilitar la comprensión del sistema del producto y el proceso de recolección de datos, se elaboró un diagrama de procesos, el cual consiste en un diagrama de flujo que muestra los procesos unitarios que conforman el sistema del producto analizado, en este caso la vivienda. Para su realización se consideraron las definiciones realizadas con anterioridad, como son el objetivo y alcance del estudio, la unidad funcional y los límites del sistema a lo largo de las cinco etapas del ciclo de vida de la vivienda definidas.

### B2. Recolección de datos para cada etapa del ciclo de vida

Se recolectaron datos para todos los procesos unitarios que se incluyeron en los límites del sistema definido, y se utilizaron para cuantificar las entradas y salidas de cada proceso unitario.

La recolección de datos se realizó a través de diversas consultas con distintas fuentes según el tipo de dato requerido en cada una de las etapas, tal como se resume en la Tabla 3.3, y en base a estos datos recolectados se calcularon las emisiones generadas.

En las siguientes secciones se presenta un resumen del procedimiento de recolección de datos para cada una de las etapas consideradas en el ciclo de vida del producto analizado, el cual para esta investigación es la vivienda.

Tabla 3.3 Fuentes de los datos requeridos en cada etapa del ciclo de vida de la vivienda

<b>Etapas analizadas</b>	<b>Datos requeridos</b>	<b>Fuente de los datos</b>
Extracción de materia prima	Tipo de fuente de energía utilizada y cantidad requerida para la extracción de material prima empleada en la producción de cada material analizado.	Proveedores de materiales
Producción de insumos	<p>Combustible empleado para transporte de materia prima a centros de producción y distancias entre sitios de extracción y plantas de manufactura de cada material analizado.</p> <p>Tipo de fuente de energía utilizada y cantidad requerida para la producción de cada material analizado.</p>	Proveedores de materiales y de transporte
Construcción	Combustible empleado para transporte de material al lugar de la obra y distancias entre plantas de manufactura y lugar de la construcción para cada material analizado.	Proveedores de materiales y de transporte
	<p>Combustible empleado para transporte de trabajadores al lugar de la obra y distancias entre el sitio de origen y el lugar de la construcción.</p> <p>Combustible y tiempo empleado por la maquinaria que se usa en el proceso constructivo de cada vivienda analizada.</p> <p>Estimación de desechos generados durante el proceso constructivo para cada una de las viviendas analizadas.</p>	Constructores de los complejos y proveedores de maquinaria de construcción
Uso y mantenimiento	Estimación de consumo anual de energía eléctrica, mantenimiento, modificaciones y desechos promedio para cada vivienda analizada.	Dueños de las viviendas habitadas
Disposición final	<p>Combustible y tiempo empleado por la maquinaria que se usaría en la demolición de cada vivienda analizada.</p> <p>Combustible empleado para el transporte de escombros producto de la demolición y distancias entre el lugar de la obra y el sitio de disposición final.</p>	Constructores de los complejos y otros constructores

- Etapa 1: extracción de materia prima

Para la recolección de datos en las dos primeras etapas del ciclo de vida de la vivienda se acudió con los constructores de las viviendas analizadas, con ayuda de los cuales se realizó una selección de materiales empleados en la construcción de las viviendas, los cuales serían los analizados en este estudio y se presentan en la sección de Resultados de este documento. Debido al tiempo limitado para la realización de este trabajo, la lista de materiales analizados fue reducida a los diez que más se emplean en la construcción de las viviendas, los cuales representan aproximadamente un 80% del volumen total de material empleado para cada vivienda. Posteriormente, se contactó con los proveedores de los materiales seleccionados en busca de información sobre la materia prima empleada en su elaboración. En la Tabla 3.4 se presenta el formato empleado para la recolección de datos en esta etapa, el cual fue aplicado para cada uno de los materiales analizados.

Tabla 3.4 Formato de recolección de datos para etapa de Extracción de materia prima

<b>Material relacionado:</b>	<i>(material analizado)</i>	
<b>Materia prima:</b>	<i>(materia prima empleada para la producción del material analizado)</i>	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	<i>(cantidad de materia prima necesaria para la producción de una unidad de material analizado)</i>	
<b>Proceso de extracción:</b>	<i>(resumen del proceso de extracción de la materia prima)</i>	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
<i>(equipo 1)</i>	<i>(tipo de energía/combustible y consumo por unidad de tiempo de equipo 1)</i>	<i>(productividad de equipo 1 por unidad de tiempo)</i>
<i>(equipo 2)</i>	<i>(información equipo 2)</i>	<i>(información equipo 2)</i>
<i>(equipo 3)</i>	<i>(información equipo 3)</i>	<i>(información equipo 3)</i>

- Etapa 2: producción de insumos

La recolección de datos en la etapa de producción de insumos fue realizada de forma simultánea con la etapa de extracción de materia prima, partiendo del mismo procedimiento de acudir con los constructores y seleccionar los materiales que se analizarían. Se acudieron a las mismas fuentes que en la etapa anterior, donde cada

proveedor proporcionó información tanto de la materia prima como de la producción del material analizado, y los datos obtenidos fueron concentrados en distintos formatos según el material analizado y la etapa en cuestión. En la Tabla 3.5 se presenta el formato empleado para la recolección de datos en la etapa de producción de insumos, el cual fue aplicado para cada uno de los materiales analizados.

Tabla 3.5 Formato de recolección de datos para etapa de Producción de insumos

<b>Material:</b>	<i>(material analizado)</i>	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	<i>(distancia en km)</i>	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	<i>(tipo de transporte, capacidad de carga, tipo y consumo de combustible)</i>	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	<i>(tipo de transporte, capacidad de carga, tipo y consumo de combustible)</i>	
<b>Capacidad de la planta:</b>	<i>(capacidad de producción del material analizado)</i>	
<b>Proceso de producción:</b>	<i>(resumen del proceso de producción del material analizado)</i>	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
<i>(equipo 1)</i>	<i>(tipo de energía/combustible y consumo por unidad de tiempo de equipo 1)</i>	<i>(productividad de equipo 1 por unidad de tiempo)</i>
<i>(equipo 2)</i>	<i>(información equipo 2)</i>	<i>(información equipo 2)</i>
<i>(equipo 3)</i>	<i>(información equipo 3)</i>	<i>(información equipo 3)</i>

- Etapa 3: construcción

Los datos de la etapa de construcción de la vivienda fueron proporcionados por los constructores de las viviendas seleccionadas. Para el proceso de recolección en esta etapa se acudió a cada complejo habitacional de cada vivienda seleccionada, donde los constructores permitieron visitas a los sitios de construcción y entrevistas a contratistas, residentes y encargados de control de obra. La información obtenida para esta etapa fue concentrada en el formato presentado en la Tabla 3.5, el cual fue aplicado para cada una de las viviendas seleccionadas.

Tabla 3.6 Formato de recolección de datos para etapa de Construcción

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	<i>(tipo de vivienda según Código de Edificación de Vivienda CONAVI 2010, véase Tabla 3.1)</i>
<b>Superficie de terreno:</b>	<i>(superficie del terreno en metros cuadrados)</i>
<b>Superficie construida:</b>	<i>(superficie construida en metros cuadrados)</i>
<b>Lugar de la obra:</b>	<i>(ubicación del sitio de construcción)</i>
<b>Distancia de transporte de trabajadores:</b>	<i>(distancia en km)</i>
<b>Transporte empleado para trabajadores:</b>	<i>(tipo de transporte, periodicidad de viajes a obra y rendimiento de combustible)</i>
<b>Cantidad promedio de empleados:</b>	<i>(número de trabajadores)</i>
<b>Tiempo estimado de obra negra:</b>	<i>(tiempo estimado de obra negra por vivienda)</i>
<b>Maquinaria empleada en la construcción:</b>	<i>equipo 1 (tiempo de uso y combustible) equipo 2 (tiempo de uso y combustible)</i>
<b>Desechos generados durante la construcción:</b>	<i>tipo de desecho 1 (cantidad generada en obra) tipo de desecho 1 (cantidad generada en obra)</i>

- Etapa 4: operación y uso

Para la etapa de operación y uso de la vivienda se acudió con los constructores de las viviendas y con algunos habitantes de las viviendas ya terminadas. El proceso de recolección de datos para esta etapa se dividió en dos partes, según la fuente consultada.

En la primera parte se acudió con los administradores de cada complejo habitacional para la realización de entrevistas entre los habitantes de las viviendas, ya que un requerimiento de selección fue que el tipo de vivienda contara con viviendas tanto en construcción como en uso. Una vez obtenido el permiso correspondiente, se procedió a entrevistar a los habitantes de las viviendas que accedieron a participar en el estudio, donde se obtuvo información sobre la operación de la vivienda. En la Tabla 3.7 se presenta el formato empleado para las entrevistas aplicadas a los habitantes de las viviendas.

La segunda parte de la recolección de datos para esta etapa fue la referente al mantenimiento de las viviendas, los cuales fueron recopilados según las recomendaciones de los constructores de las viviendas seleccionadas.

Finalmente, los datos obtenidos para esta etapa fueron concentraron en el formato que se muestra en la Tabla 3.8, el cual fue aplicado para cada tipo de vivienda analizada.

Tabla 3.7 Formato de entrevista para habitantes de las viviendas

<b>VIVIENDA No. <u>01</u></b>		<b>CLASIFICACIÓN:</b> _____	
<b>Información general</b>			
Número de personas que habitan la vivienda:			
Tiempo que lleva habitando la vivienda:			
Propietarios de la vivienda o rentan:			
Áreas verdes en la vivienda:			
<b>Trabajos realizados a la vivienda</b>			
Ampliaciones a la vivienda original:			
Otras mejoras/trabajos en la vivienda:			
Mantenimiento realizado en la vivienda y periodos en los que se realiza:			
Concepto	Periodo		
Croquis de la vivienda actual:			
<b>Consumo energético</b>			
Equipo	Potencia	Horas de uso por día	Días de uso por año
<b>Desechos</b>			
Periodos de recolección de basura:			
Cantidad de bolsas de basura generadas por recolección:			
Otros desechos producidos:			

Tabla 3.8 Formato de recolección de datos para etapa de Operación y uso

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	<i>(tipo de vivienda según Código de Edificación de Vivienda CONAVI 2010, véase Tabla 3.1)</i>
<b>Habitantes entrevistados:</b>	<i>(número de personas entrevistadas por tipo de vivienda)</i>
<b>Aparatos eléctricos promedio:</b>	<i>aparato eléctrico 1 (promedio) aparato eléctrico 2 (promedio) aparato eléctrico 3 (promedio)</i>
<b>Basura generada:</b>	<i>(cantidad de bolsas de basura generadas por periodo)</i>
<b>Mantenimiento recomendado por el constructor:</b>	<i>(trabajos y periodicidad de realización según recomendaciones de los constructores)</i>

- Etapa 5: disposición final

Finalmente, la recolección de datos de la etapa de disposición final se realizó de forma simultánea con la de construcción, los datos fueron proporcionados por los constructores de las viviendas y fueron concentrados en el formato correspondiente a esta etapa, el cual es presentado en la Tabla 3.9 y fue aplicado para cada una de las viviendas analizadas en esta etapa.

Tabla 3.9 Formato de recolección de datos para etapa de Disposición final

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	<i>(tipo de vivienda según Código de Edificación de Vivienda CONAVI 2010, véase Tabla 3.1)</i>
<b>Disposición final de vivienda:</b>	<i>(forma de disposición final de la vivienda, ej. demolición)</i>
<b>Maquinaria empleada:</b>	<i>equipo (tiempo y combustible empleado)</i>
<b>Escombros generados:</b>	<i>(cantidad de escombros generados, especificando porcentaje de desecho y de reuso)</i>
<b>Disposición de escombros reusables:</b>	<i>(distancia de transporte de escombros reusables)</i>
<b>Disposición de escombros no reusables:</b>	<i>(distancia de transporte de escombros no reusables)</i>

### B3. Procesamiento de los datos

En esta actividad se incluyen los procedimientos de cálculo necesarios para cuantificar las emisiones generadas en el sistema planteado para el producto a partir de la recolección de datos para cada vivienda.

Durante este proceso se realizó un análisis de sensibilidad del sistema, con el cual fue posible excluir procesos unitarios, entradas o salidas planteados inicialmente, si estos

carecieron de importancia para los resultados esperados; también fue posible la inclusión de nuevos procesos unitarios, entradas y salidas.

Como resultado de esta actividad se obtuvieron, de las distintas fuentes consultadas, la cantidad de emisiones de GEI generadas durante cada una de las etapas del ciclo de vida para cada estudio de caso. Debido a que cada una de las fuentes proporcionó datos para distintas etapas, la información obtenida debió ser organizada en su etapa del ciclo de vida correspondiente, así como realizar diversos cálculos para la transformación de unidades. Finalmente, se realizaron las operaciones pertinentes para obtener la cantidad de emisiones de GEI generadas en cada proceso del sistema analizado, en función de la fuente de energía que se emplea en cada uno.

En esta sección se incluyen también las cuantificaciones realizadas para las tres viviendas analizadas, en base a los planos y especificaciones proporcionadas por los constructores, con el propósito de estimar la cantidad de material requerido para cada uno de los estudios de caso.

### C. Evaluación del impacto del ciclo de vida y obtención de la huella de carbono

En la evaluación del impacto del análisis del ciclo de vida se calcula el potencial impacto de las emisiones de GEI emitidas en el cambio climático. Esto, según define la Norma ISO/DIS 14067 (2013), se realiza multiplicando la masa de GEI liberados o eliminados por el Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés) a 100 años, propuesta por el IPCC en unidades de CO<sub>2</sub>e kg por kg de emisiones.

Sin embargo, ya que la estimación de emisiones de GEI se realizó en función de CO<sub>2</sub>e, el factor de calentamiento global propuesto por el IPCC es 1, por lo cual esta operación no fue necesaria en esta investigación, ya que el factor no afecta los resultados obtenidos. Se incluye en la sección de Anexos de este documento la Tabla que muestra el Potencial de Calentamiento Global relativo al CO<sub>2</sub> para un horizonte de 100 años, tomada de la Norma ISO/DIS 14067 (2013).

Finalmente, se obtuvo la huella de carbono, mediante la suma de los impactos calculados para cada etapa del ciclo de vida en cada una de las viviendas, cumpliendo así el objetivo 1 de esta investigación.

#### D. Interpretación del ciclo de vida

Este paso del estudio está relacionado al cumplimiento del objetivo 2 de esta investigación.

La Norma ISO/DIS 14067 (2013) señala que la interpretación del análisis del ciclo de vida comprende la identificación de los aspectos más significativos en base a los resultados de la cuantificación, su evaluación, resultado, limitaciones y recomendaciones.

Los resultados obtenidos fueron interpretados de acuerdo al objetivo y alcance del estudio, incluyendo sus limitaciones y documentando los métodos empleados para dicho análisis.

Los resultados completos del análisis del ciclo de vida, así como los detalles sobre las cuantificaciones de inventarios y el cálculo de la huella de carbono, se presentan en el Capítulo 4 de este documento, que trata sobre los resultados de la investigación.

### **3.4. Análisis usando el software SimaPro**

Como parte de esta investigación, se utilizó el software SimaPro 8.1 para realizar el análisis del ciclo de vida de la huella de carbono de cada uno de los tres tipos de vivienda estudiados. Para cada vivienda se modelaron los procesos unitarios incluidos en el sistema de la vivienda, presentado con anterioridad. Posteriormente se integraron los respectivos procesos unitarios en sus correspondientes etapas del ciclo de vida de la vivienda, mediante la creación de un “montaje” con las funciones del SimaPro. Finalmente, se integraron todas las etapas que se analizaron para cada tipo de vivienda, mediante la función de “ciclo de vida” del software.

Los resultados de este análisis se presentan en el Capítulo 4 de este documento, que presentan los resultados de esta investigación.

## **4. RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita en el capítulo anterior, mostrados de acuerdo a las secciones de la metodología en las que fueron presentados.

### **4.1. Resultados de la selección de viviendas para los estudios de caso**

Para la realización de esta investigación se consideraron tres estudios de caso, cada uno de los cuales se enfocó en el estudio de una categoría de vivienda: tradicional, media, y residencial plus, presentadas en la Tabla 3.1.

El proceso de selección de las tres viviendas para los tres estudios de caso incluyó una preselección y análisis de varios complejos habitacionales que cumplieran con las características deseables para ser considerados en este estudio, como los tipos de viviendas ofertadas en cada complejo, los métodos constructivos utilizados, así como la disponibilidad de los constructores para proporcionar información relevante sobre las viviendas que fueran seleccionadas como los estudios de caso.

Como resultado se descartaron algunos complejos habitacionales preseleccionados ya que consistían en construcciones a base de prefabricados, lo cual aún no es un método de construcción comúnmente utilizado en la región. En otros casos los constructores expresaron no desear participar en el estudio.

Finalmente, de este proceso se eligieron tres complejos habitacionales que cumplieran con las características deseables para esta investigación, y tres modelos de vivienda, uno en cada complejo, considerado como cada vivienda tipo. La Tabla 4.1 presenta los complejos preseleccionados, así como la información considerada en la selección final de los estudios de caso y observaciones sobre cada complejo habitacional.

Tabla 4.1 Resumen de análisis de viviendas para selección de casos de estudio

Complejo habitacional	Ubicación	Modelos ofertados	Superficie construida en m <sup>2</sup>	Clasificación de viviendas ofertadas	Observaciones
1	Norte	1A 1B 1C 1D	76.49 84.53 118.28 140.73	Tradicional Media Residencial Residencial	Método constructivo no deseable
2	Poniente	2A 2B 2C 2D 2E 2F 2G	78.46 95.78 107.79 128.36 128.54 159.31 236.00	Tradicional Media Media Residencial Residencial Residencial Residencial Plus	Complejo elegido para vivienda tipo media (modelo 2C)
3	Poniente	3A 3B	100.00 126.00	Media Residencial	El constructor no desea participar
4	Sur	4A 4B	46.66 50.40	Tradicional Tradicional	Complejo elegido para vivienda tipo tradicional (modelo 4B)
5	Periférico poniente	5A 5B	68.00 94.00	Tradicional Media	El constructor no desea participar
6	Periférico poniente	6A 6B 6C	68.00 94.00 114.00	Tradicional Media Media	El constructor no desea participar
7	Periférico oriente	7A 7B 7C 7D	64.49 73.34 99.50 118.18	Tradicional Tradicional Media Residencial	Método constructivo no deseable
8	Norte	Modelos únicos	Mayores a 350.00	Residencial Plus	El constructor no desea participar
9	Norte	9A 9B 9C 9D 9E 9F 9G 9H 9I 9J 9K	69.23 70.51 79.73 90.18 96.10 102.68 107.27 121.50 151.38 174.34 176.26	Tradicional Tradicional Media Media Media Media Media Residencial Residencial Residencial Residencial Plus	El constructor no desea participar
10	Norte	10A	272.00	Residencial Plus	Complejo elegido para vivienda tipo residencial plus (modelo 10A)

La vivienda elegida clasificada en el nivel tradicional forma parte del complejo habitacional identificado con el número 4 en la Tabla 4.1, ubicado al sur de la ciudad de Mérida, Yucatán. En la Figura 4.1 se muestra el croquis del prototipo de vivienda seleccionado (4B), el cual consta de una superficie construida de 50.40 m<sup>2</sup> repartidos en dos recámaras, sala-comedor, cocina y un baño completo.

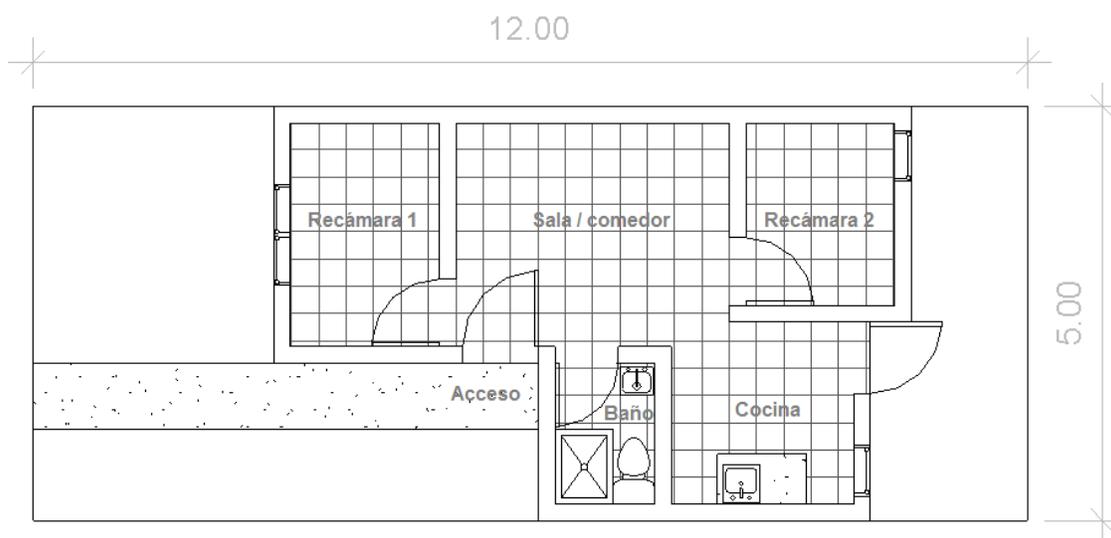


Figura 4.1 Croquis de vivienda tipo tradicional

La vivienda elegida clasificada en el nivel medio forma parte del complejo habitacional identificado con el número 2 en la Tabla 4.1, ubicado al poniente de la ciudad de Mérida, Yucatán. En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestran los croquis del prototipo de vivienda seleccionado para este nivel (2C), el cual consta de una superficie construida de 107.79 m<sup>2</sup> en dos plantas, que incluyen dos recámaras, un baño completo, 1/2 baño, sala, comedor, cocina, lavadero, terraza y balcón.

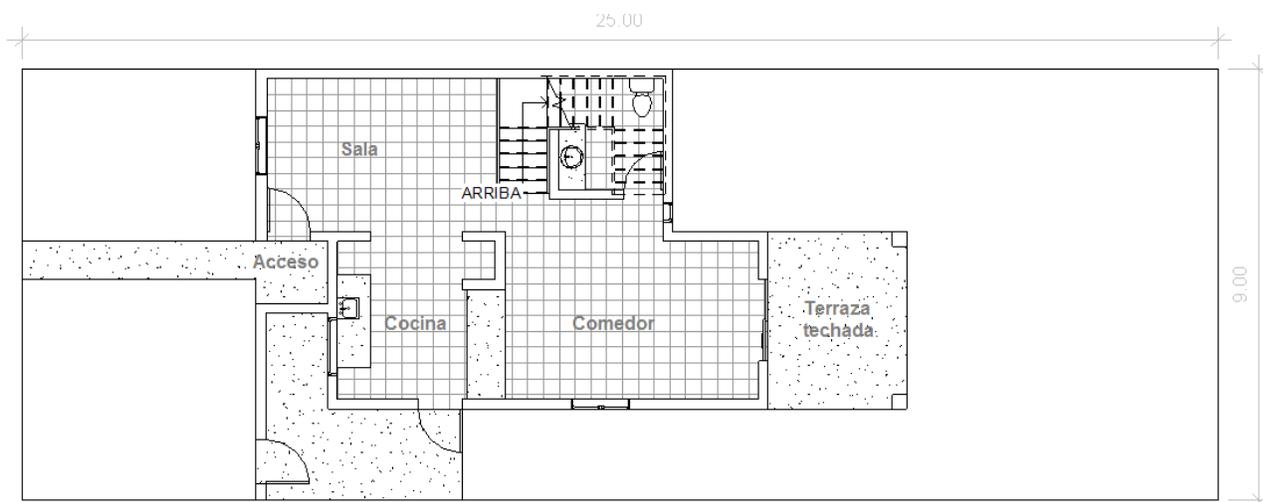


Figura 4.2 Croquis de vivienda tipo media, en planta baja

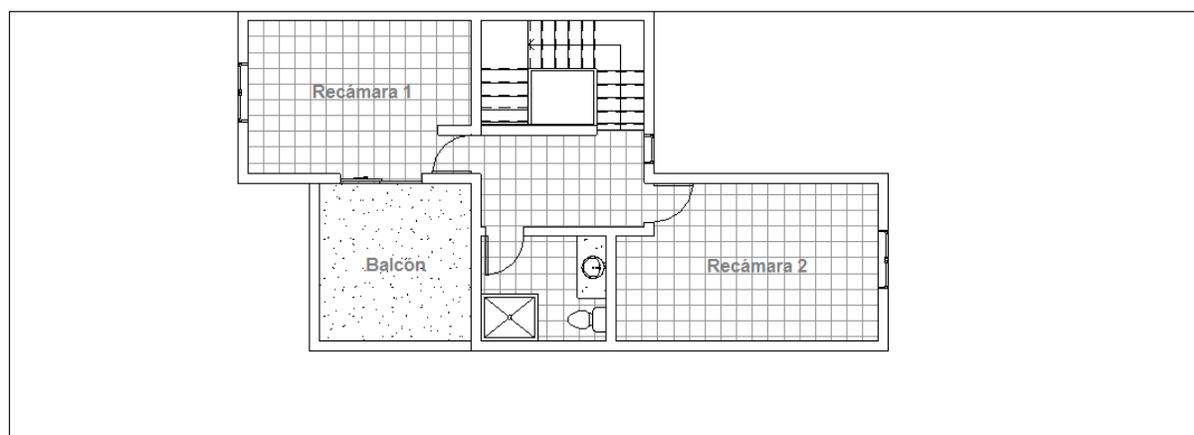


Figura 4.3 Croquis de vivienda tipo media, en planta alta

La vivienda elegida clasificada en el nivel residencial plus forma parte del complejo habitacional identificado con el número 10 en la Tabla 4.1, ubicado en el norte de la ciudad de Mérida, Yucatán. En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran los croquis del prototipo de vivienda seleccionado para este nivel (10A), el cual consta de una superficie construida de 272 m<sup>2</sup> en dos plantas, que incluyen tres recámaras con baño completo y closet vestidor, cuarto de servicio con baño completo, 1/2 baño, sala, comedor, cocina, área de lavado y tendido, cochera, terraza, sala de tv, balcón y piscina.

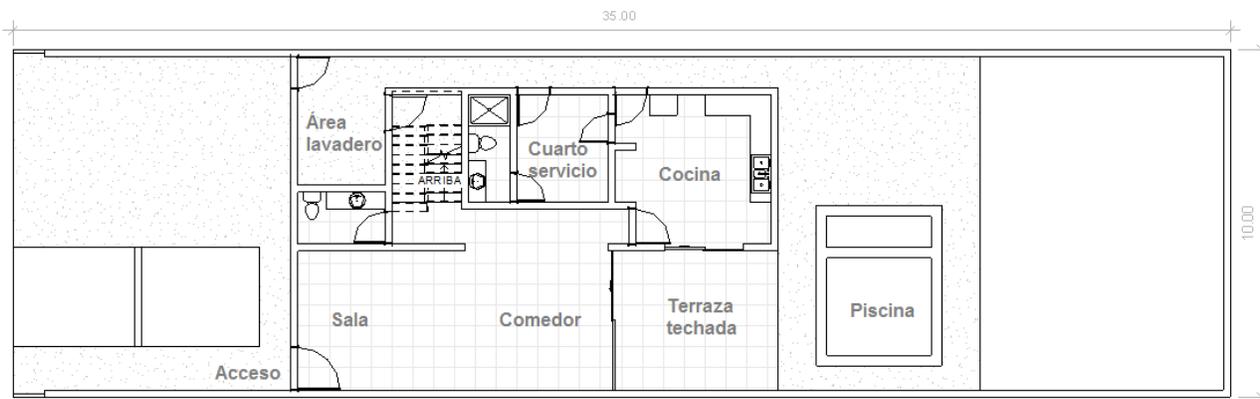


Figura 4.4 Croquis de vivienda tipo residencial plus, en planta baja

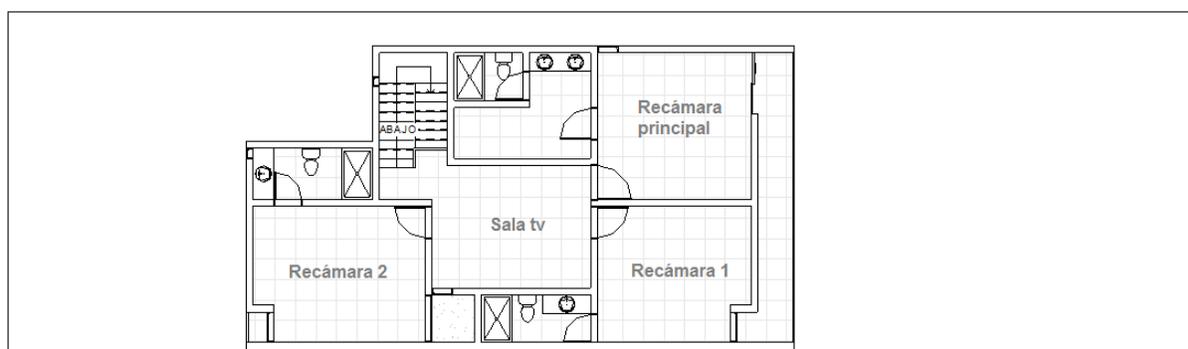


Figura 4.5 Croquis de vivienda tipo residencial plus, en planta alta

Para cada una de los estudios de caso, es decir las viviendas seleccionadas, se elaboraron distintas cuantificaciones presentadas en apartados posteriores, basadas en los planos y especificaciones proporcionados por los constructores de las viviendas. En el Apéndice A se presentan los croquis de las viviendas, presentados con anterioridad, incluyendo especificaciones de las tres viviendas.

## 4.2. Resultados del análisis del ciclo de vida

Se elaboró la obtención de la huella de carbono para cada uno de los estudios de caso con base en la Norma ISO/DIS 14067:2013 “Gases de Efecto Invernadero – Huella de Carbono de Productos – Requerimientos y Lineamientos para su Cuantificación y Comunicación”, ya que para los propósitos de esta investigación se consideró a la vivienda como el producto a evaluar. A continuación se presentan los resultados para dicho análisis.

## 4.2.1. Resultados de la definición del objetivo y alcance de la cuantificación

### 4.2.1.1. Resultados de objetivo y alcance del estudio

El objetivo del análisis a realizar fue consistente con el que guio esta investigación, es decir, se buscó determinar la huella de carbono de la vivienda que comúnmente se construye en Mérida, Yucatán. Esto incluyó cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan a lo largo del ciclo de vida de un producto, que en este caso fue cada una de las tres viviendas analizadas asociadas cada una a un nivel socioeconómico distinto y con características típicas de la región. Mediante los resultados de este análisis se identificaron los procesos que generan mayor cantidad de emisiones, y por lo tanto, sus impactos ambientales.

### 4.2.1.2. Resultados de la unidad funcional y el flujo de referencia

Se consideró que la función que debe cumplir el producto a analizar es la de servir como resguardo a una familia de entre tres y cinco miembros, al mismo tiempo que provea las condiciones necesarias para su desarrollo personal durante todo su tiempo de vida útil.

La unidad funcional consistió entonces en una vivienda de entre 45 y 275 m<sup>2</sup> con una vida útil de 50 años. Este rango de cantidad de superficie se determinó con base en la cantidad de superficie construida que establece la CONAVI para los tres niveles de vivienda que se analizó: tradicional, media, y residencial (como se muestra en la Tabla 3.1). También cabe aclarar que el tiempo de vida útil de la vivienda se determinó consultando a un funcionario de la delegación en Yucatán de la CONAVI y a constructores de proyectos habitacionales, quienes manifestaron que las viviendas que típicamente se construyen en la región están preparadas para una vida útil promedio de 50 años.

Aunque se pudo considerar a una unidad de vivienda como el flujo de referencia para realizar este análisis, es necesario considerar que ésta es un producto complejo que sería muy difícil de analizar en el tiempo disponible si se incluyen todos sus componentes. Por esto, se decidió más adecuado considerar como flujo de referencia las cantidades de los

principales materiales que integran la vivienda. Los materiales considerados se determinaron tomando en cuenta su relevancia volumétrica dentro del sistema que comprende la vivienda, como se explica más adelante. Este flujo de referencia sirvió para identificar y cuantificar las entradas y las salidas de los procesos que se incluyeron dentro de los límites del sistema a analizar.

#### 4.2.1.3. Resultado de la definición de los límites del sistema

Como se mencionó con anterioridad, debido al limitado tiempo para la realización de este estudio, una de las limitaciones consideradas fue la cantidad de materiales analizados. Se decidió que, de todos los materiales que se suelen emplear en la construcción de la vivienda en el medio, se seleccionarían diez materiales que en volumen representen aproximadamente el 80% del total de material empleado en el proceso constructivo. Para las cuantificaciones realizadas por cada vivienda se consideró sólo el uso de estos materiales en todas las actividades del proceso constructivo de la vivienda en las que intervengan, así como su uso en las actividades de mantenimiento recomendadas por el constructor. Los materiales seleccionados fueron:

1. Cemento gris
2. Cal hidratada
3. Arena (polvo de piedra)
4. Grava
5. Bloques de piedra de 15x20x40cm
6. Bovedillas de piedra de 20x25x56cm
7. Recubrimientos de cerámica de 33x33cm
8. Tablas de madera para cimbras de 1"x10"x2.50m
9. Varillas corrugadas de 3/8"

## 10. Tubería de PVC sanitario ligero de 2", 3" y 4"

A continuación se describen los procesos que se incluyeron en el sistema analizado:

- Extracción de materia prima: se incluyó la energía y combustible consumido por la maquinaria empleada en el proceso de extracción.
- Producción de los insumos: se incluyó la energía y el combustible consumido por la maquinaria empleada en el proceso de transformación, así como el transporte de la materia prima del lugar de extracción al lugar de producción de cada insumo. Se consideraron las distancias de transporte que el proveedor indicó (por ejemplo si en el proceso se incluyen lugares para almacenamiento distintos al lugar de la producción).
- Insumos para la etapa de construcción: como insumos se consideraron los materiales más usados según el volumen empleado para la construcción de las viviendas, los cuales conforman aproximadamente el 80% de los materiales empleados en la construcción de una vivienda.
- Maquinaria y equipo: se incluyó el combustible empleado en el uso de maquinaria y equipo pesado durante el proceso de construcción de cada una de las viviendas, los cuales se emplearon principalmente en las etapas iniciales de la obra.
- Obreros: se incluyó el combustible usado para el transporte de los trabajadores encargados de la realización de la vivienda hasta el lugar de la obra.
- Operación de la vivienda: se incluyó en la operación de la vivienda un estimado del uso de energía eléctrica, de acuerdo a los ocupantes entrevistados de las viviendas.
- Mantenimiento de la vivienda: se incluyó únicamente el mantenimiento sugerido por el constructor para cada una de las viviendas durante su periodo de vida útil, esto es para los componentes de la vivienda cuya vida útil sea menor de los 50 años estimados de la vivienda y sea necesario su mantenimiento o sustitución. Se consideraron sólo los procesos de mantenimiento indicados en los que intervengan los materiales seleccionados para el análisis.

- Disposición final: de acuerdo a lo expresado por los constructores, se consideró como disposición final la demolición de la vivienda al final de su periodo de vida útil, definido en 50 años, lo cual incluye el combustible usado por el uso de maquinaria para la demolición y el desalojo de los desechos generados.
- Desechos: se consideró el transporte de basura generada, tanto en la etapa de construcción de la vivienda como en la de uso.
- Material reusable: se consideró el material, tal como el escombros, que puede emplearse en otras construcciones. Se incluyó el combustible empleado en el transporte del material a su lugar de destino, según las distancias indicadas.
- Relleno sanitario: se consideró el consumo de combustible para el transporte de los desechos generados por la vivienda al relleno sanitario al cual se destinan los desechos de cada vivienda de estudio de caso analizado.

Por el contrario, se presenta a continuación los procesos que se excluyeron del sistema analizado:

- La materia prima necesaria para la fabricación de la maquinaria empleada en los procesos relacionados con los insumos analizados.
- Los insumos (materiales) que no representan un volumen considerable para la construcción de la vivienda, esto es aproximadamente el 20% del volumen de los materiales empleados.
- Trabajadores, obreros y operarios de las máquinas empleados tanto en la extracción y producción de insumos, como en la construcción de las viviendas y el mantenimiento considerado.
- El transporte de la maquinaria al lugar de la obra.
- Las ampliaciones que puedan realizarse a la vivienda durante su periodo de vida útil.
- Mantenimiento ocasional que se realice en la vivienda.

- Aspectos exteriores al terreno de la vivienda dentro del complejo habitacional, como la urbanización.
- Reciclaje en general en la vivienda analizada.
- Consumibles de los ocupantes de las viviendas.

#### 4.2.2. Resultados del análisis del inventario del ciclo de vida para la obtención de la huella de carbono

##### 4.2.2.1. Resultados de la construcción del diagrama de procesos

El diagrama de procesos muestra el sistema de procesos para el análisis del ciclo de vida, este se elaboró según los límites del sistema definidos con anterioridad y considerando cinco etapas en el ciclo de vida de la vivienda como un producto: 1) extracción de materia prima, 2) producción de insumos, 3) construcción de la vivienda, 4) uso y mantenimiento de la vivienda, y 5) disposición final de la vivienda. El diagrama de procesos definido para el análisis se presenta en la Figura 4.6.

##### 4.2.2.2. Resultados de la recolección de datos para cada etapa del ciclo de vida

Los datos se recolectaron para todos los procesos unitarios que se incluyeron en los límites del sistema definido, y se emplearon para cuantificar la cantidad de emisiones generada en cada etapa del ciclo de vida en cada estudio de caso. En las siguientes secciones se presentan los datos recolectados para cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda.

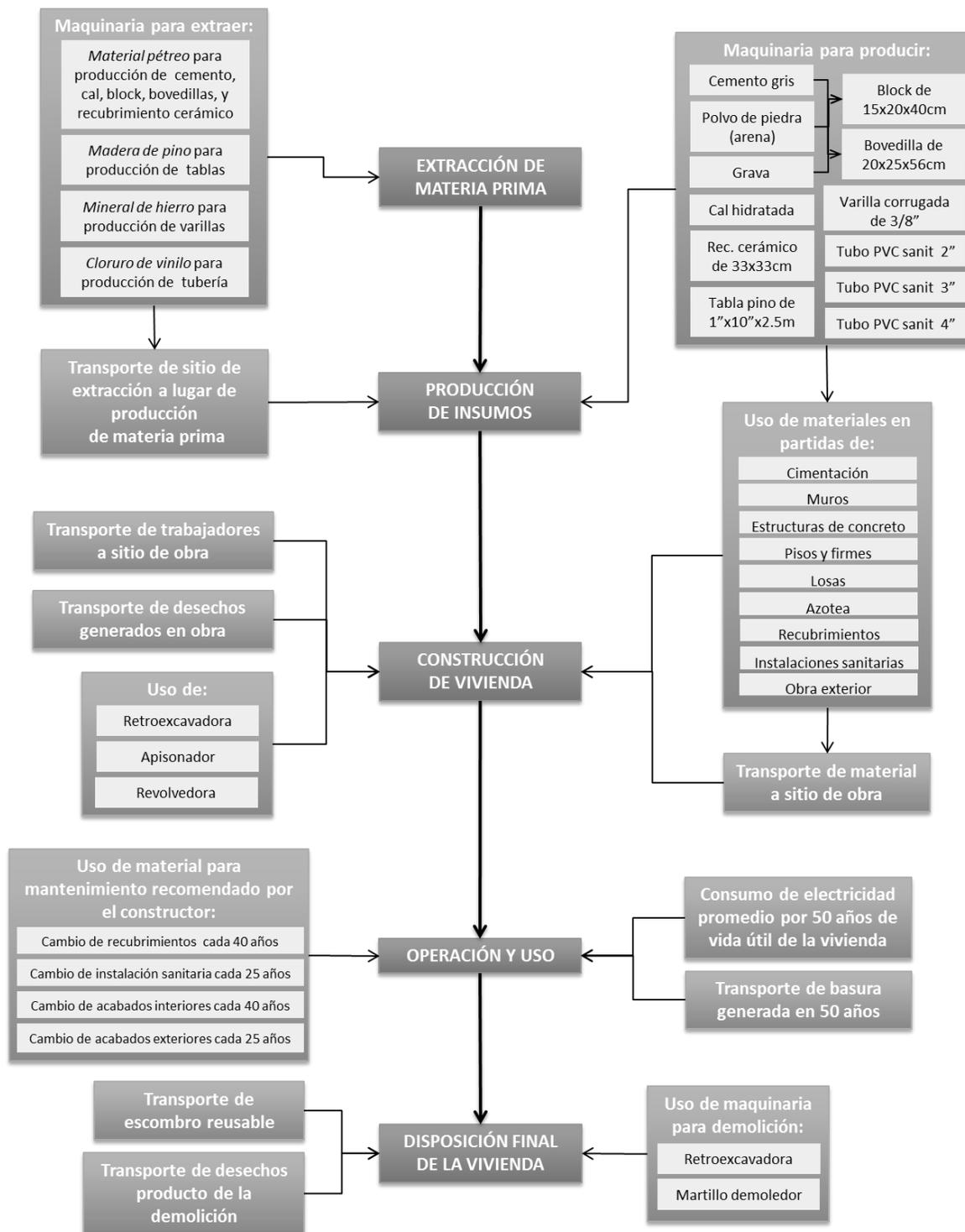


Figura 4.6 Diagrama de procesos definido para el análisis

#### 4.2.2.2.1. Datos recolectados para la etapa de extracción de materia prima

Para la recolección de datos en la etapa de extracción de materia prima se acudió con proveedores y productores de cada uno de los materiales de construcción analizados, quienes proporcionaron la información por medio de entrevistas. Estos también proporcionaron información de producción, que se presenta en la siguiente sección.

Se presenta en las siguientes tablas los datos recolectados para la extracción de materia prima de cada uno de los materiales analizados.

Tabla 4.2 Datos recolectados para cemento gris en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>		Cemento gris Portland
<b>Materia prima:</b>		Piedra caliza
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>		1.27 toneladas de piedra caliza por tonelada de cemento
<b>Proceso de extracción:</b>		La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m <sup>3</sup> /h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m <sup>3</sup> /h

Tabla 4.3 Datos recolectados para cal hidratada en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>		Cal hidratada
<b>Materia prima:</b>		Piedra caliza
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>		1.6 toneladas de piedra caliza por tonelada de cal
<b>Proceso de extracción:</b>		La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m <sup>3</sup> /h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m <sup>3</sup> /h

Tabla 4.4 Datos recolectados para polvo de piedra en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Polvo de piedra (arena)	
<b>Materia prima:</b>	Piedra caliza	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	1.32 toneladas de piedra caliza por tonelada de polvo de piedra	
<b>Proceso de extracción:</b>	La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m3/h

Tabla 4.5 Datos recolectados para grava en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Grava	
<b>Materia prima:</b>	Piedra caliza	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	1.32 toneladas de piedra caliza por tonelada de grava	
<b>Proceso de extracción:</b>	La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m3/h

Tabla 4.6 Datos recolectados para bloques en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Block de 15x20x40cm	
<b>Materia prima:</b>	Piedra caliza	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	1.25 toneladas de piedra caliza por tonelada de bloques	
<b>Proceso de extracción:</b>	La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m3/h

Tabla 4.7 Datos recolectados para bovedillas en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Bovedilla de 20x25x56cm	
<b>Materia prima:</b>	Piedra caliza	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	1.3 toneladas de piedra caliza por tonelada de bloques	
<b>Proceso de extracción:</b>	La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m3/h

Tabla 4.8 Datos recolectados para recubrimientos cerámicos en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Recubrimiento cerámico de 33x33cm	
<b>Materia prima:</b>	Arcillas de piedra caliza	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	10kg por m2 de recubrimiento	
<b>Proceso de extracción:</b>	La piedra caliza es extraída en canteras mediante perforadoras y excavadoras hidráulicas según la dureza del suelo, y posteriormente transportadas al siguiente paso del proceso de producción. Para el caso de las arcillas, la perforación se realiza en zonas específicas de la cantera mediante el mismo procedimiento.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Excavadora hidráulica	Diésel 22 lt/h	200 m3/h

Tabla 4.9 Datos recolectados para tablas de pino en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Tabla de pino aserrada de 1"x10"x2.50m	
<b>Materia prima:</b>	Madera de pino	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	0.020 m3 por pieza	
<b>Proceso de extracción:</b>	La madera de pino es cortada en las zonas designadas para explotación por motosierras y los troncos son transportados por tractores y autocargadores a las astilladoras, donde se retira la corteza. Posteriormente son transportados a la planta para continuar con el proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Motosierra	Diésel 1 lt/h	40 m3/día
Tractor	Diésel 8 lt/h	7 m3/hr
Autocargador	Diésel 10 lt/h	60 ton/hr
Astilladora	Diésel 12 lt/h	40 ton/h

Tabla 4.10 Datos recolectados para varilla corrugada en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Varilla corrugada de 3/8"	
<b>Materia prima:</b>	Mineral de hierro	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	7 kg por varilla	
<b>Proceso de extracción:</b>	El proceso de extracción de hierro se realiza mediante la explotación de minas a cielo abierto, donde primero se realizan perforaciones para posteriormente extraer el material mediante tronadura (a base de explosivos) y separado por separadores magnéticos. Posteriormente son transportados a la planta para continuar con el proceso de producción.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Perforadora hidráulica	Diésel 24 lt/h	25 m3/h
Separador magnético	Eléctrico 2.2 kW	15 ton/h

Tabla 4.11 Datos recolectados para tubería de PVC sanitario en etapa de extracción

<b>Material relacionado:</b>	Tubo de PVC sanitario ligero de 2", 3" y 4"	
<b>Materia prima:</b>	Cloruro de vinilo	
<b>Cantidad de materia prima para producción:</b>	Depende del peso del tubo a producir, la materia prima se reduce un 60% al polimerizar	
<b>Proceso de extracción:</b>	El proceso se realiza mediante la polimerización, en la que se introducen monómero de cloruro de vinilo, agua y productos de adición particulares, tales como catalizadores o aceleradores de reacción, emulsionantes, dispersantes etc., en reactores de polimerización, donde bajo la acción combinada del calor y del movimiento mecánico se obtiene resinas de PVC. Estas resinas son las que se trabajan en el proceso de producción para la fabricación de productos de PVC.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Reactor de polimerización	Eléctrico (25 kW)	20 ton cada 5 horas

#### 4.2.2.2.2. Datos recolectados para la etapa de producción de insumos

Para la recolección de datos en la etapa de producción de insumos se acudió con proveedores y productores de cada uno de los materiales de construcción analizados, así como proveedores de transporte, quienes proporcionaron la información requerida por medio de entrevistas.

En el caso particular del cemento, debido a que el proveedor local no deseó participar en el estudio, se contactaron proveedores del centro de la república, quienes proporcionaron

los datos requeridos de la producción del material y se supuso que el proveedor local realiza los mismos procesos de producción, tomando como referencia distancias locales para la realización de los cálculos posteriores.

En las siguientes tablas se presentan los datos recolectados para la producción de cada uno de los diez materiales analizados.

Tabla 4.12 Datos recolectados para cemento gris en etapa de producción

<b>Material:</b>	Cemento gris Portland	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	47 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Capacidad de la planta:</b>	1,000 toneladas de cemento por año	
<b>Proceso de producción:</b>	La piedra caliza es llevada a la planta cementera, donde se muele en molinos de bolas y se mezcla con otros ingredientes para luego hornear, donde se obtiene el clinker. Este es enfriado y le son agregados otros minerales para obtener finalmente el cemento, el cual es almacenado en silos hasta su empaque y envío final a los proveedores.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/h
Horno rotativo	Eléctrico (45 kW)	2,500 ton/día
Enfriador rotativo	Eléctrico (18.5 kW)	10 ton/h

Tabla 4.13 Datos recolectados para cal hidratada en etapa de producción

<b>Material:</b>	Cal hidratada	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	50 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	La piedra caliza es llevada a la planta, donde se tritura y pasa al proceso de calcinación, en el cual pierde la mitad de su peso por la descarbonatación. A cal viva obtenida es hidratada y molida, para finalmente ser almacenada en silos.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/h
Horno vertical	Eléctrico (1180 kW)	6,000 ton/día
Máquina de hidratación	Eléctrico (20kW)	20kW por tonelada de cal

Tabla 4.14 Datos recolectados para polvo de piedra en etapa de producción

<b>Material:</b>	Polvo de piedra	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	72 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de volteo 7m3 (combustible diésel 2.5 km/lt)	
<b>Proceso de producción:</b>	La piedra caliza se envía a la trituradora de mandíbulas mediante un alimentador vibratorio, y luego a la máquina de producción de arena donde las partículas son aplastadas, y se reduce el material en un 30%. Los materiales triturados son pasados por la criba vibratoria para seleccionarse por tamaños, y finalmente son lavados, donde se pierde otro 20% de material, para obtener el producto final que se envía a obras. El producto que se pierde o no se selecciona en el proceso es reenviado al inicio.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Alimentador vibratorio	Eléctrico (4.5 kW)	150 ton/h
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m3/h
Fabricadora de arena con molino de varilla	Eléctrico (90 kW)	12 ton/h
Criba vibratoria circular	Eléctrico (15 kW)	250 ton/h
Máquina de lavado de arena	Eléctrico (7.5 kW)	40 ton/h

Tabla 4.15 Datos recolectados para grava en etapa de producción

<b>Material:</b>	Grava	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	72 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de volteo 7m3 (combustible diésel 2.5 km/lt)	
<b>Proceso de producción:</b>	El proceso es similar al polvo de piedra. La piedra caliza se envía a la trituradora de mandíbulas mediante un alimentador vibratorio, y luego a la máquina de impacto donde las partículas son aplastadas, y se reduce el material en un 40%. Los materiales triturados son pasados por la criba vibratoria para seleccionarse por tamaños. El producto que se pierde o no se selecciona en el proceso es reenviado al inicio.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Alimentador vibratorio	Eléctrico (4.5 kW)	150 ton/h
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m3/h
Trituradora de impacto	Eléctrico (45 kW)	40 ton/h
Criba vibratoria circular	Eléctrico (15 kW)	250 ton/h

Tabla 4.16 Datos recolectados para bloques en etapa de producción

<b>Material:</b>	Block de 15x20x40cm	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	72 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	La materia prima es llevada a la planta de producción, donde es mezclada en proporción 1:4:6 (cemento, agregado grueso, agregado fino) y la mezcla obtenida es vaciada en la máquina bloquera. Finalmente, los bloques obtenidos son puestos a secar y posteriormente almacenados.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Mezcladora de concreto	10.5 kW	12 m <sup>3</sup> /h
Dosificadora de concreto	6.6 kW	48 m <sup>3</sup> /h
Máquina bloquera	55 kW	1,600 pzas/h

Tabla 4.17 Datos recolectados para bovedillas en etapa de producción

<b>Material:</b>	Bovedilla de 20x25x56cm	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	72 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	El proceso de bovedillas es similar al de los bloques, lo que cambia es el volumen de material empleado y obtenido en la máquina bloquera.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Mezcladora de concreto	10.5 kW	12 m <sup>3</sup> /h
Dosificadora de concreto	6.6 kW	48 m <sup>3</sup> /h
Máquina bloquera	55 kW	800 pzas/h

Tabla 4.18 Datos recolectados para recubrimiento cerámico en etapa de producción

<b>Material:</b>	Recubrimiento cerámico de 33x33cm	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	20 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 1 ton Hyundai (combustible diésel 0.98 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	<p>Los recubrimientos se elaboran vía seca (para los modelos más económicos) y vía húmeda (modelos más resistentes y costosos). En ambos casos se inicia triturando la materia prima hasta el tamaño requerido.</p> <p>Para la producción se inicia con el proceso de molturación, a través de molinos pendulares para vía seca y de molinos de bolas para vía húmeda. Para el caso de la vía húmeda se procede al secado por atomización, se almacena en silos y posteriormente se realiza el prensado para la obtención de las piezas. En el caso de la vía seca, la mezcla es pasada de los molinos a la prensa, donde las piezas obtienen menor resistencia. En ambos casos, después del prensado, las piezas se someten al proceso de esmaltación y luego a cocción en hornos tipo monostrato, posteriormente se ponen a secar para luego ser empacados.</p>	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m <sup>3</sup> /h
Molino pendular	Eléctrico (132 kW)	25 ton/h
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/h
Maq de secado por atomización	Eléctrico (10 kW)	10 ton/h
Máquina de prensado en seco	Eléctrico (7.5 kW)	5 pzas/min
Esmaltadora automática	Eléctrico (12 kW)	5,000 pzas/h
Horno de túnel monostrato	Eléctrico (250 kW)	25,000 pzas/día

Tabla 4.19 Datos recolectados para tablas de pino en etapa de producción

<b>Material:</b>	Tabla de pino de 1"x10"x2.5m	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	420 km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de doble semirremolque (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 1 ton Hyundai (combustible diésel 0.98 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	Los troncos talados y descortezados son llevados al aserradero, donde se cortan, secan y cepillan. Las tablas obtenidas son almacenadas en bodegas ubicadas en la misma planta de producción, en espera de su distribución y venta.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Aserradero	6 kW/h	50,000m3/año
Secado	112 kW/h	48,000 m3/año
Cepillado	5 kW/h	25,000 m3/año

Tabla 4.20 Datos recolectados para varilla corrugada en etapa de producción

<b>Material:</b>	Varilla corrugada de 3/8"	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	25 km (la producción se realiza a 1,100 km de Mérida)	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	El mineral de hierro extraído es lavado, triturado y cribado, para luego mezclarse con caliza y coque. La mezcla es fundida en altos hornos, y luego vaciadas en moldes que se hornean nuevamente para obtener palanquillas de acero. Posteriormente se envían a laminación, luego al tren desbastador y finalmente al trefilado en frío. Finalmente las varillas son cortadas en las piezas de venta y almacenadas.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Máquina de lavado	Eléctrico (7.5 kW)	40 ton/h
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m3/h
Criba vibratoria circular	Eléctrico (15 kW)	250 ton/h
Altos hornos	Leña (470 kg/ton)	9,000 ton/día
Tren de laminación, desbastador y trefilado	Eléctrico (3,600 kW)	250,000 ton/h

Tabla 4.21 Datos recolectados para tubería de PVC sanitario en etapa de producción

<b>Material:</b>	Tubo de PVC sanitario ligero de 2", 3" y 4"	
<b>Distancia entre lugar de extracción y sitio de producción:</b>	300km	
<b>Transporte empleado para materia prima a sitio de producción:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)	
<b>Transporte empleado para material a obra:</b>	Camión de 15 ton (combustible diésel 0.5 lt/km)	
<b>Proceso de producción:</b>	La materia prima es pasada por una trampa de imanes para eliminar elementos metálicos, y posteriormente en la extrusora. La composición obtenida se expulsa al molde requerido. El molde con la mezcla es puesta a enfriar y, al finalizar, a la zona de corte. La diferencia entre la producción de los distintos diámetros radica en los distintos moldes, pero el proceso es el mismo. Finalmente, los tubos son almacenados y distribuidos para su venta.	
<b>Maquinaria empleada</b>	<b>Consumo energía/combustible</b>	<b>Potencia/productividad</b>
Separador magnético	2.2 kW	20 ton/h
Extrusora	4.4 kW	100 kg/h
Alimentador de plástico	1.5 kW	225 kg/h

#### 4.2.2.2.3. Datos recolectados para la etapa de construcción

Para la recolección de datos en la etapa de construcción de las viviendas se acudió con los constructores de cada una de las viviendas seleccionadas para los estudios de caso, quienes permitieron visitas a obra y entrevistas al personal encargado, como residentes, contratistas y encargados de control de obra, para la obtención de la información necesaria. También proporcionaron planos y especificaciones de las viviendas, así como información sobre el mantenimiento y la disposición final de las mismas.

Con respecto a los datos de rendimientos de maquinaria para la construcción, se tomaron de los datos proporcionados por los constructores de la vivienda residencial plus y se aplicaron para las viviendas tipo tradicional y media, ya que sus constructores no proporcionaron dicha información.

Se presenta en las siguientes tablas los datos recolectados para la construcción de cada vivienda analizada.

Tabla 4.22 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de construcción

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Tradicional
<b>Superficie de terreno:</b>	60 m <sup>2</sup>
<b>Superficie construida:</b>	50.40 m <sup>2</sup>
<b>Lugar de la obra:</b>	Sur (Itzincab)
<b>Distancia de transporte de trabajadores:</b>	13 km
<b>Transporte empleado para trabajadores:</b>	Colectivo, viaje diario (15 km/lt)
<b>Cantidad promedio de empleados:</b>	8 trabajadores
<b>Tiempo estimado de obra negra:</b>	5 meses
<b>Maquinaria empleada en la construcción:</b>	Retroexcavadora (7 días, diésel 1 lt/h) Revolvedora (5 días, diésel 3 lt/h)
<b>Desechos generados durante la construcción:</b>	Escombros (2 viajes) Basura (6 viajes)

Tabla 4.23 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de construcción

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Media
<b>Superficie de terreno:</b>	225.00 m <sup>2</sup>
<b>Superficie construida:</b>	107.79 m <sup>2</sup>
<b>Lugar de la obra:</b>	Caucel
<b>Distancia de transporte de trabajadores:</b>	31 km
<b>Transporte empleado para trabajadores:</b>	Colectivo, viaje diario (15 km/lt)
<b>Cantidad promedio de empleados:</b>	12 trabajadores
<b>Tiempo estimado de obra negra:</b>	8 meses
<b>Maquinaria empleada en la construcción:</b>	Retroexcavadora (7 días, diésel 1 lt/h) Apisonador (20 días, diésel 1.2 lt/h) Revolvedora (16 días, diésel 3 lt/h)
<b>Desechos generados durante la construcción:</b>	Escombros (2 viajes) Basura (6 viajes)

Tabla 4.24 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de construcción

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Residencial plus
<b>Superficie de terreno:</b>	350.00 m <sup>2</sup>
<b>Superficie construida:</b>	272.00 m <sup>2</sup>
<b>Lugar de la obra:</b>	Temozón Norte
<b>Distancia de transporte de trabajadores:</b>	29 km
<b>Transporte empleado para trabajadores:</b>	Colectivo, viaje diario (15 km/lt)
<b>Cantidad promedio de empleados:</b>	20 trabajadores
<b>Tiempo estimado de obra negra:</b>	1 año
<b>Maquinaria empleada en la construcción:</b>	Retroexcavadora (18 días, diésel 1 lt/h) Bailarina (82 días, diésel 1.2 lt/h) Revolvedora (16 días, diésel 3 lt/h)
<b>Desechos generados durante la construcción:</b>	Escombros (3 viajes) Basura (5 viajes)

#### 4.2.2.2.4. Datos recolectados para la etapa de operación y uso

Para la recolección de datos en la etapa de operación y uso de la vivienda de cada estudio de caso se consultó con los constructores sobre el mantenimiento sugerido para cada vivienda seleccionada, así como entrevistas a ocupantes de los modelos seleccionados de vivienda para conocer sobre el uso de las mismas. Se presenta en las siguientes tablas los datos recolectados para el uso y mantenimiento de cada vivienda analizada.

Tabla 4.25 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de operación y uso

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Tradicional
<b>Habitantes entrevistados:</b>	5
<b>Aparatos eléctricos promedio:</b>	Aire acondicionado de 12,000 btus (1) Televisión 32" (1) Ventilador de techo (3) Lámparas de plafón (10) Refrigerador (1) Estufa de gas (1) Microondas (1) Lavadora (1)
<b>Basura generada:</b>	2 bolsas por día, 3 días por semana
<b>Mantenimiento recomendado por el constructor:</b>	Renovación total de pisos cerámicos cada 40 años Renovación total de instalaciones hidráulicas cada 25 años Renovación total de acabados interiores cada 40 años Renovación total de acabados exteriores cada 25 años

Tabla 4.26 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de operación y uso

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Media
<b>Habitantes entrevistados:</b>	6
<b>Aparatos eléctricos promedio:</b>	Aire acondicionado de 12,000 btus (2) Televisión 40" (3) Ventilador de techo (5) Lámparas de plafón (30) Refrigerador (1) Estufa de gas (1) Microondas (1) Lavadora (1)
<b>Basura generada:</b>	2 bolsas por día, 3 días por semana
<b>Mantenimiento recomendado por el constructor:</b>	Renovación total de pisos cerámicos cada 40 años Renovación total de instalaciones hidráulicas cada 25 años Renovación total de acabados interiores cada 40 años Renovación total de acabados exteriores cada 25 años

Tabla 4.27 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de operación y  
USO

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Residencial plus
<b>Habitantes entrevistados:</b>	2
<b>Aparatos eléctricos promedio:</b>	Aire acondicionado de 18,000 btus (5) Aire acondicionado de 24,000 btus (2) Televisión 32" (1) Televisión 40" (5) Televisión 50" (1) Ventilador de techo (9) Lámparas de plafón (43) Refrigerador de 2 puertas (1) Estufa eléctrica (1) Microondas (1) Lavadora (1) Secadora (1) Calentador eléctrico (1) Bomba para piscina (1)
<b>Basura generada:</b>	2 bolsas por día, 3 días por semana
<b>Mantenimiento recomendado por el constructor:</b>	Renovación total de pisos cerámicos cada 40 años Renovación total de instalaciones hidráulicas cada 25 años Renovación total de acabados interiores cada 40 años Renovación total de acabados exteriores cada 25 años

#### 4.2.2.2.5. Datos recolectados para la etapa de disposición final

Para la recolección de datos en la etapa final de la vivienda se consultó con los constructores de cada vivienda analizada, quienes expresaron en los tres casos la demolición como disposición final de las viviendas.

Tal como el caso de la maquinaria en la etapa de construcción de las viviendas, los datos obtenidos sobre rendimientos de maquinaria para la vivienda tipo residencial plus se supusieron para las viviendas tipos tradicional y media, debido a que los constructores de dichas viviendas no proporcionaron dicha información.

Para la estimación de transporte del escombros reusable como material de relleno, los constructores proporcionaron distancias aproximadas de obras cercanas al momento de la entrevista, en las que pudiera emplearse.

Se presenta en las siguientes tablas los datos recolectados para el uso y mantenimiento de cada vivienda analizada.

Tabla 4.28 Datos recolectados para vivienda tipo tradicional en etapa de disposición final

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Tradicional
<b>Disposición final de vivienda:</b>	Demolición
<b>Maquinaria empleada:</b>	Retroexcavadora (1 semana, diésel 1 lt/h)
<b>Escombros generados:</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción (50% reusable, 50% no reusable)
<b>Disposición de escombros reusable:</b>	Obra a 30 km de la vivienda demolida
<b>Disposición de escombros no reusable:</b>	Relleno sanitario (a 30 km)

Tabla 4.29 Datos recolectados para vivienda tipo media en etapa de disposición final

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Media
<b>Disposición final de vivienda:</b>	Demolición
<b>Maquinaria empleada:</b>	Retroexcavadora (1 semana, diésel 1 lt/h) Martillo demoledor (1 semana, diésel 1.1 lt/h)
<b>Escombros generados:</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción (50% reusable, 50% no reusable)
<b>Disposición de escombros reusable:</b>	Obra a 30 km de la vivienda demolida
<b>Disposición de escombros no reusable:</b>	Relleno sanitario (a 30 km)

Tabla 4.30 Datos recolectados para vivienda tipo residencial plus en etapa de disposición final

<b>Clasificación de vivienda tipo:</b>	Residencial plus
<b>Disposición final de vivienda:</b>	Demolición
<b>Maquinaria empleada:</b>	Retroexcavadora (1 semana, diésel 1 lt/h) Martillo demoledor (1 semana, diésel 1.1 lt/h)
<b>Escombros generados:</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción (40% reusable, 60% no reusable)
<b>Disposición de escombros reusable:</b>	Obra a 30 km de la vivienda demolida
<b>Disposición de escombros no reusable:</b>	Relleno sanitario (a 30 km)

#### 4.2.2.3. Procesamiento de los datos

En esta sección de la metodología se incluyen los cálculos realizados, con base en los datos recolectados para cada etapa en la fase anterior y su procesamiento para la obtención de las emisiones generadas, y posterior obtención de huella de carbono.

Primeramente se realizó una cuantificación de volúmenes de las viviendas analizadas. Se realizó una lista general de conceptos, aplicable a las tres viviendas, mediante los cuales se estimó la cantidad requerida de cada uno de los materiales analizados por unidad de cada concepto. Posteriormente, se realizaron generadoras para obtener los volúmenes de los conceptos considerados para cada una de las viviendas, con base en los planos y especificaciones proporcionados por los constructores, para así obtener la cantidad total de cada material seleccionado empleado en cada una de las viviendas analizadas. En el Apéndice B de este documento se presenta la lista general de conceptos considerados con la cantidad de material por unidad de concepto, y en los Apéndices C, D y E las cuantificaciones de materiales para las viviendas tradicional, media y residencial plus, respectivamente.

Para la estimación de emisiones generadas en las etapas de extracción y producción de materiales se estimaron distintos factores para los materiales seleccionados, calculando la cantidad de emisiones generadas por material en cada una de las etapas con base en los datos recolectados. Para esto se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

- Consumo energético y de combustible empleado por la maquinaria encargada de la extracción y producción de cada insumo.
- Consumo de combustible por el transporte de materia prima.
- Distancias entre sitios de extracción y producción.
- Cantidad de materia prima requerida para la producción de una unidad de material.
- Cantidad de material que se pierde durante el proceso productivo.

Se incluyeron básicamente los consumos de energía y combustible de los procesos, debido a que las investigaciones preliminares a este estudio arrojaron que los combustibles empleados en los procesos de producción y transporte generan cantidades considerables de emisiones de GEI.

Así, los procesos considerados para estas dos etapas fueron expresados en función de los combustibles y consumos energéticos, y posteriormente afectados por factores investigados de las emisiones de estas fuentes. Finalmente, los factores obtenidos se formularon por unidad de extracción o producción de material. Por ejemplo, se calculó para el cemento gris la cantidad de emisiones generadas por tonelada producida de cemento (para la etapa de producción), así como la cantidad de emisiones generadas por tonelada extraída de cemento (que considera la materia prima extraída para una tonelada de cemento).

La estimación anterior se realizó en función de las emisiones de GEI generadas por las fuentes de energía en cada etapa, y fue tomada del Informe de Sustentabilidad (PEMEX, 2014) para el caso de los combustibles fósiles, y por los factores de emisión eléctricos tomados del documento Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero (SEMARNAT, 2014) para el caso de consumo eléctrico, como se muestra en las Tablas 4.31 y 4.32. En el Apéndice F se presentan los factores calculados para los materiales seleccionados en estas etapas.

Tabla 4.31 Emisiones generadas por combustibles fósiles producidos por PEMEX

<b>Organismo que produce</b>	<b>Emisiones por producto</b>
PEMEX Petroquímica	1.19 tCO <sub>2</sub> e/ tonelada de petroquímico producido
PEMEX Gas y Petroquímica Básica	0.11 tCO <sub>2</sub> e/ tonelada de hidrocarburo producido
PEMEX Exploración y Producción	0.17 tCO <sub>2</sub> e/ tonelada de crudo y gas extraído
PEMEX Refinación	0.25 tCO <sub>2</sub> e/ tonelada de crudo procesado

Fuente: PEMEX, 2014

Tabla 4.32 Factores de emisión de electricidad promedio calculados por el Programa GEI México

<b>Factores de emisión de electricidad promedio calculados por el Programa GEI México</b>			
<b>Año</b>	<b>[tCO<sub>2</sub>e/MWh]</b>	<b>Año</b>	<b>[tCO<sub>2</sub>e/MWh]</b>
2013	0.4999	2004	0.5484
2012	0.5165	2003	0.6080
2011	0.5002	2002	0.6046
2010	0.4946	2001	0.6188
2009	0.5057	2000	0.6043
2008	0.4698	1999	0.6080
2007	0.5171	1998	0.6046
2006	0.5246	1997	0.6188
2005	0.5557	1996	0.6043

Fuente: SEMARNAT, 2014

Para la estimación de emisiones de GEI en las primeras dos etapas del ciclo de vida, se multiplicaron los factores obtenidos para los materiales analizados por la cantidad total de cada uno de los materiales, en cada tipo de vivienda. Para el cálculo de emisiones en las etapas restantes del ciclo de vida se consideraron los factores para combustibles y energía eléctrica mostrados con anterioridad, y se estimaron las cantidades de combustible y energía eléctrica de los procesos incluidos en estas etapas del sistema.

Se presentan en los apéndices de este documento resúmenes de los cálculos realizados para cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda: Apéndice G para extracción de materia prima, Apéndice H para producción de insumos, Apéndice I para construcción, Apéndice J para operación y uso, y Apéndice K para disposición final; mientras que en los Apéndices L, M y N se presentan las emisiones obtenidas para las cinco etapas en cada estudio de caso, es decir, en las viviendas tipo tradicional, media y residencial plus, respectivamente.

#### 4.2.3. Resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida y obtención de la huella de carbono

En la evaluación del impacto del análisis del ciclo de vida se calculó el potencial impacto de las emisiones de GEI emitidas en el cambio climático. Esto, según define la Norma ISO/DIS 14067 (2013), se realiza multiplicando la masa de GEI liberados o eliminados por

el Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés) a 100 años, propuesta por el IPCC en unidades de CO<sub>2</sub>e kg por kg de emisiones.

Sin embargo, debido a que el estudio se realizó en función de CO<sub>2</sub> equivalente, no es necesario afectar los valores obtenidos por los factores de potencial de calentamiento global, ya que la unidad incluye los distintos gases de efecto invernadero en función del mayor emisor, es decir, dióxido de carbono.

Finalmente y de acuerdo al objetivo 1 de esta investigación, se obtuvo la huella de carbono mediante la suma de los impactos calculados, para cada uno de los estudios de caso. En la Tabla 4.33 se presenta la huella de carbono total y por m<sup>2</sup> para cada vivienda analizada.

Tabla 4.33 Huella de carbono obtenida para cada estudio de caso

Vivienda tipo	Huella de carbono total	Huella de carbono por m <sup>2</sup>
Tradicional	126.29 tCO <sub>2</sub> e	2.51 tCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Media	324.53 tCO <sub>2</sub> e	3.01 tCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Residencial plus	769.66 tCO <sub>2</sub> e	2.83 tCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

#### 4.2.4. Resultados de la interpretación del ciclo de vida

Este paso del estudio está relacionado al cumplimiento del objetivo 2 de esta investigación, el cual es identificar los procesos más perjudiciales con respecto a sus emisiones generadas.

Como se esperaba, se observó que la vivienda con mayor superficie construida, y de mayor nivel socioeconómico, fue la que obtuvo la mayor huella de carbono acumulada (véase Tabla 4.33). Sin embargo, la huella de carbono por m<sup>2</sup>, aunque fue similar en las tres viviendas analizadas, resultó la vivienda media como la que genera mayor huella de carbono por m<sup>2</sup>.

En la Tabla 4.34 se puede apreciar que la etapa de operación y uso de la vivienda fue, por mucho, la que generó mayor cantidad de emisiones, en los tres estudios de caso, seguido por la producción de insumos. Por el contrario, se observó que tanto la etapa de extracción de materia prima como la de disposición final fueron las que generaron la menor cantidad de emisiones de GEI.

Tabla 4.34 Resumen de emisiones generadas por etapa y por vivienda

Etapa	Tradicional	Media	Residencial plus
Extracción de materia prima	4.02 kgCO <sub>2</sub> e	14.05 kgCO <sub>2</sub> e	29.86 kgCO <sub>2</sub> e
Producción de insumos	578.04 kgCO <sub>2</sub> e	2,095.09 kgCO <sub>2</sub> e	4,527.38 kgCO <sub>2</sub> e
Construcción	106.10 kgCO <sub>2</sub> e	271.57 kgCO <sub>2</sub> e	440.82 kgCO <sub>2</sub> e
Operación y uso	125,596.39 kgCO <sub>2</sub> e	322,131.51 kgCO <sub>2</sub> e	764,642.16 kgCO <sub>2</sub> e
Disposición final	6.27 kgCO <sub>2</sub> e	13.38 kgCO <sub>2</sub> e	17.14 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>126,290.82 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>324,525.59 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>769,657.36 kgCO<sub>2</sub>e</b>

En la Figura 4.7 se muestra un gráfico comparativo entre las emisiones obtenidas para cada estudio de caso en cada una de las etapas.

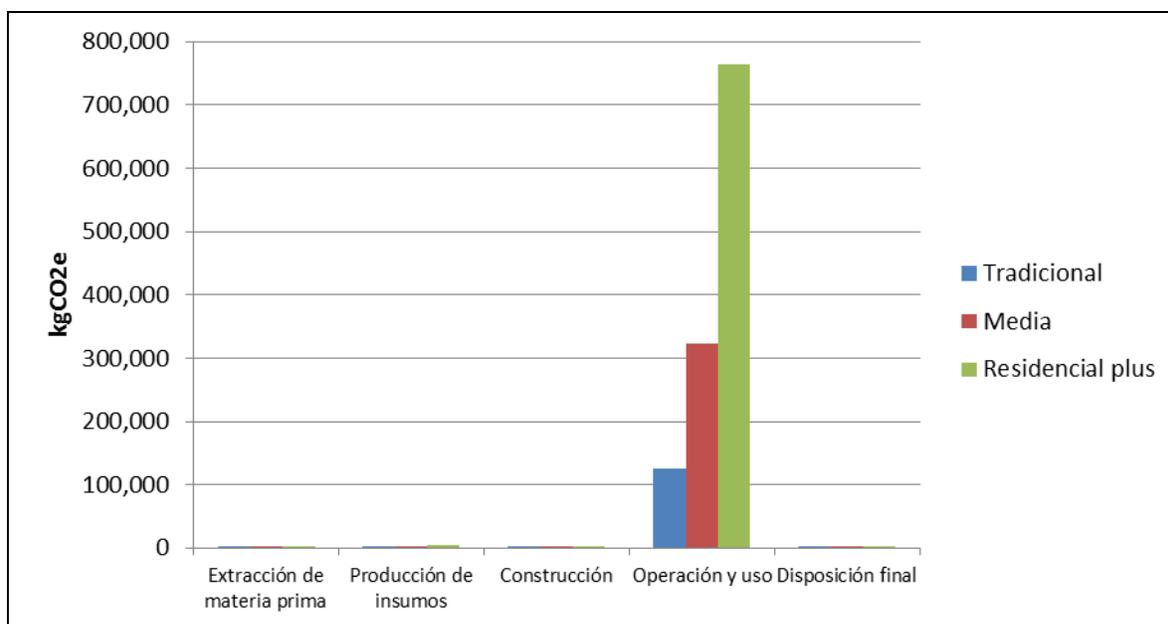


Figura 4.7 Gráfico comparativo de las emisiones generadas por etapa y por vivienda

En la Figura 4.8 se muestran las emisiones generadas durante la etapa de extracción de materia prima, donde puede apreciarse que los materiales cuya materia prima es la piedra caliza fueron los que obtuvieron mayor cantidad de emisiones, para los tres estudios de caso.

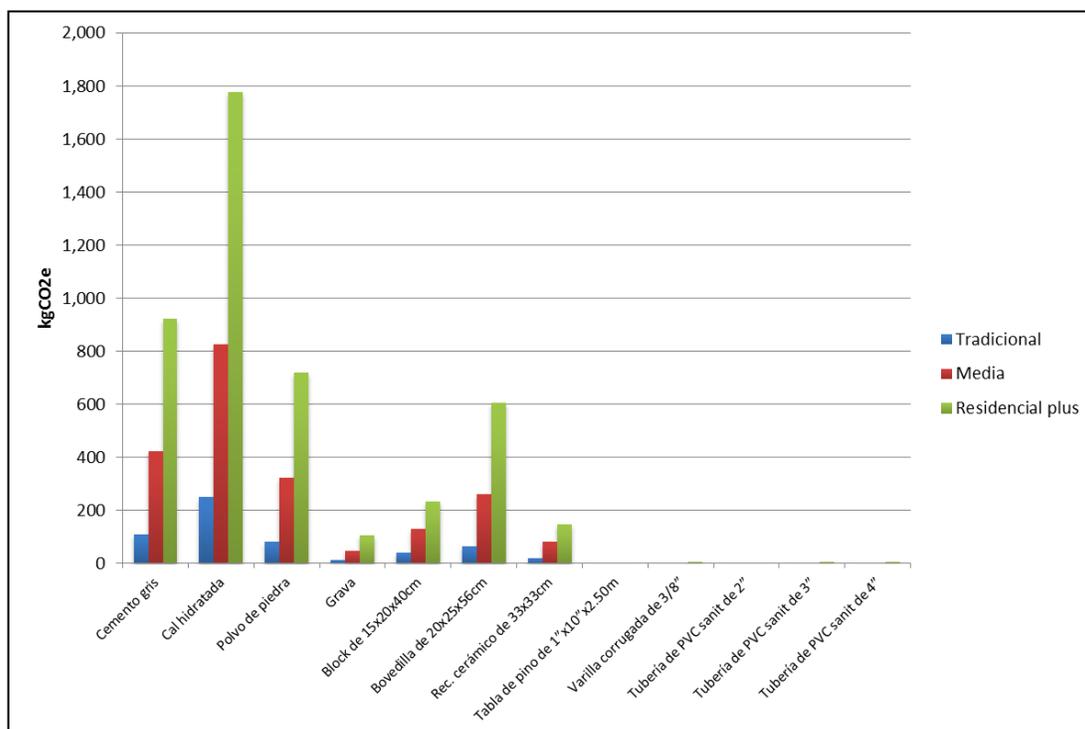


Figura 4.8 Emisiones generadas en la etapa de extracción de materia prima

En la Figura 4.9 se muestran las emisiones generadas durante la etapa de producción de insumos, donde se puede apreciar que la producción de cal hidratada produjo mayor cantidad de emisiones, seguida por la producción de cemento, mientras que la producción de tablas, varillas y tuberías de PVC fueron los que generaron menor cantidad de emisiones entre los materiales seleccionados.

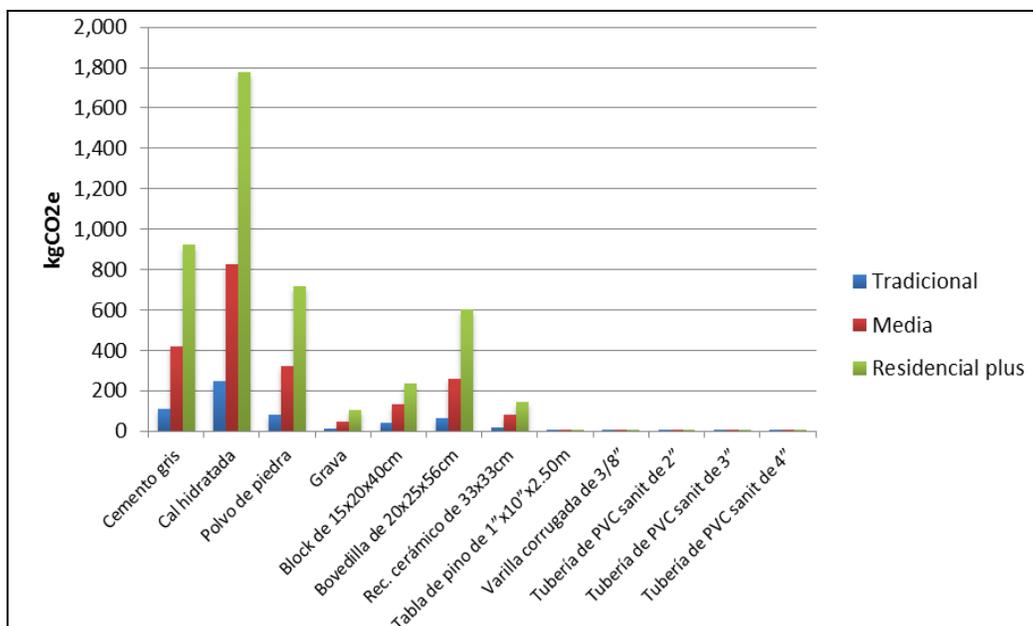


Figura 4.9 Emisiones generadas en la etapa de producción de insumos

En la Figura 4.10 se muestran las emisiones generadas durante la etapa de construcción de la vivienda. Puede apreciarse que el transporte de materiales fue el rubro que generó mayor cantidad de emisiones en esta etapa para las tres viviendas analizadas, mientras que el transporte de desechos generados durante la construcción fue el proceso que generó menor cantidad de emisiones.

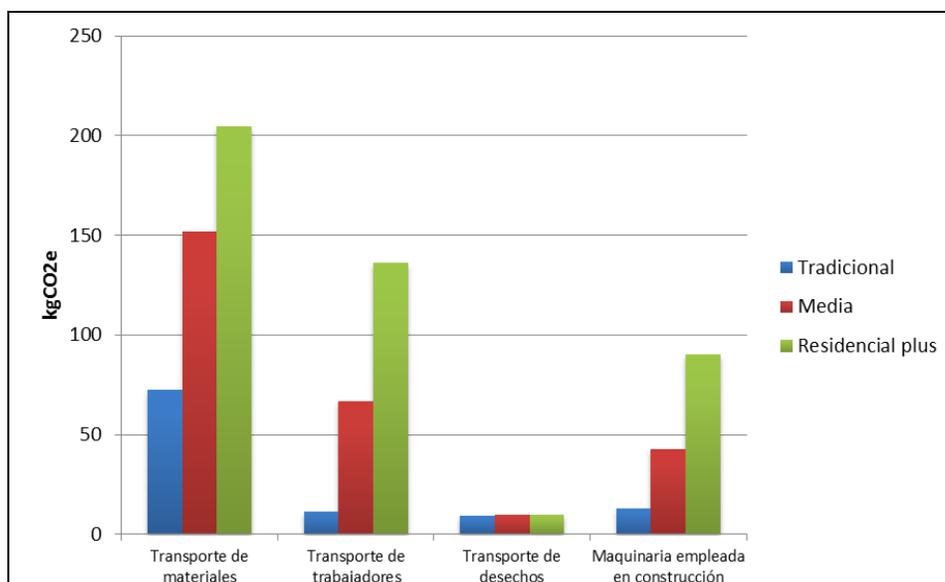


Figura 4.10 Emisiones generadas en la etapa de construcción

En la Figura 4.11 se muestran las emisiones generadas durante la etapa de operación y uso de la vivienda, que fue la etapa con mayor cantidad de emisiones obtenidas. Puede apreciarse que, por mucho, el consumo energético fue el mayor emisor de GEI. Por el contrario, el mantenimiento recomendado por el constructor fue el rubro menor, el cual apenas puede apreciarse en el gráfico comparativo.

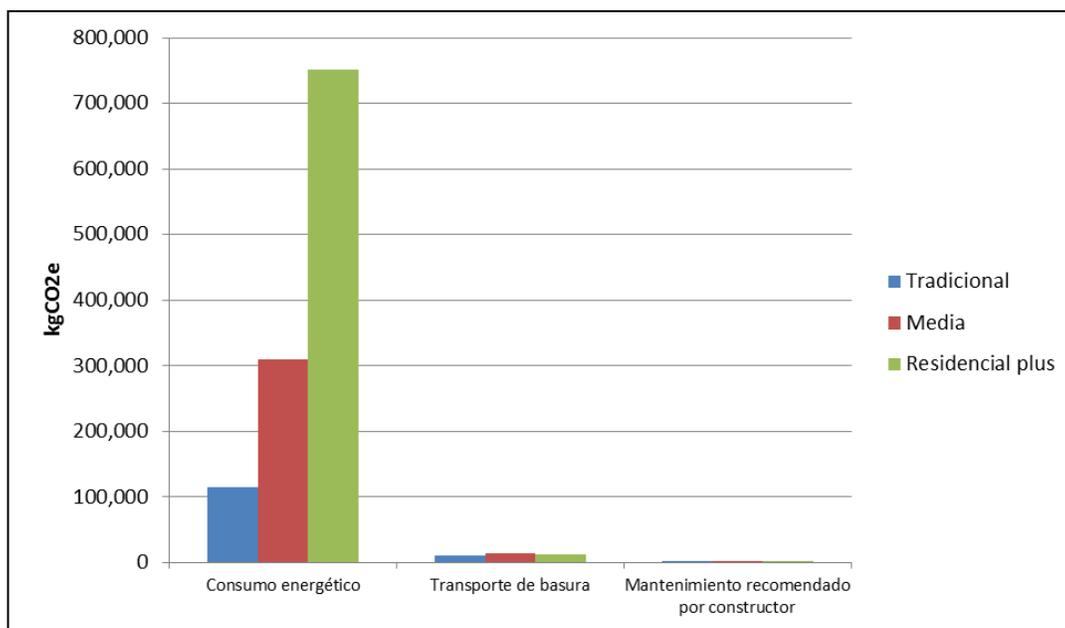


Figura 4.11 Emisiones generadas en la etapa de operación y uso

Finalmente, en la Figura 4.12 se muestran las emisiones generadas durante la etapa de disposición final de la vivienda, que fue una de las etapas con menor cantidad de emisiones obtenidas. Puede apreciarse que la maquinaria considerada para demolición de las viviendas fue el proceso mayor de esta etapa, siendo ligeramente mayor con respecto a los procesos analizados en cada estudio de caso.

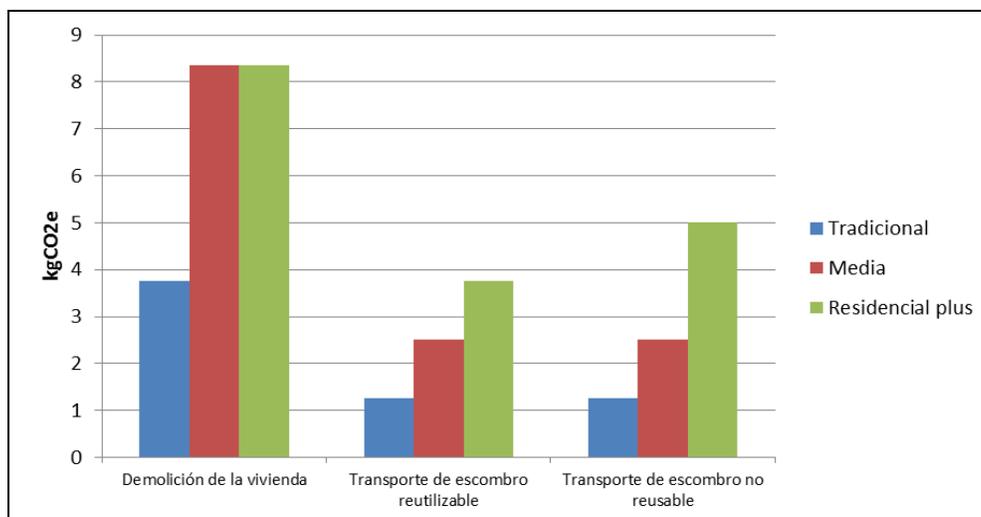


Figura 4.12 Emisiones generadas en la etapa de disposición final

En el Apéndice O de este documento se presentan tablas comparativas con los resultados de esta investigación, en base a los cuales se realizaron los gráficos presentados en esta sección, así como los gráficos presentados con áreas ampliadas de las secciones menos apreciables de los mismos.

Como parte de esta sección, se muestran a continuación las que fueron consideradas limitaciones presentadas durante la realización de este estudio:

- La primera limitación se relaciona con la poca cooperación que mostraron los constructores del medio, así como con diversos proveedores y ocupantes de las viviendas. Los participantes limitaron la información que proporcionaron al estudio, como es el caso de prohibir visitas a las instalaciones o permitir sólo entrevistas vía telefónica. Se encontró mayormente negativas a participar en investigaciones de este tipo, expresando su negativa a la visita de gente ajena a sus instalaciones o a la divulgación de los datos que pudieran proporcionar, y en un caso específico una empresa expresó que las políticas de su empresa prohíbe la participación de sus empleados en estudios de investigación.

- La segunda limitación se relaciona con la forma de obtención de los datos, ya que al plantear la metodología de la investigación se pretendía visitar las plantas de producción, como sí se visitaron las obras en construcción, pero solo un proveedor permitió esta visita. Los demás datos fueron tomados mediante entrevistas, en su mayoría vía telefónica. Esto se relaciona con la limitación de información que se mencionó en el punto anterior.
- La tercera se relaciona con el tiempo limitado en el cual fue realizado este estudio, pues como resultado de los imprevistos durante la investigación se debieron hacer algunas omisiones, como reducir la cantidad de análisis realizados y los materiales considerados, por mencionar algunas.

### 4.3. Resultados del análisis usando el software SimaPro

Como complemento a esta investigación, se realizó un análisis del ciclo de vida de la huella de carbono en cada tipo de vivienda estudiada, usando el software SimaPro 8.1. Los resultados de las emisiones generadas en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> se presentan en la Tabla 4.35 por tipo de vivienda y por etapa del ciclo de vida.

Tabla 4.35 Emisiones generadas por etapa del ciclo de vida y por tipo de vivienda, obtenidas del análisis con SimaPro

<b>Tipo de Vivienda</b>	<b>TRADICIONAL</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RESIDENCIAL PLUS</b>
<b>Etapa de Ciclo de Vida</b>			
Extracción de materia prima	0.0002	0.0007	0.0015
Producción de insumos	0.0090	0.0322	0.0711
Construcción	1.4400	4.9500	10.5000
Operación y uso	247.0000	634.0000	1,530.0000
Disposición final	0.0132	0.0181	0.0351
<b>Emisiones por vivienda</b>	<b>249.0000</b>	<b>639.0000</b>	<b>1,540.0000</b>

Nota: Cantidades en Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>

A continuación, para cada una de las tres viviendas analizadas, se detallan los flujos de entradas y salidas que utilizaron para modelar los procesos unitarios con el software

SimaPro. También se muestran los diagramas de Red obtenidos del análisis de cada vivienda con el SimaPro.

#### 4.3.1. Resultados de SimaPro para vivienda tipo tradicional

Para la vivienda tradicional, el software mostró el consumo eléctrico como el mayor emisor de GEI, tal como se puede apreciar en la red resultante de SimaPro que se muestra en la Figura 4.13. Otros procesos significativos para este tipo de vivienda fueron el transporte, tanto de basura como de materiales, así como los procesos de extracción y producción de materiales relacionados con el material pétreo, como el cemento y la cal.

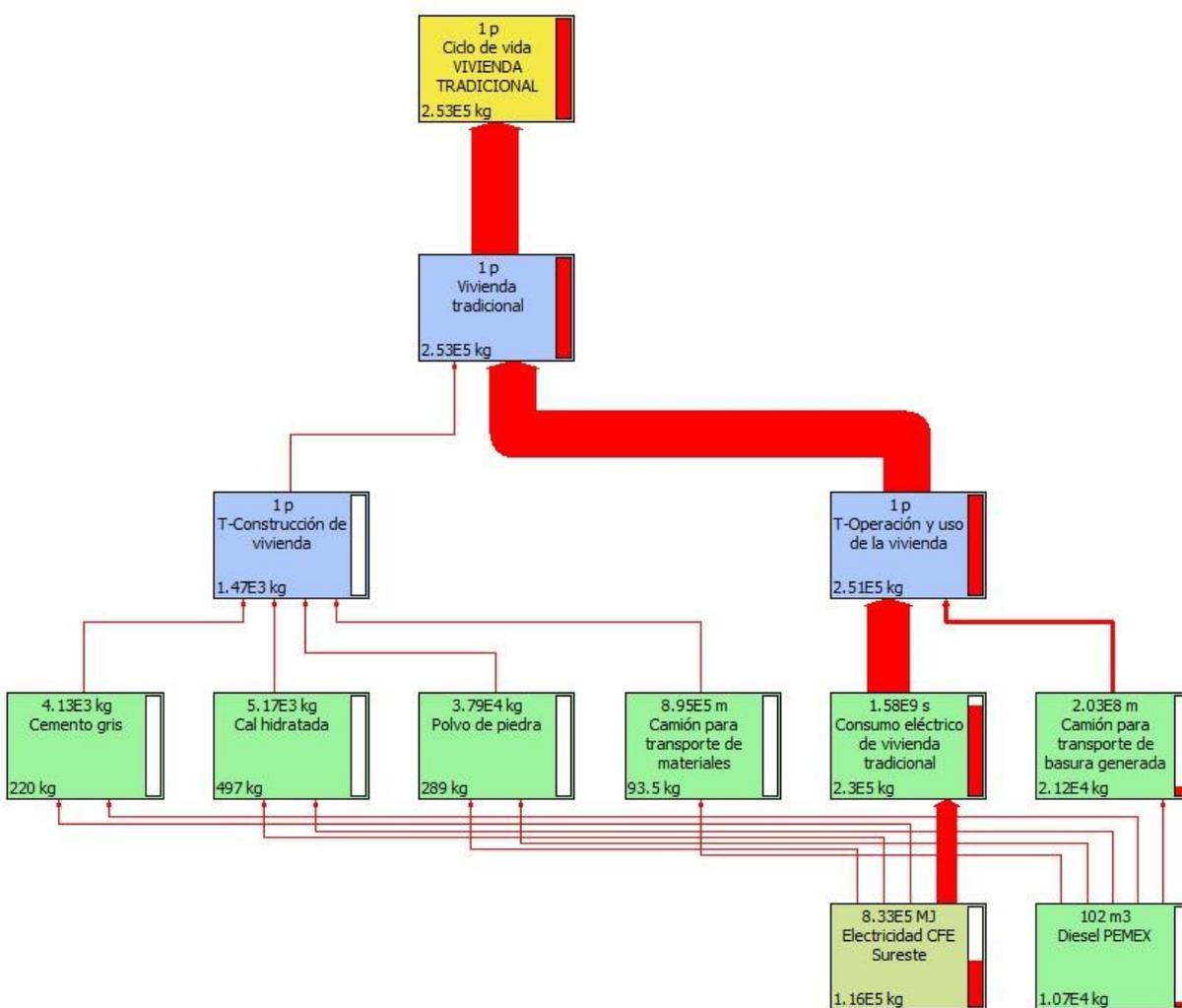


Figura 4.13 Red obtenida con SimaPro para vivienda tradicional

En la Tablas 4.36, 4.37, 4.38. 4.39 y 4.40 se presentan los flujos de entradas y salidas en cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda tipo tradicional, considerados para el análisis empleando el software.

Tabla 4.36 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo tradicional

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Diesel para extracción de piedra caliza	lt	Estimación en base a información de proveedor	66.7001
Diesel para extracción de madera de pino	lt	Estimación en base a información de proveedor	1.1381
Diesel para extracción de mineral de hierro	lt	Estimación en base a información de proveedor	0.0001
Electricidad para extracción de mineral de hierro	kWh	Estimación en base a información de proveedor	0.0306
Electricidad para extracción de cloruro de vinilo	kWh	Estimación en base a información de proveedor	0.5696
<b>Salidas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	5.2498
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	8.2734
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	74.9618
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	20.4324
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	11.9400
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	2.5740
Piedra caliza para recubrimiento cerámico	ton	Información de proveedor	0.3569
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	0.7795
Mineral de hierro para varillas corrugadas	ton	Información de proveedor	208.5461
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0194
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.0336
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.0381

Tabla 4.37 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo tradicional

Flujo	Uni.	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	5.2498
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	8.2734
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	74.9618
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	20.4324
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	11.9400
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	2.5740
Piedra caliza para recubrimiento	ton	Información de proveedor	0.3569
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	0.7795
Mineral de hierro para varillas	ton	Información de proveedor	208.5461
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0194
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.0336
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.0381
Diesel para producción de materiales	lt	Estimación en base a información de proveedor	59.0712
Electricidad para producción de materiales	kWh	Estimación en base a información de proveedor	1,524.1113
Carbón para producción de materiales	kg	Estimación en base a información de proveedor	0.0004
<b>Salidas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	4.1337
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	5.1709
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	37.8595
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	17.7592
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	9.5520
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	1.9800
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	563.6891
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	194.8725
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	208.5461
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	12.1200
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	21.0000
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	23.8400

Tabla 4.38 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para la vivienda tipo tradicional

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	4.1337
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	5.1709
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	37.8595
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	17.7592
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	9.5520
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	1.9800
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	563.6891
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	194.8725
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	208.5461
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	12.1200
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	21.0000
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	23.8400
Diesel para transporte de materiales en camión de 15 ton	lt	Estimación en base a información de transportista	447.5000
Diesel para transporte de materiales en volquete	lt	Estimación en base a información de transportista	48.0000
Diesel para transporte de materiales en camioneta Hyundai	lt	Estimación en base a información de transportista	198.9400
Diesel para transporte de trabajadores en camioneta tipo van	lt	Estimación en base a información de transportista	204.5300
Diesel por uso de retroexcavadora en la construcción	lt	Información de constructor	50.4000
Diesel por uso de revolvedora de 1 saco en la construcción	lt	Información de constructor	75.0000
<b>Salidas</b>			
Escombro reusable	m3	Información de constructor	14.0000
Diesel por desalojo de escombro reusable producto de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	24.0000
Desechos no reusables	m3	Información de constructor	42.0000
Diesel por desalojo de desechos no reusables producto de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	62.4000

Tabla 4.39 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo tradicional

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	0.0490
Cal hidratada para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	0.3634
Polvo de piedra para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	0.8712
Recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	140.9231
Tubería PVC 2" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	12.1200
Tubería PVC 3" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	21.0000
Tubería PVC 4" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	23.8400
Consumo eléctrico de vivienda tradicional	kWh	Estimación en base a información de habitantes	229,943.7500
<b>Salidas</b>			
Basura generada por uso de la vivienda	ton	Estimación en base a información de habitantes	624.0000
Transporte de basura generada por uso de vivienda	lt	Estimación en base a información de habitantes	101,400.0000

Tabla 4.40 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo tradicional

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Diesel por uso de retroexcavadora para demolición de vivienda	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
<b>Salidas</b>			
Escombro reusable producto de la demolición	m3	Información de constructor	3.6300
Diesel por transporte de escombro reusable producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	12.0000
Escombro no reusable producto de la demolición	m3	Información de constructor	3.6300
Diesel por transporte de escombro no reusable producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	12.0000

### 4.3.2. Análisis de SimaPro para vivienda media

Para la vivienda media, el software nuevamente mostró el consumo eléctrico como el mayor emisor de GEI, tal como se puede apreciar en la red resultante de SimaPro que se muestra en la Figura 4.14. Para este tipo de vivienda, otros procesos significativos fueron el transporte de basura, los procesos de extracción y producción de materiales relacionados con el material pétreo, como el cemento y la cal, y el uso de cal para el mantenimiento recomendado por el constructor.

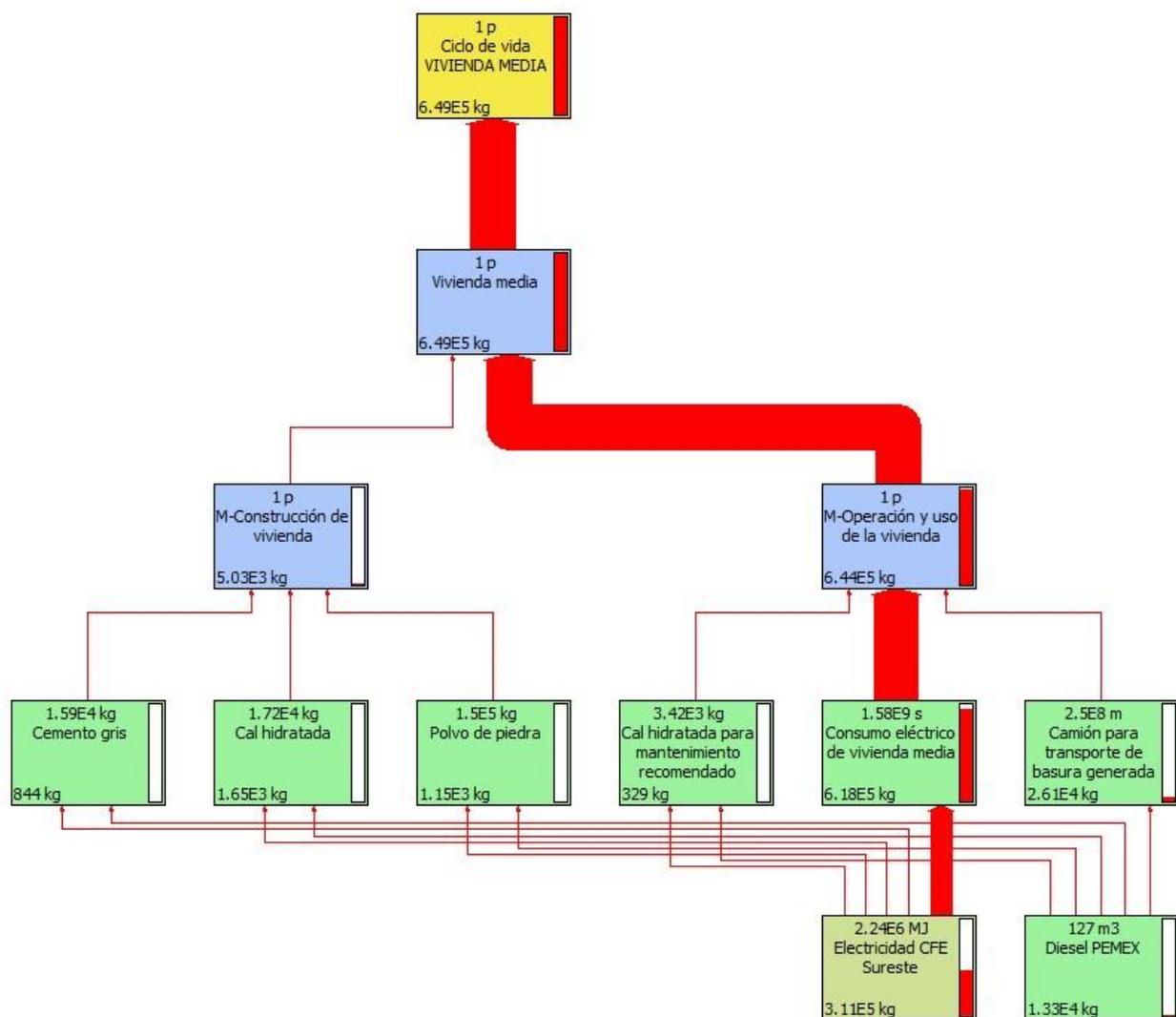


Figura 4.14 Red obtenida con SimaPro para vivienda media

En la Tablas 4.41, 4.42, 4.43, 4.44 y 4.45 se presentan los flujos de entradas y salidas en cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda tipo media, considerados para el análisis empleando el software.

Tabla 4.41 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo media

<b>Flujo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
<b>Entradas</b>			
Diesel para extracción de piedra caliza	lt	Estimación en base a información de proveedor	255.4844
Diesel para extracción de madera de pino	lt	Estimación en base a información de proveedor	3.8624
Diesel para extracción de mineral de hierro	lt	Estimación en base a información de proveedor	0.0038
Electricidad para extracción de mineral de hierro	kWh	Estimación en base a información de proveedor	0.1157
Electricidad para extracción de cloruro de vinilo	kWh	Estimación en base a información de proveedor	0.8544
<b>Salidas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	19.8264
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	27.4832
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	297.9795
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	164.7389
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	38.0900
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	10.6860
Piedra caliza para recubrimiento cerámico	ton	Información de proveedor	1.4943
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	2.6455
Mineral de hierro para varillas corrugadas	ton	Información de proveedor	788.3449
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0291
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.0504
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.0572

Tabla 4.42 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo media

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	19.8264
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	27.4832
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	297.9795
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	164.7389
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	38.0900
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	10.6860
Piedra caliza para recubrimiento cerámico	ton	Información de proveedor	1.4943
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	2.6455
Mineral de hierro para varillas	ton	Información de proveedor	788.3449
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0291
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.0504
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.0572
Diesel para producción de materiales	lt	Estimación en base a información de proveedor	227.1553
Electricidad para producción de materiales	kWh	Estimación en base a información de proveedor	5,644.5171
Carbón para producción de materiales	kg	Estimación en base a información de proveedor	0.0015
<b>Salidas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	15.8611
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	17.1770
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	150.4947
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	67.6012
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	30.4720
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	8.2200
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	2,360.1738
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	661.3685
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	788.3449
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	18.1800
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	31.5000
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	35.7600

Tabla 4.43 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para la vivienda tipo media

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	15.8611
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	17.1770
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	150.4947
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	67.6012
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	30.4720
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	8.2200
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	2,360.1738
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	661.3685
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	788.3449
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	18.1800
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	31.5000
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	35.7600
Diesel para transporte de materiales en camión de 15 ton	lt	Estimación en base a información de transportista	1,061.0000
Diesel para transporte de materiales en volquete	lt	Estimación en base a información de transportista	128.5700
Diesel para transporte de materiales en camioneta Hyundai	lt	Estimación en base a información de transportista	264.6000
Diesel para transporte de trabajadores en camioneta tipo van	lt	Estimación en base a información de transportista	797.7300
Diesel por uso de retroexcavadora en la construcción	lt	Información de constructor	50.4000
Diesel por uso de apisonador en la construcción	lt	Información de constructor	120.0000
Diesel por uso de revolvedora de 1 saco en la construcción	lt	Información de constructor	240.0000
<b>Salidas</b>			
Escombro reusable	m3	Información de constructor	14.0000
Diesel por desalojo de escombro reusable producto de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	24.0000
Desechos no reusables	m3	Información de constructor	42.0000
Diesel por desalojo de desechos no reusables de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	72.0000

Tabla 4.44 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo media

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	1.7373
Cal hidratada para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	3.4209
Polvo de piedra para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	17.6250
Recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	590.0419
Tubería PVC 2" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	18.1800
Tubería PVC 3" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	31.5000
Tubería PVC 4" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	35.7600
Consumo eléctrico de vivienda tradicional	kWh	Estimación en base a información de habitantes	617,632.5000
<b>Salidas</b>			
Basura generada por uso de la vivienda	ton	Estimación en base a información de habitantes	624.0000
Transporte de basura generada por uso de vivienda	lt	Estimación en base a información de habitantes	124,800.0000

Tabla 4.45 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo media

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Diesel por uso de retroexcavadora para demolición de vivienda	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
Diesel por uso de martillo demoledor para demolición de vivienda	lt	Estimación en base a información de constructor	44.0000
<b>Salidas</b>			
Escombros reusables producto de la demolición	m3	Información de constructor	7.7600
Diesel por transporte de escombros reusables producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
Escombros no reusables producto de la demolición	m3	Información de constructor	7.7600
Diesel por transporte de escombros no reusables producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	48.0000

### 4.3.3. Análisis de SimaPro para vivienda residencial plus

Para la vivienda residencial plus, tal como en los dos estudios de caso anteriores, el software mostró el consumo eléctrico como el mayor emisor de GEI, tal como se puede apreciar en la red resultante de SimaPro que se muestra en la Figura 4.15. Otros procesos significativos para la vivienda tipo residencial plus fueron el transporte de basura, los procesos de extracción y producción de materiales relacionados con el material pétreo, como el cemento y la cal, y el uso de cal para el mantenimiento recomendado por el constructor de la vivienda.

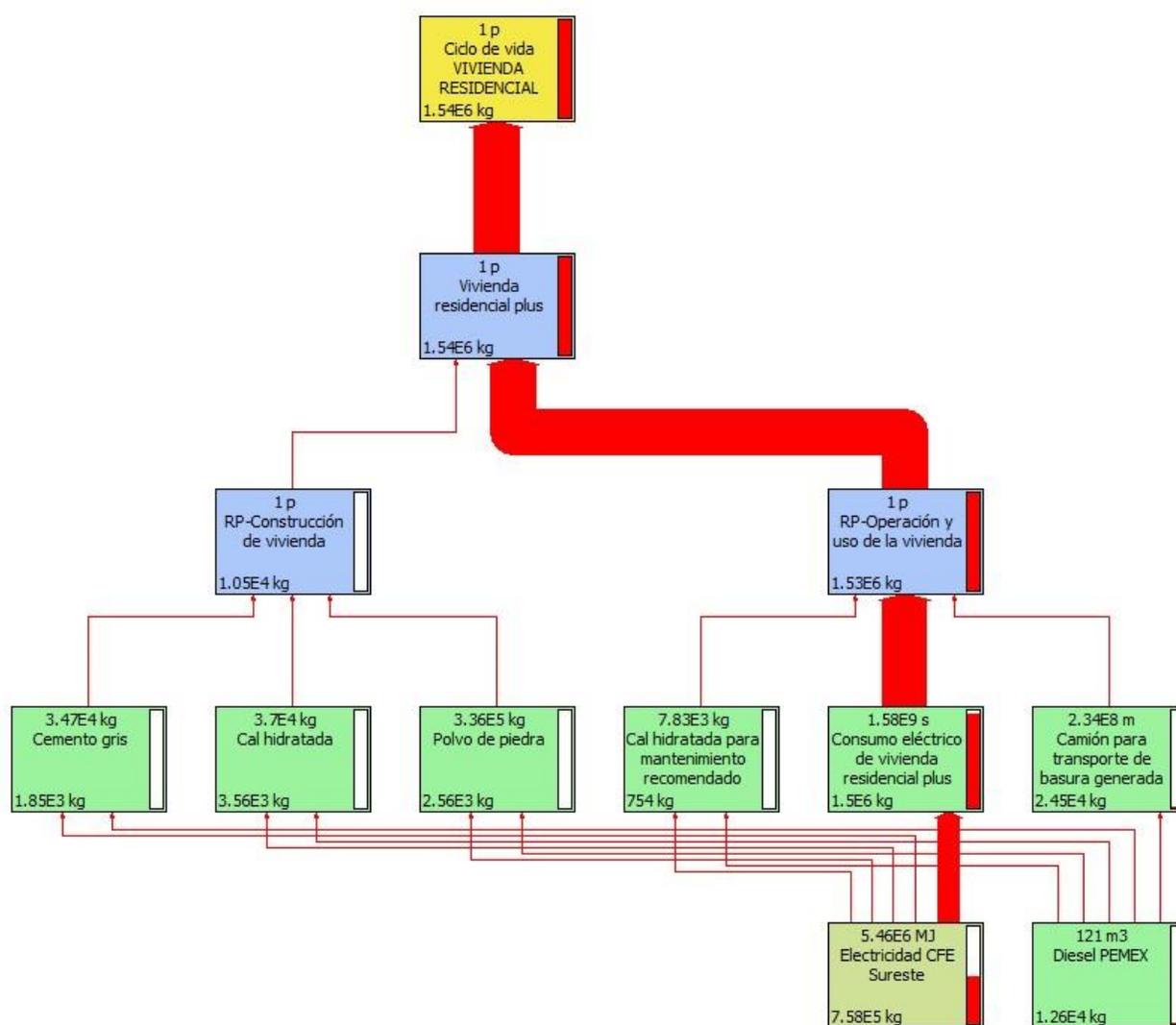


Figura 4.15 Red obtenida con SimaPro para vivienda residencial plus

En la Tablas 4.46, 4.47, 4.48, 4.49 y 4.50 se presentan los flujos de entradas y salidas en cada una de las etapas del ciclo de vida de la vivienda tipo residencial plus, considerados para el análisis empleando el software.

Tabla 4.46 Flujos de entradas y salidas en la etapa de extracción de materia prima para la vivienda tipo residencial plus

<b>Flujo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
<b>Entradas</b>			
Diesel para extracción de piedra caliza	lt	Estimación en base a información de proveedor	564.5827
Diesel para extracción de madera de pino	lt	Estimación en base a información de proveedor	8.4872
Diesel para extracción de mineral de hierro	lt	Estimación en base a información de proveedor	0.0073
Electricidad para extracción de mineral de hierro	kWh	Estimación en base a información de proveedor	0.2210
Electricidad para extracción de cloruro de vinilo	kWh	Estimación en base a información de proveedor	2.4208
<b>Salidas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	44.0498
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	59.1786
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	665.4527
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	379.2166
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	68.4100
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	24.7881
Piedra caliza para recubrimiento cerámico	ton	Información de proveedor	2.6914
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	5.8131
Mineral de hierro para varillas corrugadas	ton	Información de proveedor	1,506.5526
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0824
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.1428
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.1621

Tabla 4.47 Flujos de entradas y salidas en la etapa de producción de insumos para la vivienda tipo residencial plus

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Piedra caliza para cemento gris	ton	Información de proveedor	44.0498
Piedra caliza para cal hidratada	ton	Información de proveedor	59.1786
Piedra caliza para polvo de piedra	ton	Información de proveedor	665.4527
Piedra caliza para grava	ton	Información de proveedor	379.2166
Piedra caliza para bloques	ton	Información de proveedor	68.4100
Piedra caliza para bovedillas	ton	Información de proveedor	24.7881
Piedra caliza para recubrimiento cerámico	ton	Información de proveedor	2.6914
Madera de pino para tablas	m3	Información de proveedor	5.8131
Mineral de hierro para varillas	ton	Información de proveedor	1,506.5526
Cloruro de vinilo para tubería PVC 2"	ton	Información de proveedor	0.0824
Cloruro de vinilo para tubería PVC 3"	ton	Información de proveedor	0.1428
Cloruro de vinilo para tubería PVC 4"	ton	Información de proveedor	0.1621
Diesel para producción de materiales	lt	Estimación en base a información de proveedor	504.5487
Electricidad para producción de materiales	kWh	Estimación en base a información de proveedor	12,313.3405
Carbón para producción de materiales	kg	Estimación en base a información de proveedor	0.0028
<b>Salidas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	34.6849
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	36.9866
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	336.0872
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	155.6129
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	54.7280
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	19.0680
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	4,250.8763
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	1,453.2820
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	1,506.5526
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	51.5100
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	89.2500
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	101.3200

Tabla 4.48 Flujos de entradas y salidas en la etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris	ton	Estimación en base a información de constructor	34.6849
Cal hidratada	ton	Estimación en base a información de constructor	36.9866
Polvo de piedra	ton	Estimación en base a información de constructor	336.0872
Grava	ton	Estimación en base a información de constructor	155.6129
Bloques	ton	Estimación en base a información de constructor	54.7280
Bovedillas	ton	Estimación en base a información de constructor	19.0680
Recubrimiento cerámico	kg	Estimación en base a información de constructor	4,250.8763
Tablas de pino	kg	Estimación en base a información de constructor	1,453.2820
Varilla corrugada	kg	Estimación en base a información de constructor	1,506.5526
Tubería PVC 2"	kg	Estimación en base a información de constructor	51.5100
Tubería PVC 3"	kg	Estimación en base a información de constructor	89.2500
Tubería PVC 4"	kg	Estimación en base a información de constructor	101.3200
Diesel para transporte de materiales en camión de 15 ton	lt	Estimación en base a información de transportista	1,109.2500
Diesel para transporte de materiales en volquete	lt	Estimación en base a información de transportista	311.1400
Diesel para transporte de materiales en camioneta Hyundai	lt	Estimación en base a información de transportista	536.0600
Diesel para transporte de trabajadores en camioneta tipo van	lt	Estimación en base a información de transportista	978.2700
Diesel por uso de retroexcavadora en la construcción	lt	Información de constructor	129.6000
Diesel por uso de apisonador en la construcción	lt	Información de constructor	492.0000
Diesel por uso de revolvedora de 1 saco en la construcción	lt	Información de constructor	240.0000
<b>Salidas</b>			
Escombro reusable	m3	Información de constructor	21.0000
Diesel por desalojo de escombro reusable de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
Desechos no reusables	m3	Información de constructor	35.0000
Diesel por desalojo de desechos no reusables de la construcción	lt	Estimación en base a información de constructor	60.0000

Tabla 4.49 Flujos de entradas y salidas en la etapa de operación y uso para la vivienda tipo residencial plus

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Cemento gris para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	4.1404
Cal hidratada para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	7.8287
Polvo de piedra para mantenimiento recomendado	ton	Estimación en base a información de constructor	41.5499
Recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	1,062.7163
Tubería PVC 2" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	51.5100
Tubería PVC 3" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	89.2500
Tubería PVC 4" para mantenimiento recomendado	kg	Estimación en base a información de constructor	101.3200
Consumo eléctrico de vivienda tradicional	kWh	Estimación en base a información de habitantes	1'503,580.5000
<b>Salidas</b>			
Basura generada por uso de la vivienda	ton	Estimación en base a información de habitantes	624.0000
Transporte de basura generada por uso de vivienda	lt	Estimación en base a información de habitantes	117,000.0000

Tabla 4.50 Flujos de entradas y salidas en la etapa de disposición final para la vivienda tipo residencial plus

Flujo	Unidad	Método	Resultado
<b>Entradas</b>			
Diesel por uso de retroexcavadora para demolición de vivienda	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
Diesel por uso de martillo demoledor para demolición de vivienda	lt	Estimación en base a información de constructor	44.0000
<b>Salidas</b>			
Escombros reusables producto de la demolición	m3	Información de constructor	15.6700
Diesel por transporte de escombros reusables producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	36.0000
Escombros no reusables producto de la demolición	m3	Información de constructor	23.5000
Diesel por transporte de escombros no reusables producto de la demolición con volquete	lt	Estimación en base a información de constructor	48.0000

## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos.

### 5.1. Respuesta a las preguntas de investigación

Presentados los resultados obtenidos, se procede a responder las preguntas de investigación planteadas al inicio de la investigación, en base a las cuales se plantearon los objetivos de la misma.

#### 1. ¿Cuántas son las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en cada componente del ciclo de vida de la vivienda en Mérida, Yucatán?

En la Tabla 4.34 se plasmaron los valores resultantes del cálculo de emisiones de GEI para cada una de las etapas, expresados en kgCO<sub>2</sub>e, que es como la Norma ISO 14067:2013 expresa que debe emplearse para la obtención de huella de carbono en productos, tal como se consideró cada una de las viviendas de los tres estudios de caso analizados.

Se obtuvo que la cantidad de emisiones fue mayor conforme mayor fuera la superficie construida de la vivienda, según los resultados de las tres viviendas analizadas. Para las tres viviendas, la etapa de operación y uso fue la que generó mayor cantidad de emisiones, y por tanto la mayor huella de carbono, mientras que las etapas de extracción de materia prima y disposición final fueron las menores.

#### 2. ¿Cuáles son los procesos que generan más emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de la vivienda en Mérida, Yucatán?

Se obtuvo que el proceso que mayor cantidad de emisiones generó fue el consumo energético en la etapa de operación y uso de la vivienda, para los tres casos de estudio. También pudo observarse cantidades altas de emisiones en la producción de materiales relacionados con los agregados pétreos (piedra caliza).

## **5.2. Análisis de los resultados generales**

Los resultados generales, plasmados en la Tabla 4.33 del capítulo anterior, muestran que la huella de carbono obtenida fue mayor conforme mayor fue la superficie construida de la vivienda. Este resultado se esperaba debido a que, conforme mayor es la vivienda mayor es la cantidad de material que se emplea para su construcción y mayor es el número de ocupantes de la vivienda, lo que generaría una cantidad mayor de emisiones de GEI.

Sin embargo, la huella de carbono por m<sup>2</sup> de superficie construida no resultó en función del tamaño de las viviendas, observando valores similares en los tres casos y siendo la vivienda media la que generó mayor cantidad de emisiones por m<sup>2</sup>.

## **5.3. Análisis de los resultados por etapas**

### **5.3.1. Etapa de extracción de materia prima**

Los resultados obtenidos mostraron una mayor generación de emisiones en los procesos de extracción para materiales que emplean como materia prima el agregado pétreo (piedra caliza). Algunos productores de materiales expresaron estar en proceso de aplicación de programas para la reducción de las emisiones generadas en sus procesos productivos, los cuales fueron los productores de materiales cuya estimación de emisiones fue relativamente menor, siendo consistente con los resultados obtenidos. Cabe mencionar que los materiales que emplearon agregado pétreo como materia prima conformaron en volumen la mayor cantidad de material empleado en la construcción de las viviendas, con respecto a los demás materiales considerados.

### **5.3.2. Etapa de producción de insumos**

En esta etapa, la mayor cantidad de emisiones se obtuvo en la producción de cal y no en el cemento, tal como se leyó en la literatura consultada, lo cual puede deberse a la cantidad de cal que emplean las viviendas para su construcción y que la maquinaria empleada en el proceso de producción de la cal genera mayores cantidades de emisiones.

Cabe destacar que el mayor proveedor de cal de la región expresó no desear participar en este estudio, por lo cual se recurrió a un proveedor de cal más pequeño. Este proveedor hizo mención de que, siendo una empresa más pequeña, su proceso productivo no se encuentra tan bien regulado y considera que su producción genera una mayor cantidad de emisiones de GEI.

### 5.3.3. Etapa de construcción

Pudo observarse que para las tres viviendas analizadas se generó mayor cantidad de emisiones en el transporte de materiales, ya que algunos de los materiales son traídos de fuera del estado, lo que incrementa el consumo de combustible por el transporte de material en grandes distancias. En contraste, el transporte de desechos producidos durante la construcción fue el proceso que generó menor cantidad de emisiones, para los tres casos de estudio.

### 5.3.4. Etapa de operación y uso

Tal como mostraban los resultados de estudios consultados, el proceso que mayor cantidad de emisiones generó para cada uno de los casos de estudio fue el consumo energético. Según se encuestó a algunos ocupantes de las viviendas analizadas, aun en las viviendas más pequeñas se cuenta con una cantidad considerable de aparatos eléctricos que aumentan estas generaciones considerando que se emplearían en la vivienda durante toda su vida útil, estimada en 50 años.

Por el contrario, el mantenimiento recomendado por el constructor fue el proceso que mostró menor cantidad de emisiones, ya que dichos trabajos se realizan en pocas ocasiones durante el tiempo de vida de la vivienda, además de que en este estudio sólo se incluyeron los trabajos relacionados a los materiales seleccionados para el estudio.

### 5.3.5. Etapa de disposición final

Finalmente, se observó que esta fue la etapa que generó menor cantidad de emisiones para las tres viviendas analizadas, junto con la etapa de extracción de materia prima. Lo

anterior se debe al pequeño grupo de procesos que suceden en esta etapa, siendo despreciables sus emisiones con respecto a las obtenidas en las demás etapas del ciclo de vida.

Entre los procesos considerados, se observó que las emisiones de GEI producidas por la maquinaria empleada en la demolición fue ligeramente mayor a los demás procesos considerados en esta etapa.

#### **5.4. Comparación de resultados con otros estudios**

Los estudios realizados sobre el tema que se encontraron durante la revisión bibliográfica, si bien identificaban la fuente de la mayor cantidad de emisiones de GEI, sólo algunos determinaron un valor numérico para la huella de carbono, y en ninguno de ellos su objetivo era esta determinación. A continuación se presentan comparativas entre estos estudios y los resultados obtenidos.

Dahlstrom (2011) comparó la huella de carbono del mismo tipo de vivienda elaborada por dos procesos constructivos distintos, según las normas de Noruega. Consideró la construcción, desechos de los materiales, uso de agua y electricidad de las viviendas, demolición y desechos generados. Como resultados, obtuvo 1.59 tCO<sub>2</sub> y 1.29 tCO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de vivienda, identificando el consumo de agua y electricidad de las viviendas como los mayores generadores de emisiones. Si bien coincide con el consumo energético como el mayor generador de emisiones de GEI, los valores de la huella de carbono obtenida son mayores comparándolos con su estudio, lo cual se puede explicar por los materiales y procesos constructivos más sustentables empleados en Noruega.

Filipe y Quintana (2013) obtuvieron la huella ecológica de una vivienda, considerando solo la movilidad y energía en la etapa de uso de la vivienda, con base en encuestas a los ocupantes de las viviendas analizadas, obteniendo que la energía usada por la vivienda genera mayor cantidad de emisiones que la movilidad de los ocupantes, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

Muñoz et al (2012) analizaron las emisiones generadas en el ciclo de vida de la vivienda en función del consumo energético, obteniendo que el consumo energético en la etapa de construcción es despreciable pero con mayor huella de carbono, debido a la producción de sus materiales. Esto se pudo comprobar en la investigación realizada, en la que las emisiones generadas por la etapa de construcción de la vivienda fueron despreciables, en comparación con las generadas durante las etapas de extracción y producción de los materiales seleccionados.

Finalmente, Medina (2007) realizó un análisis del ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción de vivienda masiva en Yucatán, México. Como resultados obtuvo una contribución de 5.37 tCO<sub>2</sub> por vivienda, identificando el cemento y sus productos como la fuente principal de emisión de contaminantes. Debido a que este estudio consideró todo el ciclo de vida de la vivienda, y no sólo hasta la construcción de la misma, los valores obtenidos fueron numéricamente mayores a los obtenidos por Medina, pero ambos concordamos en que el cemento fue uno de los materiales analizados que más emisiones generó.

## **5.5. Análisis de resultados obtenidos usando el software SimaPro**

Como parte de esta investigación, se empleó el software SimaPro 8.1 con el fin de hacer el análisis del ciclo de vida de la huella de carbono de cada uno de los tres tipos de vivienda estudiados en esta investigación. Como resultado de este análisis se obtuvo mayores emisiones en los procesos de consumo eléctrico, transporte de materiales y basura, extracción y producción de materiales relacionados con material pétreo, así como el uso de cal en los procesos de mantenimiento recomendado por el constructor.

Los resultados obtenidos con el SimaPro en las tres viviendas coincidieron cualitativamente con los obtenidos manualmente; es decir, con ambos procedimientos se llegó a que el consumo eléctrico, el transporte, y la producción de materiales pétreos, fueron los procesos que más contribuyeron a la huella de carbono de la vivienda. Sin embargo, cabe aclarar que esta consistencia no fue igual en términos cuantitativos, ya que los obtenidos con el software fueron menores a los valores calculados manualmente.

## **5.6. Impactos de las limitaciones del estudio en los resultados obtenidos**

A lo largo de ese estudio se han presentado diversas restricciones que, debido a la extensión del tema y el poco tiempo de realización de la investigación, han limitado los análisis realizados y, por consiguiente, los resultados obtenidos. En esta sección se presenta cómo estas limitantes podrían influir en los resultados logrados con esta investigación.

Durante el planteamiento del sistema analizado para cada vivienda, presentados en la sección de metodología, se excluyeron procesos que intervienen en el ciclo de vida de la vivienda que se consideraron no representativos en cuanto a su contribución con la huella de carbono, como son los materiales con menor volumen empleados en la construcción de las viviendas. Aunque se supone haber considerado los que mayor contribución pudieran tener con respecto a su generación de emisiones, es posible que la contribución de emisiones generadas por los procesos excluidos del sistema sea significativa, aumentando así la huella de carbono total de cada vivienda.

Otra gran limitante se encontró por el poco interés observado en diversas empresas regionales de renombre en el ramo de la construcción, especialmente por los proveedores de materiales. Sobre esta cuestión, los participantes en el estudio limitaron la información que proporcionaron al estudio, como no permitir visitas a las instalaciones o permitir sólo entrevistas vía telefónica, mientras que otras empresas mostraron su negativa a participar en investigaciones de este tipo. Como resultado de esta situación, los datos con los proveedores de materiales se realizaron mayormente vía telefónica y permitiendo únicamente en el caso de las tablas de pino observar una parte del proceso productivo, además se recurrió a empresas foráneas para la recolección de datos en el caso de materiales cuyos proveedores locales decidieron no participar. Los datos obtenidos vía telefónica perderían veracidad con respecto a los que pudieran obtenerse en plantas de producción, y los datos de empresas regionales pudieran reflejar distintos valores a los obtenidos con proveedores foráneos.

## 5.7. Estimación de emisiones generadas por procesos de la vivienda no considerados en el estudio

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el tiempo limitado para la realización de este estudio dio como resultado la exclusión de diversos conceptos relacionados a la vivienda que generan emisiones de GEI considerables, según la literatura consultada, como son el uso de aluminio, vidrio y pintura en la etapa de construcción de la vivienda, así como el consumo de agua durante la etapa de operación y uso.

A continuación se presenta una estimación de las emisiones generadas para algunos conceptos no considerados en el estudio, basados en factores de emisiones tomados de diversos estudios consultados.

Tabla 5.1 Estimación de emisiones generadas por consumo de agua en la vivienda

<b>Consumo promedio de agua por persona en México<sup>1</sup></b>	360 litros por día
<b>Habitantes promedio por vivienda analizada (en base a entrevistas realizadas)</b>	4 personas
<b>Consumo promedio anual por vivienda</b>	525,600 litros
<b>Consumo promedio por vivienda durante 50 años de vida útil</b>	26,280 m <sup>3</sup>
<b>Factor de emisiones por consumo de agua<sup>2</sup></b>	0.788 kgCO <sub>2</sub> e por m <sup>3</sup>
<b>Estimación de emisiones generadas por vivienda</b>	20,708.64 kgCO <sub>2</sub> e

<sup>1</sup> Tomado del sitio web del Centro Virtual de Información del Agua, 2016

<sup>2</sup> Tomado de Blanchard y Reppe, 1998

Tabla 5.2 Estimación de emisiones generadas por uso de aluminio en la vivienda

<b>Factor de emisiones para aluminio<sup>1</sup></b>		2.7045 tCO <sub>2</sub> e por tonelada	
<b>Clasificación vivienda</b>	<b>Aluminio (ml)</b>	<b>Aluminio (kg)</b>	<b>Emisiones (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Tradicional	14.40	57.60	0.1558
Media	35.00	140.00	0.3786
Residencial plus	80.10	320.40	0.8665

<sup>1</sup> Tomado de PNUD Colombia, 2012

Tabla 5.3 Estimación de emisiones generadas por uso de vidrio en la vivienda

<b>Factor de emisiones para vidrio<sup>1</sup></b>		1.8591 tCO <sub>2</sub> e por tonelada	
<b>Clasificación vivienda</b>	<b>Vidrio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vidrio (kg)</b>	<b>Emisiones (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Tradicional	3.24	32.40	0.0602
Media	10.44	104.40	0.1941
Residencial plus	20.05	200.50	0.3728

<sup>1</sup> Tomado de PNUD Colombia, 2012

Tabla 5.4 Estimación de emisiones generadas por uso de pintura vinílica en la vivienda

<b>Factor de emisiones para pintura vinílica<sup>1</sup></b>		0.5303 kgCO <sub>2</sub> e por litro	
<b>Clasificación vivienda</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pintura (lt)</b>	<b>Emisiones (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Tradicional	194.46	972.30	0.5156
Media	700.35	3,501.73	1.8570
Residencial plus	1,404.24	7,021.22	3.7234

<sup>1</sup> Tomado de PNUD Colombia, 2012

Tabla 5.5 Estimación de emisiones generadas por mantenimiento

<b>Concepto</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Pintura vinílica</b>
<b>Vida útil del material<sup>1</sup></b>	40 años	40 años	7 años
<b>Mantenimiento recomendado</b>	Reemplazo	Reemplazo	Aplicación
<b>Factor de mantenimiento por 50 años</b>	0.25	0.25	7.00
<b>Cantidad material para vivienda tradicional</b>	14.40 kg	8.10 kg	6,806.10 lt
<b>Cantidad material para vivienda media</b>	35.00 kg	26.10 kg	24,512.08 lt
<b>Cantidad material para vivienda residencial plus</b>	80.10 kg	50.13 kg	49,148.51 lt
<b>Factor de emisiones para material</b>	2.7045 tCO <sub>2</sub> e/ton	1.8591 tCO <sub>2</sub> e/ton	0.5303 kgCO <sub>2</sub> e/lt
<b>Emisiones generadas en vivienda tradicional</b>	0.0389 tCO <sub>2</sub> e	0.0151 tCO <sub>2</sub> e	3.6093 tCO <sub>2</sub> e
<b>Emisiones generadas en vivienda media</b>	0.0947 tCO <sub>2</sub> e	0.0485 tCO <sub>2</sub> e	12.9988 tCO <sub>2</sub> e
<b>Emisiones generadas en vivienda residencial plus</b>	0.2166 tCO <sub>2</sub> e	0.0932 tCO <sub>2</sub> e	26.0635 tCO <sub>2</sub> e

<sup>1</sup> Tomado de Castillo, 2012

Tabla 5.6 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo tradicional

<b>Etapa</b>	<b>Concepto</b>	<b>Emisiones estimadas (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>Total de emisiones por etapa (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Extracción de material prima y producción de insumos	Aluminio	0.1558	0.7316
	Vidrio	0.0602	
	Pintura vinílica	0.5156	
Operación y uso	Consumo de agua	20.7086	24.3719
	Mantenimiento	3.6633	

Tabla 5.7 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo media

<b>Etapa</b>	<b>Concepto</b>	<b>Emisiones estimadas (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>Total de emisiones por etapa (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Extracción de material prima y producción de insumos	Aluminio	0.3786	2.4297
	Vidrio	0.1941	
	Pintura vinílica	1.8570	
Operación y uso	Consumo de agua	20.7086	33.8506
	Mantenimiento	13.1420	

Tabla 5.8 Emisiones estimadas para algunos conceptos no considerados en vivienda tipo residencial plus

<b>Etapa</b>	<b>Concepto</b>	<b>Emisiones estimadas (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>Total de emisiones por etapa (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Extracción de material prima y producción de insumos	Aluminio	0.8665	4.9627
	Vidrio	0.3728	
	Pintura vinílica	3.7234	
Operación y uso	Consumo de agua	20.7086	47.0819
	Mantenimiento	26.3733	

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio planteó el grave problema que es el calentamiento global en la actualidad, y la necesidad de disminuirlo en base a la reducción de las emisiones de GEI generadas. Para esto es necesario conocer las fuentes de estas emisiones, y una forma de lograrlo es mediante la huella de carbono.

Debido a los pocos estudios al respecto en nuestro entorno, se propuso la obtención de la huella de carbono de la vivienda que comúnmente es construida en Mérida, Yucatán, considerando los materiales y procesos constructivos más usados en la región.

La metodología empleada fue basada en la Norma ISO 14067, que trata sobre la huella de carbono en productos, considerando a la vivienda como un producto y obteniendo la huella de carbono en tres distintas viviendas, relacionadas a tres distintos niveles socioeconómicos.

Si bien se tuvieron varias opciones para la obtención de los datos necesarios para el cálculo de la huella de carbono, se encontraron varios problemas debido a la falta de participación de empresas regionales de renombre en el ramo de la construcción, siendo esta falta de cooperación de externos una de las mayores limitantes para la realización de este estudio.

Como resultados, se obtuvo una huella de carbono de 126.29 tCO<sub>2</sub>e para la vivienda tradicional, 324.53 tCO<sub>2</sub>e para la vivienda media y 769.66 tCO<sub>2</sub>e para la vivienda residencial plus, siendo mayores los valores de la huella de carbono conforme las viviendas cuenten con mayor superficie construida; mientras que su contribución de emisiones por m<sup>2</sup> de superficie construida fue de 2.51 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> para la vivienda tipo tradicional, 3.01 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> para la vivienda tipo media y 2.83 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> para la vivienda tipo residencial plus.

Con respecto a los procesos que mayores emisiones generaron, se obtuvo el consumo eléctrico como el que más emisiones generó, seguido por la producción de cal debido a la

cantidad de material empleado, y la producción de materiales que emplean agregado pétreo (piedra caliza) como materia prima para su producción.

En cuanto a los procesos que mostraron menor cantidad de emisiones generadas, se destacan la extracción de materia prima y producción de tablas, así como el transporte de escombro en la disposición final. Se observaron cantidades despreciables de emisiones de GEI para las etapas de extracción de materia prima y disposición final, en comparación con las demás etapas, en los tres casos de estudio.

Comparando con otros estudios realizados sobre el tema, se pudo apreciar que los resultados obtenidos en este estudio fueron significativamente mayores. Se considera que la razón de esto es el alcance del estudio, ya que en ninguno de las investigaciones previas se consideró el ciclo de vida completo de la vivienda. Otra de las razones puede ser la falta de programas aplicables a la disminución de las emisiones generadas en la región, lo que provoca un cantidad de emisiones significativamente mayor en comparación con la construcción de viviendas en otros países más desarrollados.

Finalmente, se sugiere la réplica del estudio, con la posibilidad de considerar las clasificaciones de vivienda omitidas en este estudio o comparar distintas viviendas de la misma clasificación, así como incluir en el análisis procesos que mediante diversas investigaciones ya se conoce que son grandes generadores de emisiones de GEI en la vivienda en las distintas etapas de su ciclo de vida, tales como aluminio y vidriería para ventanas o el uso de agua, los cuales no pudieron ser considerados en este estudio debido al tiempo en el cual debió realizarse.

## 7. REFERENCIAS

Antón Vallejo, M. (2004). *Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*. España: Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

Aranda Usón, A., Zabalza Bribián, I., Martínez Gracia, A., Valero Delgado, A., y Scarpellini, S. (2006). *El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*. España: Fundación Confemetal.

Bailey, R., Clark, H., Ferris, J., Krause, S., y Strong, R. (2002). *Chemistry environment*. Estados Unidos: Academic Press.

Barret, J., y Wiedmann, T. (2007). *A comparative carbon footprint analysis of on-site construction and an off-site manufactured house*. Reino Unido: Research Report 07-04, Stockholm Environment Institute and ISA Research and Consulting UK.

Bayer, C., Gamble, M., Gentry, R., y Joshi, S. (2010). *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. EUA: The American Institute of Architects.

Blanchard, S., y Reppe, P. (1998). *Life cycle analysis of a residential home in Michigan*. EUA: University of Michigan.

British Standard Institute, ONG carbon trust, Department for Environment Food and Rural Affairs. (2011). *Public Available Specification 2050: 2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. London, United Kingdom: BSI Standards Solutions.

British Standard Institute, ONG carbon trust, Department for Environment Food and Rural Affairs. (2014). *Public Available Specification 2060: 2014 Specification for the Demonstration of Carbon Neutrality*. London, United Kingdom: BSI Standards Solutions.

Castillo Reséndiz, J. (2012). *Vida útil ponderada de las viviendas de interés social en el área metropolitana de la ciudad de Querétaro*. México: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro.

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. (2010). *Estrategia fronteriza para desarrollos habitacionales sustentables, Tomo I: Manual para el diseño de desarrollos habitacionales sustentables*. México: COCEF.

Comisión Económica para América Latina. (2011). *Metodologías de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina*. Francia: División Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL.

Comisión Nacional de Vivienda. (2008). *Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables*. México: CONAVI.

Comisión Nacional de Vivienda. (2010). *Código de Edificación de Vivienda 2010*. México: CONAVI.

Dahlstrom, O. (2011). *Life cycle assessment of a single-family residence built to passive house standard*. Noruega: Tesis de Maestría, Norwegian University of Science and Technology.

Departamento para las Comunidades y el Gobierno Local del Reino Unido. (2010). *Código para hogares sustentables: guía técnica*. Reino Unido: Gobierno del Reino Unido.

Dirección Regional de Salud. (2014). *Cambio climático y salud*. Perú: Boletín Epidemiológico, Vol. 13, Gobierno Regional de Tacna, DIRESA de Tacna, Perú.

Ente Vasco de Energía. (2011). *Guía de edificación y rehabilitación sostenible para la vivienda en la comunidad autónoma del país vasco*. España: Gobierno Vasco.

Filipe, M., y Quintana, M. (2013). *Huella de carbono de vivienda y movilidad en Concepción, Chile*. España: Proyecto Final, Universidad Autónoma de Barcelona y Universidad de Concepción.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (14 de octubre de 2016). *Centro Virtual de Información del Agua*. Obtenido de <http://www.agua.org.mx>

Gay García, C., Estrada Porrúa, F., y Martínez López, B. (2010). Cambio climático y estadística oficial. *Realidad, Datos y Espacio, Revista Internacional de Estadística y Geografía, INEGI*, Año 1, No. 1.

Grupo del Banco Mundial. (21 de Febrero de 2015). Obtenido de Sitio web de Grupo del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (2009). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*. España: IHOBE.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Cambio climático 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*. Suiza: IPCC.

International Organization for Standardization. (10 de Marzo de 2015). Obtenido de Sitio web de ISO: <http://www.iso.org>

International Organization for Standardization. (2006). *14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. ISO.

International Organization for Standardization. (2006). *14064-1:2006 - Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. ISO.

International Organization for Standardization. (2006). *14064-2:2006 - Greenhouse gases - Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements*. ISO.

International Organization for Standardization. (2006). *14064-3:2006 - Greenhouse gases - Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions*. ISO.

International Organization for Standardization. (2013). *14065:2013 - Greenhouse gases - Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition*. ISO.

International Organization for Standardization. (2013). *14067:2013 - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication*. ISO.

International Organization for Standardization. (2013). *14069:2013 - Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations - Guidance for the application of ISO 14064-1*. ISO.

López López, V. (2009). *Cambio climático y calentamiento global: ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlo*. México: Trillas.

May Yam, K. (2012). *Determinación del grado de sustentabilidad en los desarrollos habitacionales de la ciudad de Mérida, Yucatán*. México: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Medina Lugo, J. (2007). *Análisis del ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción de vivienda masiva en la ciudad de Mérida, Yucatán*. México: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Muñoz, C., Zaror, C., Zaelzer, G., y Cuchí, A. (2012). *Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción. Caso de estudio: vivienda tipología social, región del Biobío, Chile*. Concepción, Chile: Revista de la Construcción, Volumen 11 N° 3.

Núñez Monroy, J., y Núñez Palacios, R. (2012). *Huella de carbono: más allá de un instrumento de medición*. Acta - IV Congreso Internacional Latino de Comunicación Social. México: Universidad de La Laguna.

Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2003). *Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas*. Suiza: OMS - OMM - PNUMA.

Petróleos Mexicanos. (2014). *Informe de Sustentabilidad 2014*. México: PEMEX.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, ECOIngeniería S.A.S. (2012). *Determinación de propiedades físicas y estimación del consumo energético en la producción de materiales utilizados en la construcción de edificaciones colombianas*. Colombia: PNUD Colombia.

Ramírez González, R. (2011). *La vivienda sustentable en el marco del cambio climático. Caso de estudio: unidad habitacional militar en la Zona Metropolitana del Valle de México*. México: Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.

Ramírez Ortégón, T. (2013). *La vivienda de interés social sustentable en la ciudad de Mérida, Yucatán: sus posibilidades y ventajas*. México: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Reyes Pinzón, O. (2005). *Determinación de los índices de calor en localidades del estado de Yucatán*. México: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán.

Salt-Jauregui, I. (2011). *Software medioambiental para empresas*. United Kingdom: The environmentalist, Institute of Environmental Management and Assessment, Nov 2011.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Comisión Nacional de Vivienda. (2015). *Reporte mensual del sector de la vivienda, octubre 2015*. México: SEDATU, CONAVI.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero*. México: SEMARNAT.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2009). *La economía del cambio climático en México - Síntesis*. México: SEMARNAT-SHCP.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). *El cambio climático en América Latina y el Caribe*. México: SEMARNAT, PNUMA.

The British Standards Institution. (10 de Marzo de 2015). Obtenido de Sitio web de BSI: <http://www.bsigroup.com>

United Nations Environment Programme. (25 de enero de 2015). *New move to develop global standards for measuring energy use in buildings*. Obtenido de Sitio web de UNEP: <http://www.unep.org>

World Business Council for Sustainable Development, y World Resources Institute. (2001). *The Greenhouse Gas Protocol: a corporate accounting and reporting standard*. WBCSD-WRI.

Xiadong, L., Yimin, Z., y Zhihui, Z. (2009). *An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes*. USA: Building and Environment, Vol. 45 N° 3 Elsevier.

## **8. APENDICES**

## APENDICE A. Croquis y especificaciones de las viviendas analizadas

### Vivienda tradicional

Tabla A1. Especificaciones de vivienda tipo tradicional

Concepto	Especificación
Lote	Terreno de 5.00 x 12.00 m con un área total de 60.00 m <sup>2</sup> .
Jardinería	No incluye jardinería.
Cimentación	Mampostería con piedra de la región (desde estrato firme).
Muros	Estructura de block de 15cm de ancho, reforzado con castillos armados y ahogados. No incluye bardas.
Techos	Losa de vigueta y bovedillas. Pretilos de block y chaflanes.
Acabados	En muros y plafones masilla directa sobre block. En azotea impermeabilizante elastomérico.
Pintura	En muros y plafones pintura vinílica.
Pisos	En interior de la vivienda piso y zoclo de cerámica. En andador y acceso placas de cemento con acabado escobillado.
Recubrimientos	En cocina meseta y lavabo de concreto, recubiertos con cerámica. En baño lambrín de cerámica en muros de zona húmeda, y masilla en el resto de los muros.
Puertas	Puertas multipanel lisa y marcos metálicos.
Cerrajería	De pomo con llave en recámaras, principal y cocina. De botón de privacidad en baño.
Cancelería	Ventanas corredizas de aluminio con vidrio tipo tintex. Incluye jaladera. No incluye mosquiteros.
Instalación eléctrica	Acometida preparada para conexión monofásica e interruptor, según especificaciones de CFE. Salidas de centro en plafones, contactos y apagadores en muros. Incluye lámparas con focos ahorradores. Preparación de alimentación de tv en recámaras y sala-comedor.
Instalación hidráulica	Tubería del murete al tinaco, ramaleo interior y sobre la azotea con tubería de CPVC. Salidas de agua fría y caliente en regadera y lavabos. Salidas de agua fría en inodoro y pasillo. Base de concreto para calentador. No incluye calentador. Incluye tinaco rotomoldeado de 600lt, con flotador, instalado en azotea sobre una base de block.
Instalación sanitaria	Tubería de PVC sanitario, registros y conexiones según proyecto. En baño inodoro y lavabo de pedestal, llaves y juego de accesorios en línea económica. En cocina llave mezcladora cromada.
Hamaqueros	De hierro colados, con concha y tapa, empotrados al muro. Se incluyen tres piezas por recámara.
Herrería	No incluye protectores.

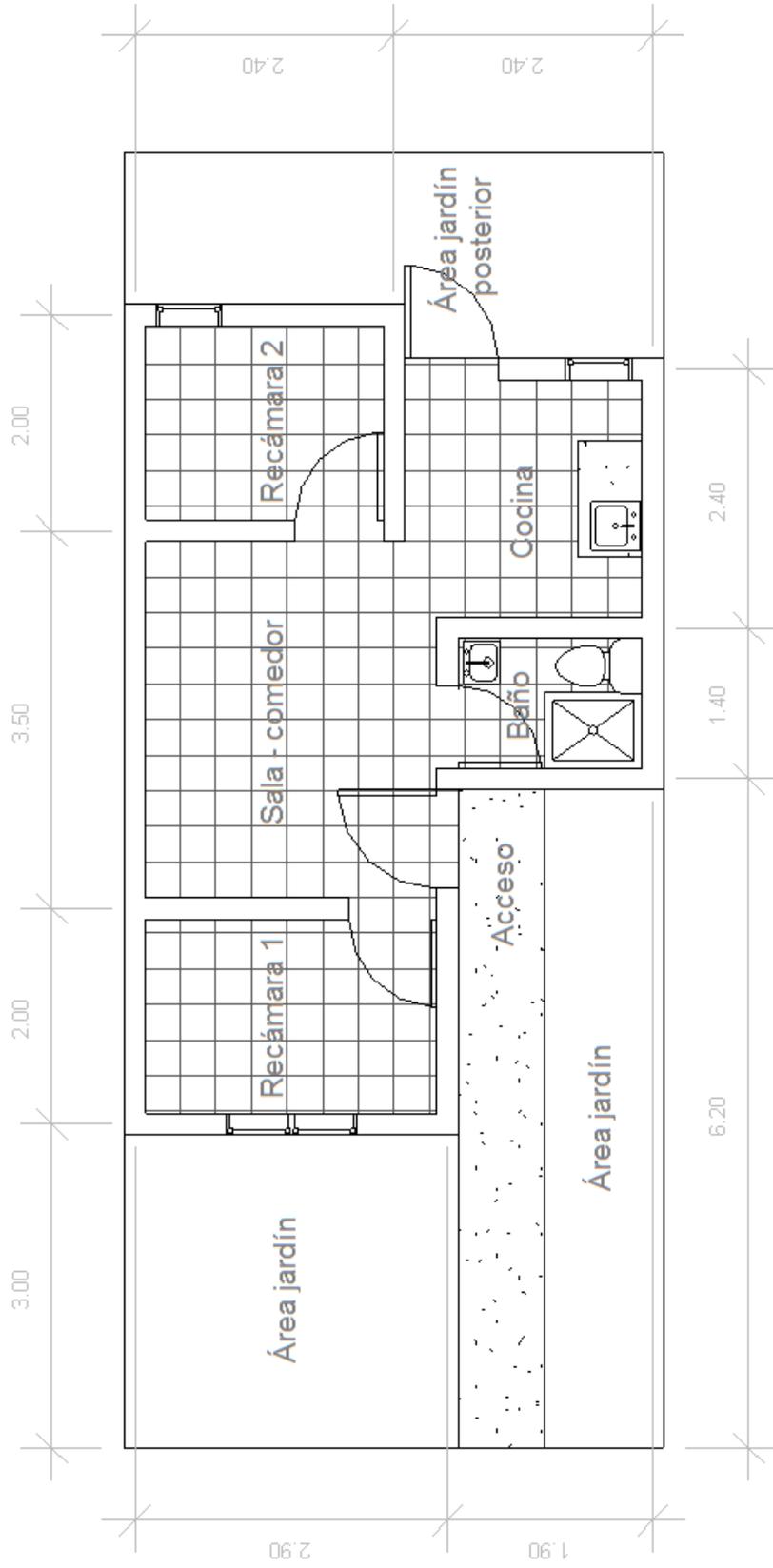


Figura A1. Croquis de vivienda tipo tradicional

## Vivienda media

Tabla A2. Especificaciones de vivienda tipo media

Concepto	Especificación
Lote	Terreno de 9.00 x 25.00 m con un área total de 225.00 m <sup>2</sup> .
Jardinería	Incluye jardinería al frente y contiguo a la sala, solo pasto americano.
Cimentación	Mampostería con piedra de la región (desde estrato firme).
Muros	Estructura de block de 15cm de ancho, reforzado con castillos armados y ahogados. Incluye barda posterior en laterales y medianera de 2.50 m de altura según croquis.
Techos	Losa de vigueta y bovedillas. Pretilos de block y chaflanes.
Acabados	En muros y plafones interiores masilla fina directa sobre block. En muros y plafones exteriores acabado a base de rich, emparche y masilla. En bardas acabado a base de rich, emparche y masilla. En azotea impermeabilizante elastomérico.
Pintura	En muros y plafones pintura vinílica. En bardas pintura vinílica.
Pisos	En interior de la vivienda piso y zoclo de cerámica. En andador y acceso, área de lavado, terraza posterior y balcón placas de cemento con acabado escobillado.
Recubrimientos	En cocina meseta y barra de concreto, recubiertos con cerámica. En baño lambrín de cerámica en muros de zona húmeda, antepecho de cerámica en área de lavabo y masilla en el resto de los muros.
Puertas	Puerta principal multipanel con fijo lateral. Puertas interiores de tambor lisa de caobila. Puerta de cocina multipanel lisa. Puerta para patio de servicio de aluminio. Marcos de cajón completo para puertas interiores, principal y metálico para puerta exterior.
Cerrajería	De gatillo con cerrojo de seguridad en puerta principal. De pomo con llave en recámaras y cocina. De botón de privacidad en baño.
Cancelería	Ventanas y puertas corredizas de aluminio con vidrio tipo tintex. Incluye jaladera. Incluye mosquiteros fijos en ventanas y corredizos en puertas corredizas.
Instalación eléctrica	Acometida preparada para conexión bifásica e interruptor, según especificaciones de CFE. Salidas de centro en plafones, contactos y apagadores en muros. Incluye lámparas con focos ahorradores y arbotantes. Preparación de ductos para aire acondicionado sólo en recámaras. Preparación de alimentación de tv en recámaras y sala-comedor.
Instalación hidráulica	Tubería del murete al tinaco, ramaleo interior y sobre la azotea con tubería de CPVC. Salidas de agua fría y caliente en regaderas y lavabos. Salidas de agua fría en inodoros, pasillo y preparación en lavadero. Base de concreto para calentador. No incluye calentador. Incluye tinaco rotomoldeado de 600lt, con flotador, instalado en azotea sobre una base de block.
Instalación sanitaria	Tubería de PVC sanitario, registros y conexiones según proyecto. En baños inodoros y lavabos línea media residencial, llaves y juegos de accesorios cromados. En cocina tarja de acero inoxidable con escurridor y llave mezcladora cromada.
Hamaqueros	De hierro colados, con concha y tapa, empotrados al muro. Se incluyen tres piezas por recámara.
Herrería	No incluye protectores.

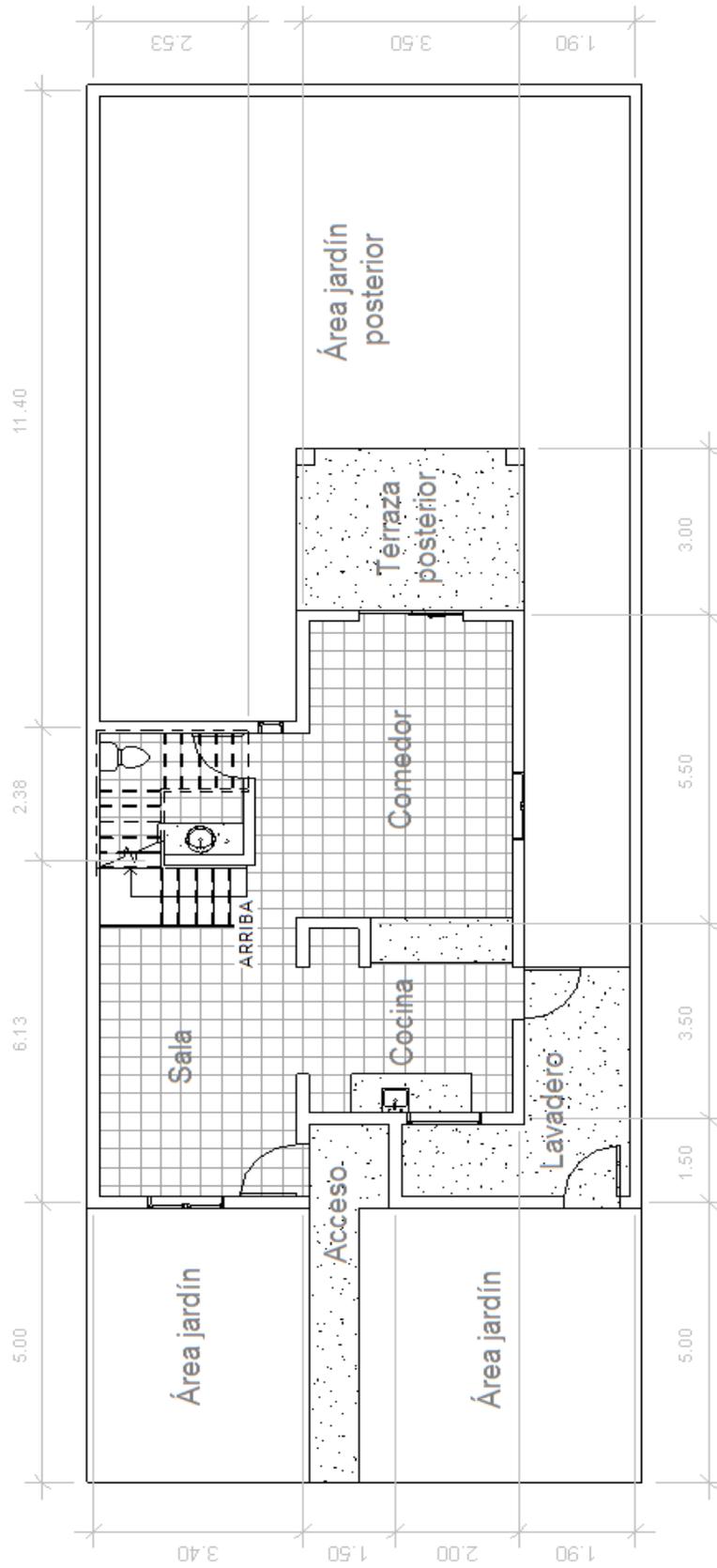


Figura A2. Croquis de planta baja de vivienda tipo media

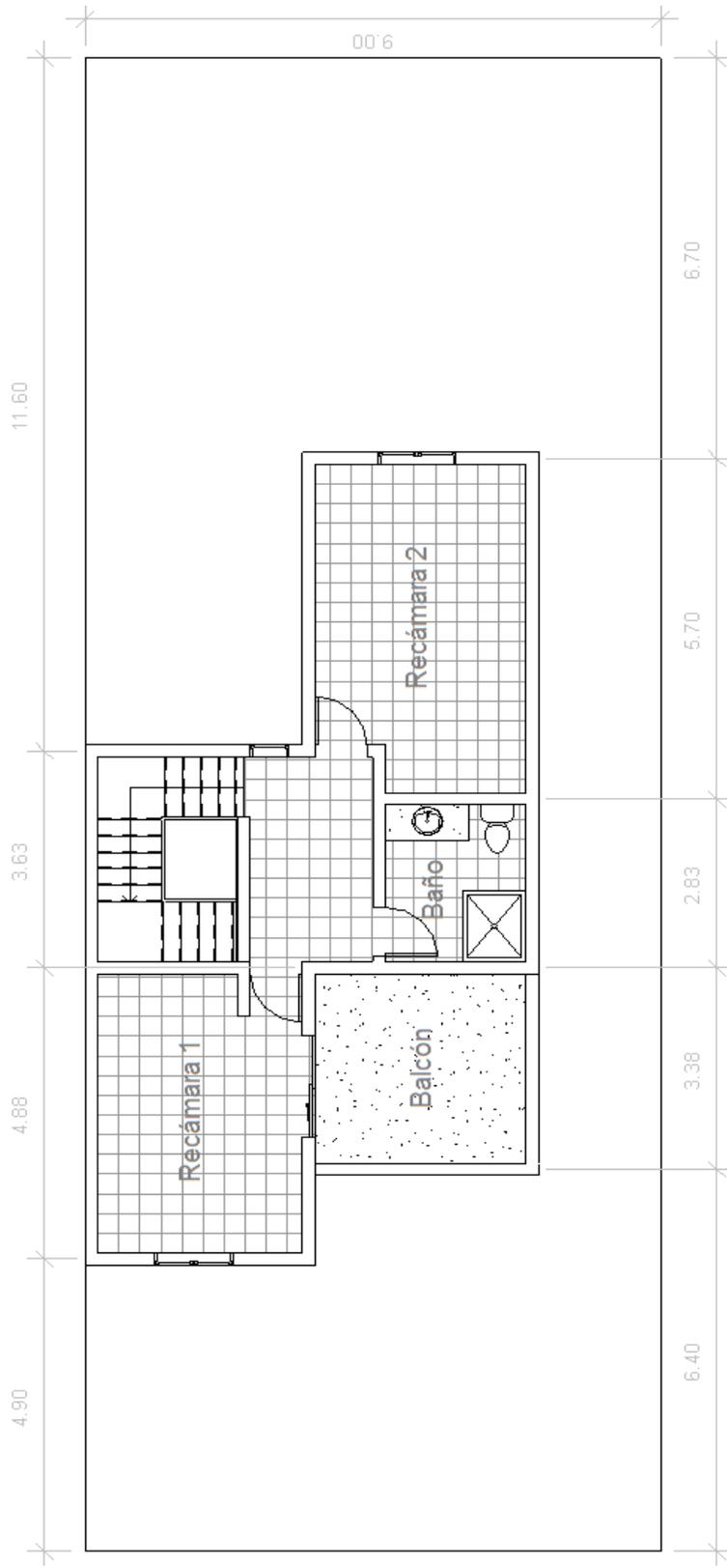


Figura A3. Croquis de planta alta de vivienda tipo media

## Vivienda residencial plus

Tabla A3. Especificaciones de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Especificación
Lote	Terreno de 10.00 x 35.00 m con un área total de 350.00 m <sup>2</sup> .
Jardinería	Incluye jardinería al frente y contiguo a la sala, solo pasto americano.
Cimentación	Mampostería con piedra de la región (desde estrato firme).
Muros	Estructura de block de 15cm de ancho, reforzado con castillos armados y ahogados. Incluye bardas propias en laterales y medianera de 2.80 m de altura según croquis.
Techos	Losa de vigueta y bovedillas. Pretilos de block y chaflanes.
Acabados	En muros y plafones interiores a base de masilla fina directa a block. En muros y plafones exteriores y bardas acabado a base de rich, emparche y masilla. En muro de acceso acabado a base rich y piedra chapa. En azotea impermeabilizante elastomérico.
Pintura	En muros, plafones y bardas pintura vinílica.
Pisos	En interior de la vivienda y terraza posterior piso y zoclo de cerámica. En andador y acceso, área de lavado, cochera y andador de piscina placas de cemento con acabado escobillado.
Recubrimientos	En cocina meseta y barra de concreto, recubiertos con granito. En baño lambrín de cerámica en muros de zona húmeda, antepecho de cerámica en área de lavabo y masilla en el resto de los muros.
Puertas	Puertas de tambor lisa de caobila. Marcos de cajón completo para puertas.
Cerrajería	De gatillo con cerrojo de seguridad electrónica en puerta principal. De botón de privacidad en baños y de pomo con llave en las demás puertas.
Cancelería	Ventanas y puertas corredizas de aluminio con vidrio tipo tintex. Incluye jaladera. Incluye mosquiteros fijos en ventanas y corredizos en puertas corredizas.
Instalación eléctrica	Acometida preparada para conexión bifásica e interruptor, según especificaciones de CFE. Salidas de centro en plafones, contactos y apagadores en muros. Incluye lámparas con focos ahorradores y arbotantes. Instalación de aires acondicionados en tres recámaras, sala tv/estancia, cocina, sala y comedor. Incluye siete equipos de aire acondicionado. Instalación de alimentación de tv en recámaras, sala-comedor, cocina y cuarto de servicio.
Instalación hidráulica	Tubería del murete al tinaco, ramaleo interior y sobre la azotea con tubería de CPVC. Salidas de agua fría y caliente en regaderas y lavabos. Salidas de agua fría en inodoros, pasillo lavadero. Base de concreto para calentador. No incluye calentador. Incluye tinaco rotomoldeado de 600lt, con flotador, instalado en azotea sobre una base de block.
Instalación sanitaria	Tubería de PVC sanitario, registros y conexiones según proyecto. En baños inodoros y lavabos línea residencial, llaves y juegos de accesorios cromados. En baño de servicio inodoro, lavabo, llaves y juego de accesorios de tipo económico. En cocina tarja doble de acero inoxidable con escurridor y llave mezcladora cromada.
Hamaqueros	De hierro colados, con concha y tapa, empotrados al muro. Se incluyen tres piezas por recámara.
Herrería	Incluye protectores en ventanas y puerta metálica en cochera a patio de servicio.

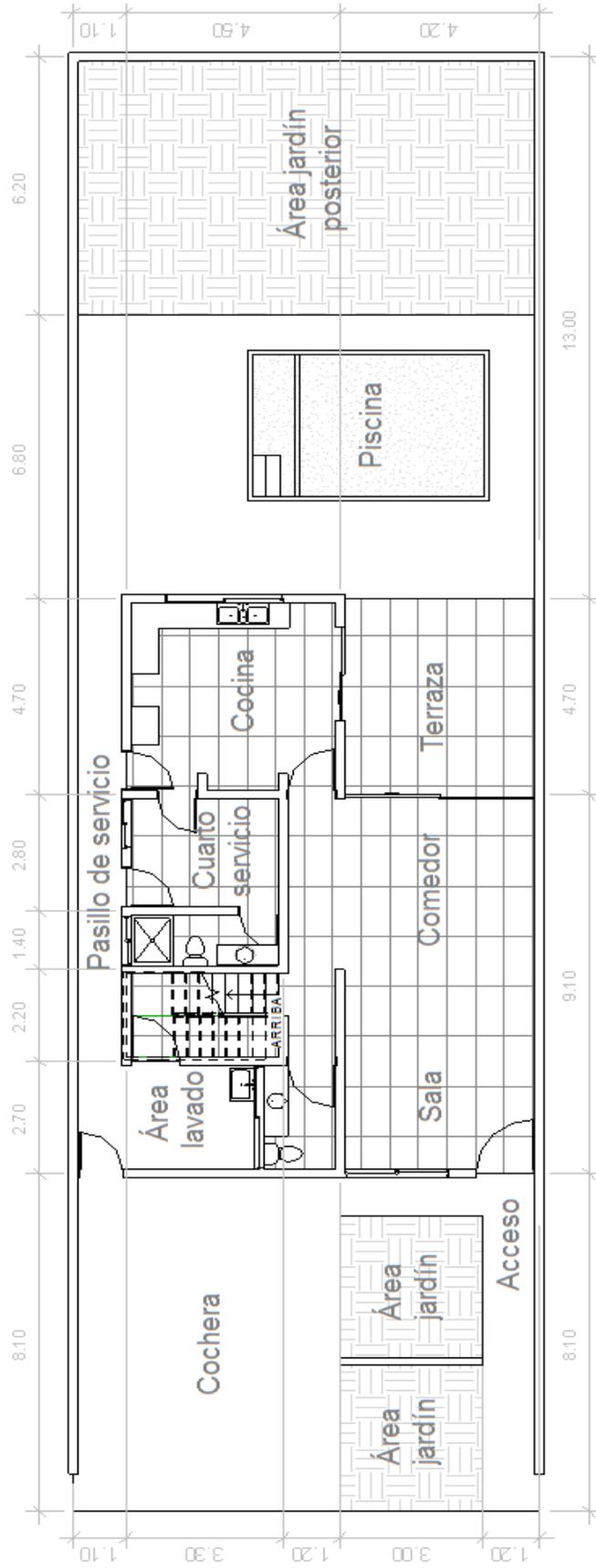


Figura A4. Croquis de planta baja de vivienda tipo residencial plus

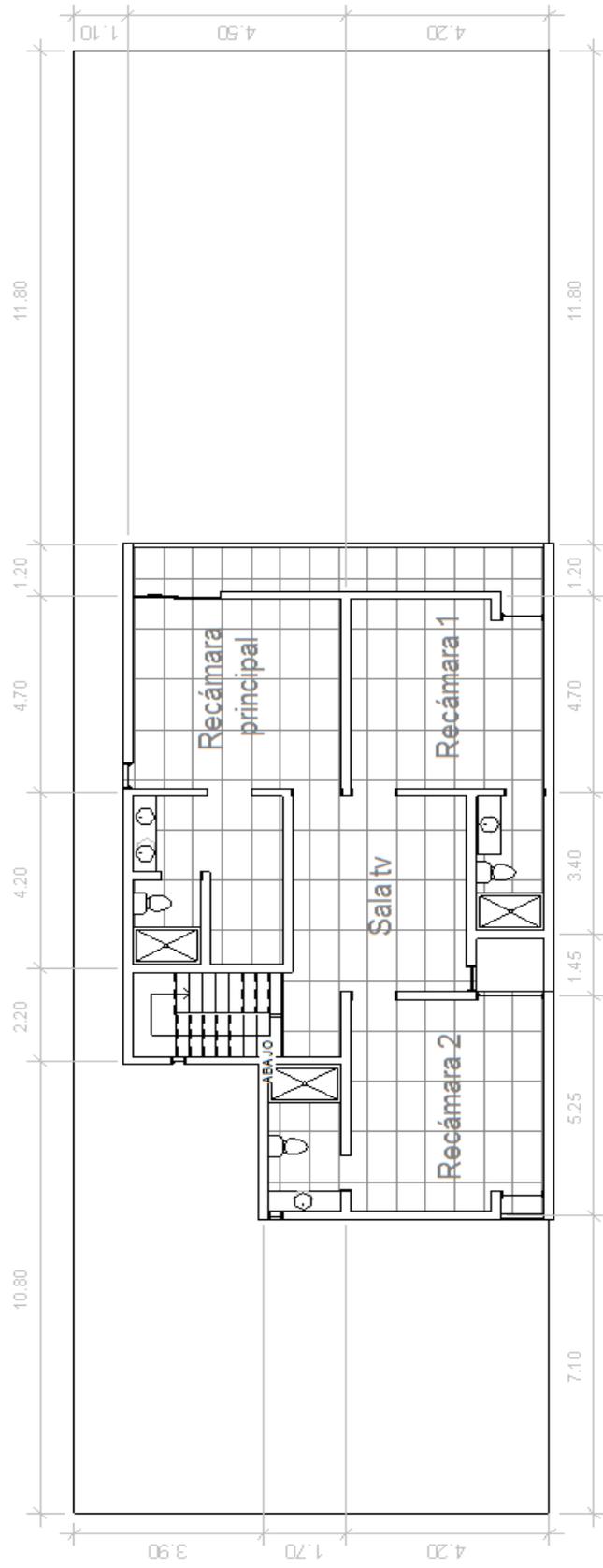


Figura A5. Croquis de planta alta de vivienda tipo residencial plus

## APENDICE B. Equivalencias de materiales por unidad de concepto

Tabla B1. Equivalencias de materiales por unidad de concepto, aplicable a cada tipo de vivienda analizada (parte 1 de 2)

CONCEPTO	UNI	Cemento gris (saco 50kg)	Cal hidratada (saco 25kg)	Polvo de piedra (m3)	Grava (m3)	Varilla corrugada (pza 12m)	Block 15x20x40cm (pza)
<b>Cimentación</b>							
Excavación	M3	-	-	-	-	-	-
Cimiento de mampostería de 30cm	M3	1.3804	2.2848	0.3448	-	-	-
Cadena de cimentación de 30cm	ML	0.1512	-	0.0151	0.0166	-	-
Dado de concreto de 30x30cm	ML	0.6048	-	0.0604	0.0664	-	-
<b>Muros</b>							
Castillo de concreto de 15x15cm	ML	0.1680	-	0.0168	0.0184	0.3333	-
Castillo ahogado en muro de 15cm	ML	0.0672	-	0.0067	0.0074	0.1922	-
Muro de block de 15x20x40cm	M2	0.0444	0.0994	0.0124	-	-	13.0000
Cadena de nivelación de 15cm	ML	0.1011	-	0.0101	0.0111	0.2700	-
Cerramiento de 15x20cm	ML	0.1510	-	0.0151	0.0166	0.3333	-
<b>Estructuras de concreto</b>							
Columna de concreto de 15x15cm	ML	0.1536	-	0.0151	0.0166	0.3333	-
Columna de concreto de 15x30cm	ML	0.3071	-	0.0302	0.0332	0.5000	-
Columna de concreto de 30x30cm	ML	0.6143	-	0.0604	0.0664	0.6667	-
Viga de concreto de 30x20cm	ML	0.4095	-	0.0403	0.0443	0.1922	-
Viga de concreto de 25x50cm	ML	0.3071	-	0.0302	0.0332	0.3849	-
Viga de concreto de 40x15cm	ML	0.4095	-	0.0403	0.0443	0.3849	-
Rampa para escalera	M2	0.2751	-	0.0348	0.0386	-	-
Escalones de 20cm	ML	0.2729	-	0.0268	0.0295	0.3333	-
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	M2	0.5502	-	0.0696	0.0772	0.5000	-
<b>Pisos y firmes</b>							
Piso de concreto acabado cemento blanco	M2	0.4778	-	0.0470	0.0517	-	-
Firme de concreto para recubrimiento 5cm	M2	0.2751	-	0.0348	0.0386	-	-
<b>Losas</b>							
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	M2	0.5850	-	0.3880	0.2624	-	-
<b>Acabados</b>							
Acabado muro int, masilla directa a block	M2	0.0202	0.2990	0.0112	-	-	-
Acabado muro ext, a base de 3 capas	M2	0.1109	0.3612	0.0335	-	-	-
Acabado plafón int, masilla directa a block	M2	0.0202	0.2990	0.0112	-	-	-
Acabado plafón ext, a base de 3 capas	M2	0.1109	0.3612	0.0335	-	-	-
Acabado en muro, de cemento pulido	M2	0.1109	0.3612	0.0335	-	-	-
<b>Azotea</b>							
Acabado en azotea a base de calcreto	M2	0.1212	0.5119	0.0291	0.0316	-	-
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	M2	0.7620	0.5753	0.1156	0.0108	-	9.1000
<b>Recubrimientos</b>							
Piso de recubrimiento cerámico	M2	-	-	-	-	-	-
Zoclo de recubrimiento cerámico	ML	-	-	-	-	-	-
Recubrimiento en pisos de área húmeda	M2	-	-	-	-	-	-
Recubrimiento de escalera	M2	-	-	-	-	-	-
<b>Instalaciones</b>							
Salida sanitaria para wc, lavabo, sifa, etc.	SAL	-	-	-	-	-	-
<b>Obra exterior</b>							
Excavación para piscina y cisterna	M3	-	-	-	-	-	-
Cimiento de mampostería en pisc y cist	M3	1.3804	2.2848	0.3448	-	-	-
Contrafuerte en piscina y cisterna	ML	0.2729	-	0.0268	0.0295	0.3333	-
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	ML	0.1512	-	0.0151	0.0166	0.2700	-
Piso de concreto en piscina y cisterna	M2	0.2751	-	0.0348	0.0386	-	-
Acabado en muros y piso de cisterna	M2	0.0202	0.2990	0.0112	-	-	-
Acabado en piscina	M2	0.1109	0.3612	0.0335	-	-	-
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	M2	0.5850	-	0.2624	0.3880	-	-
Sardinell en jardín, de 1 fila de block de 15	ML	0.0740	0.0364	0.0115	0.0077	-	2.5000

Tabla B2. Equivalencias de materiales por unidad de concepto, aplicable a cada tipo de vivienda analizada (parte 2 de 2)

CONCEPTO	UNI	Bovedilla 15x25x56cm (pza)	Rec. ceram 33x33cm (m2)	Tabla pino 1"x10"x2.5 (pza)	Tub PVC sanit 2" (ml)	Tub PVC sanit 3" (ml)	Tub PVC sanit 4" (ml)
<b>Cimentación</b>							
Excavación	M3	-	-	-	-	-	-
Cimiento de mampostería de 30cm	M3	-	-	-	-	-	-
Cadena de cimentación de 30cm	ML	-	-	0.1754	-	-	-
Dado de concreto de 30x30cm	ML	-	-	0.3860	-	-	-
<b>Muros</b>							
Castillo de concreto de 15x15cm	ML	-	-	0.1536	-	-	-
Castillo ahogado en muro de 15cm	ML	-	-	-	-	-	-
Muro de block de 15x20x40cm	M2	-	-	-	-	-	-
Cadena de nivelación de 15cm	ML	-	-	0.1316	-	-	-
Cerramiento de 15x20cm	ML	-	-	0.0763	-	-	-
<b>Estructuras de concreto</b>							
Columna de concreto de 15x15cm	ML	-	-	0.0700	-	-	-
Columna de concreto de 15x30cm	ML	-	-	0.1399	-	-	-
Columna de concreto de 30x30cm	ML	-	-	0.2799	-	-	-
Viga de concreto de 30x20cm	ML	-	-	0.1866	-	-	-
Viga de concreto de 25x50cm	ML	-	-	0.1399	-	-	-
Viga de concreto de 40x15cm	ML	-	-	0.1866	-	-	-
Rampa para escalera	M2	-	-	0.3500	-	-	-
Escalones de 20cm	ML	-	-	0.1244	-	-	-
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	M2	-	-	0.3000	-	-	-
<b>Pisos y firmes</b>							
Piso de concreto acabado cemento blanco	M2	-	-	-	-	-	-
Firme de concreto para recubrimiento 5cm	M2	-	-	-	-	-	-
<b>Losas</b>							
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	M2	5.2600	-	0.5117	-	-	-
<b>Acabados</b>							
Acabado muro int, masilla directa a block	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado muro ext, a base de 3 capas	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado plafón int, masilla directa a block	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado plafón ext, a base de 3 capas	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado en muro, de cemento pulido	M2	-	-	-	-	-	-
<b>Azotea</b>							
Acabado en azotea a base de calcreto	M2	-	-	-	-	-	-
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	M2	-	-	0.1235	-	-	-
<b>Recubrimientos</b>							
Piso de recubrimiento cerámico	M2	-	1.1392	-	-	-	-
Zoclo de recubrimiento cerámico	ML	-	0.1052	-	-	-	-
Recubrimiento en pisos de área húmeda	M2	-	1.1392	-	-	-	-
Recubrimiento de escalera	M2	-	1.1392	-	-	-	-
<b>Instalaciones</b>							
Salida sanitaria para wc, lavabo, sifa, etc.	SAL	-	-	-	3.0000	2.5000	2.0000
<b>Obra exterior</b>							
Excavación para piscina y cisterna	M3	-	-	-	-	-	-
Cimiento de mampostería en pisc y cist	M3	-	-	-	-	-	-
Contrafuerte en piscina y cisterna	ML	-	-	0.1244	-	-	-
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	ML	-	-	0.1754	-	-	-
Piso de concreto en piscina y cisterna	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado en muros y piso de cisterna	M2	-	-	-	-	-	-
Acabado en piscina	M2	-	-	-	-	-	-
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	M2	5.2600	-	0.5117	-	-	-
Sardinell en jardín, de 1 fila de block de 15	ML	-	-	-	-	-	-

## APENDICE C. Cuantificación de materiales para vivienda tipo tradicional

Tabla C1. Volúmenes de conceptos en vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN PLANTA BAJA		VOLUMEN TOTAL	
<b>Cimentación</b>				
Cimiento de mampostería de 30cm	8.21	M3	8.21	M3
Cadena de cimentación de 30cm	34.10	ML	34.10	ML
Dado de concreto de 30x30cm	11.20	ML	11.20	ML
<b>Muros</b>				
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00	ML	42.00	ML
Castillo ahogado en muro de 15cm	24.00	ML	24.00	ML
Muro de block de 15x20x40cm	87.07	M2	87.07	M2
Cadena de nivelación de 15cm	32.70	ML	32.70	ML
Cerramiento de 15x20cm	7.05	ML	7.05	ML
<b>Estructuras de concreto</b>				
Viga de concreto de 40x15cm	4.80	ML	4.80	ML
<b>Pisos y firmes</b>				
Piso de concreto acabado cemento blanco	4.88	M2	4.88	M2
Firme de concreto para recubrimiento 5cm	31.22	M2	31.22	M2
<b>Losas</b>				
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22	M2	31.22	M2
<b>Acabados</b>				
Acabado muro, masilla directa a block	169.23	M2	169.23	M2
Acabado plafón, masilla directa	25.23	M2	25.23	M2
<b>Azotea</b>				
Acabado en azotea a base de calcreto	29.58	M2	29.58	M2
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10	M2	4.10	M2
<b>Recubrimientos</b>				
Piso de recubrimiento cerámico	27.06	M2	27.06	M2
Zoclo de recubrimiento cerámico	38.72	ML	38.72	ML
Recubrimiento en pisos de área húmeda	0.69	M2	0.69	M2
<b>Instalaciones</b>				
Salida sanitaria para wc, lavabo, sifa, etc.	4.00	SAL	4.00	SAL
<b>Obra exterior</b>				
Sardinell en jardín, de 1 fila de block de 15	9.80	ML	9.80	ML

Tabla C2. Estimación de cemento gris (saco de 50kg) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	8.21 M3	1.3804 SACxM3	11.3331 SAC
Cadena de cimentación de 30cm	34.10 ML	0.1512 SACxML	5.1570 SAC
Dado de concreto de 30x30cm	11.20 ML	0.6048 SACxML	6.7738 SAC
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00 ML	0.1680 SACxML	7.0560 SAC
Castillo ahogado en muro de 15cm	24.00 ML	0.0672 SACxML	1.6128 SAC
Muro de block de 15x20x40cm	87.07 M2	0.0444 SACxM2	3.8659 SAC
Cadena de nivelación de 15cm	32.70 ML	0.1011 SACxML	3.3066 SAC
Cerramiento de 15x20cm	7.05 ML	0.1510 SACxML	1.0648 SAC
<b>Estructuras de concreto</b>			
Viga de concreto de 40x15cm	4.80 ML	0.4095 SACxML	1.9656 SAC
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	4.88 M2	0.4778 SACxM2	2.3314 SAC
Firme de concreto para rec 5cm	31.22 M2	0.2751 SACxM2	8.5886 SAC
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22 M2	0.5850 SACxM2	18.2637 SAC
<b>Acabados</b>			
Acabado muro, masilla directa a block	169.23 M2	0.0202 SACxM2	3.4117 SAC
Acabado plafón, masilla directa	25.23 M2	0.0202 SACxM2	0.5086 SAC
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	29.58 M2	0.1212 SACxM2	3.5851 SAC
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	0.7620 SACxM2	3.1242 SAC
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	9.80 ML	0.0740 SACxML	0.7255 SAC

TOTAL: 82.6745 SAC

4,133.7253 KG

**Total CEMENTO GRIS 4.1337 TON**

Tabla C3. Estimación de cal hidratada (saco de 25kg) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	8.21 M3	2.2848 SACxM3	18.7582 SAC
<b>Muros</b>			
Muro de block de 15x20x40cm	87.07 M2	0.0994 SACxM2	8.6513 SAC
<b>Acabados</b>			
Acabado muro, masilla directa a block	169.23 M2	0.2990 SACxM2	50.6065 SAC
Acabado plafón, masilla directa	25.23 M2	0.2990 SACxM2	7.5448 SAC
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	29.58 M2	0.5119 SACxM2	15.1414 SAC
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	0.5753 SACxM2	2.3586 SAC
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	9.80 ML	0.0364 SACxML	0.3570 SAC

TOTAL: 103.4179 SAC

5,170.8947 KG

**Total CAL HIDRATADA 5.1709 TON**

Tabla C4. Estimación de polvo de piedra para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	8.21 M3	0.3448 M3xM3	<b>2.8305 M3</b>
Cadena de cimentación de 30cm	34.10 ML	0.0151 M3xML	<b>0.5150 M3</b>
Dado de concreto de 30x30cm	11.20 ML	0.0604 M3xML	<b>0.6764 M3</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00 ML	0.0168 M3xML	<b>0.7046 M3</b>
Castillo ahogado en muro de 15cm	24.00 ML	0.0067 M3xML	<b>0.1611 M3</b>
Muro de block de 15x20x40cm	87.07 M2	0.0124 M3xM2	<b>1.0832 M3</b>
Cadena de nivelación de 15cm	32.70 ML	0.0101 M3xML	<b>0.3302 M3</b>
Cerramiento de 15x20cm	7.05 ML	0.0151 M3xML	<b>0.1063 M3</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Viga de concreto de 40x15cm	4.80 ML	0.0403 M3xML	<b>0.1933 M3</b>
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	4.88 M2	0.0470 M3xM2	<b>0.2292 M3</b>
Firme de concreto para rec 5cm	31.22 M2	0.0348 M3xM2	<b>1.0867 M3</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22 M2	0.3880 M3xM2	<b>12.1143 M3</b>
<b>Acabados</b>			
Acabado muro, masilla directa a block	169.23 M2	0.0112 M3xM2	<b>1.9013 M3</b>
Acabado plafón, masilla directa	25.23 M2	0.0112 M3xM2	<b>0.2835 M3</b>
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	29.58 M2	0.0291 M3xM2	<b>0.8598 M3</b>
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	0.1156 M3xM2	<b>0.4739 M3</b>
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	9.80 ML	0.0115 M3xML	<b>0.1129 M3</b>
<b>Total POLVO DE PIEDRA</b>			<b>23.6622 M3</b>

Tabla C5. Estimación de grava de piedra para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	34.10 ML	0.0166 M3xML	<b>0.5663 M3</b>
Dado de concreto de 30x30cm	11.20 ML	0.0664 M3xML	<b>0.7438 M3</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00 ML	0.0184 M3xML	<b>0.7748 M3</b>
Castillo ahogado en muro de 15cm	24.00 ML	0.0074 M3xML	<b>0.1771 M3</b>
Cadena de nivelación de 15cm	32.70 ML	0.0111 M3xML	<b>0.3631 M3</b>
Cerramiento de 15x20cm	7.05 ML	0.0166 M3xML	<b>0.1169 M3</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Viga de concreto de 40x15cm	4.80 ML	0.443 M3xML	<b>0.2125 M3</b>
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	4.88 M2	0.0517 M3xM2	<b>0.2522 M3</b>
Firme de concreto para rec 5cm	31.22 M2	0.0386 M3xM2	<b>1.2047 M3</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22 M2	0.2624 M3xM2	<b>8.1935 M3</b>
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	29.58 M2	0.0316 M3xM2	<b>0.9359 M3</b>
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	0.0108 M3xM2	<b>0.0443 M3</b>
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	9.80 ML	0.0077 M3xML	<b>0.0756 M3</b>
<b>Total GRAVA</b>			<b>13.6609 M3</b>

Tabla C6. Estimación de bloques (pieza de 15x20x40cm) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b> Muro de block de 15x20x40cm	87.07 M2	13.0000 PZAxM2	1,131.9100 PZA
<b>Azotea</b> Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	9.1000 PZAxM2	37.3100 PZA
<b>Obra exterior</b> Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	9.80 ML	2.5000 PZAxML	24.5000 PZA

TOTAL: 1,193.7200 PZA

**Total BLOQUES 1,194 PZA**

Tabla C7. Estimación de bovedillas (pieza de 20x25x56cm) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Losas</b> Losas de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22 M2	5.2600 PZAxM2	164.2172 PZA

TOTAL: 164.2172 PZA

**Total BOVEDILLAS 165 PZA**

Tabla C8. Estimación de recubrimiento cerámico (pieza de 33x33cm) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Recubrimientos</b> Piso de recubrimiento cerámico	27.06 M2	1.1392 M2xM2	30.8271 M2
Zoclo de recubrimiento cerámico	38.72 ML	0.1052 M2xM2	4.0728 M2
Recubrimiento en pisos de área húmeda	0.69 M2	1.1392 M2xM2	0.7895 M2

TOTAL: 35.6894 M2

**Total RECUBRIMIENTO CERÁMICO 35.6894 M2**

Tabla C9. Estimación de tablas de pino (pieza de 1"x10"x2.50m) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	34.10 ML	0.1754 PZAxML	5.9825 PZA
Dado de concreto de 30x30cm	11.20 ML	0.3860 PZAxML	4.3230 PZA
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00 ML	0.1536 PZAxML	6.4512 PZA
Cadena de nivelación de 15cm	32.70 ML	0.1316 PZAxML	4.3027 PZA
Cerramiento de 15x20cm	7.05 ML	0.0763 PZAxML	0.5381 PZA
<b>Estructuras de concreto</b>			
Viga de concreto de 40x15cm	4.80 ML	0.1866 PZAxML	0.8957 PZA
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	31.22 M2	0.5117 PZAxM2	15.9753 PZA
<b>Azotea</b>			
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	4.10 M2	0.1235 PZAxM2	0.5062 PZA
<b>TOTAL:</b>			<b>38.9745 PZA</b>
<b>Total TABLAS DE PINO</b>			<b>0.6090 M3</b>

Tabla C10. Estimación de varillas corrugadas de 3/8" (pieza de 12m) para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	42.00 ML	0.3333 PZAxML	14.0000 PZA
Castillo ahogado	24.00 ML	0.1922 PZAxML	4.6133 PZA
Cadena de nivelación de 15cm	32.70 ML	0.2700 PZAxML	8.8290 PZA
Cerramiento de 15x20cm	7.05 ML	0.3333 PZAxML	2.3500 PZA
<b>TOTAL:</b>			<b>29.7923 PZA</b>
<b>Total VARILLAS CORRUGADAS</b>			<b>357.5079 ML</b>

Tabla C11. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 2" para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b>			
Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	4.00 SAL	3.0000 MLxSAL	12.0000 ML
<b>TOTAL:</b>			<b>12.0000 ML</b>
<b>Total TUBERÍA PVC SANITARIO 2"</b>			<b>12.0000 ML</b>

Tabla C12. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 3" para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	4.00 SAL	2.5000 MLxSAL	<b>10.0000 ML</b>

**TOTAL: 10.0000 ML**

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 3" 10.0000 ML**

Tabla C13. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 4" para vivienda tipo tradicional

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	4.00 SAL	2.0000 MLxSAL	<b>8.0000 ML</b>

**TOTAL: 8.0000 ML**

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 4" 8.0000 ML**

## APENDICE D. Cuantificación de materiales para vivienda tipo media

Tabla D1. Volúmenes de conceptos en vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN PLANTA BAJA		VOLUMEN PLANTA ALTA		VOLUMEN TOTAL	
<b>Cimentación</b>						
Cimiento de mampostería de 30cm	19.94	M3	-		19.94	M3
Cadena de cimentación de 30cm	62.24	ML	-		62.24	ML
Dado de concreto de 30x30cm	20.00	ML	-		20.00	ML
<b>Muros</b>						
Castillo de concreto de 15x15cm	60.00	ML	42.00	ML	102.00	ML
Castillo ahogado en muro de 15cm	36.00	ML	21.00	ML	57.00	ML
Muro de block de 15x20x40cm	119.63	M2	152.92	M2	272.55	M2
Cadena de nivelación de 15cm	44.56	ML	60.65	ML	105.21	ML
Cerramiento de 15x20cm	8.60	ML	7.50	ML	16.10	ML
<b>Estructuras de concreto</b>						
Columna de concreto de 15x30cm	15.00	ML	15.00	ML	30.00	ML
Columna de concreto de 30x30cm	6.00	ML	-		6.00	ML
Viga de concreto de 25x50cm	14.40	ML	8.70	ML	23.10	ML
Rampa para escalera	5.00	M2	-		5.00	M2
Escalones de 20cm	15.00	ML	-		15.00	ML
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00	M2	-		2.00	M2
<b>Pisos y firmes</b>						
Piso de concreto acabado cemento blanco	28.07	M2	11.81	M2	39.88	M2
Firme de concreto para recubrimiento 5cm	64.79	M2	54.53	M2	119.32	M2
<b>Losas</b>						
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	66.34	M2	63.71	M2	130.05	M2
<b>Acabados</b>						
Acabado muro int, masilla directa a block	124.01	M2	170.42	M2	294.43	M2
Acabado muro ext, a 3 capas	141.41	M2	142.98	M2	284.39	M2
Acabado plafón int, masilla directa	57.18	M2	53.78	M2	110.96	M2
Acabado plafón ext, a 3 capas	10.55	M2	-		10.55	M2
<b>Azotea</b>						
Acabado en azotea a base de calcreto	-		55.55	M2	55.55	M2
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	-		24.49	M2	24.49	M2
<b>Recubrimientos</b>						
Piso de recubrimiento cerámico	59.99	M2	49.10	M2	109.10	M2
Zoclo de recubrimiento cerámico	45.23	ML	65.16	ML	110.40	ML
Recubrimiento en pisos de área húmeda	-		1.32	M2	1.32	M2
Recubrimiento de escalera	10.56	M2			10.56	M2
<b>Instalaciones</b>						
Salida sanitaria para wc, lavabo, sifa, etc.	3.00	SAL	3.00	SAL	6.00	SAL
<b>Obra exterior</b>						
Sardinell en jardín, de 1 fila de block de 15	17.10	ML	-		17.10	ML

Tabla D2. Estimación de cemento gris (saco de 50kg) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL		EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO		MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO	
<b>Cimentación</b>						
Cimiento de mampostería de 30cm	19.94	M3	1.3804	SACxM3	27.5224	SAC
Cadena de cimentación de 30cm	62.24	ML	0.1512	SACxML	9.4130	SAC
Dado de concreto de 30x30cm	20.00	ML	0.6048	SACxML	12.0960	SAC
<b>Muros</b>						
Castillo de concreto de 15x15cm	102.00	ML	0.1680	SACxML	17.1360	SAC
Castillo ahogado en muro de 15cm	57.00	ML	0.0672	SACxML	3.8304	SAC
Muro de block de 15x20x40cm	272.55	M2	0.0444	SACxM2	12.1012	SAC
Cadena de nivelación de 15cm	105.21	ML	0.1011	SACxML	10.6388	SAC
Cerramiento de 15x20cm	16.10	ML	0.1510	SACxML	2.4317	SAC
<b>Estructuras de concreto</b>						
Columna de concreto de 15x30cm	30.00	ML	0.3071	SACxML	9.2138	SAC
Columna de concreto de 30x30cm	6.00	ML	0.6143	SACxML	3.6855	SAC
Viga de concreto de 25x50cm	23.10	ML	0.3071	SACxML	7.0946	SAC
Rampa para escalera	5.00	M2	0.2751	SACxM2	1.3755	SAC
Escalones de 20cm	15.00	ML	0.2729	SACxML	4.0940	SAC
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00	M2	0.5502	SACxM2	1.1004	SAC
<b>Pisos y firmes</b>						
Piso de concreto acabado cemento bco	39.88	M2	0.4778	SACxM2	19.0541	SAC
Firme de concreto para rec 5cm	119.32	M2	0.2751	SACxM2	32.8241	SAC
<b>Losas</b>						
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	130.05	M2	0.5850	SACxM2	76.0781	SAC
<b>Acabados</b>						
Acabado muro int, masilla directa a block	294.43	M2	0.0202	SACxM2	5.9357	SAC
Acabado muro ext, a 3 capas	284.39	M2	0.1109	SACxM2	31.5332	SAC
Acabado plafón int, masilla directa	110.96	M2	0.0202	SACxM2	2.2370	SAC
Acabado plafón ext, a 3 capas	10.55	M2	0.1109	SACxM2	1.1698	SAC
<b>Azotea</b>						
Acabado en azotea a base de calcreto	55.55	M2	0.1212	SACxM2	6.7327	SAC
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49	M2	0.7620	SACxM2	18.6586	SAC
<b>Obra exterior</b>						
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	17.10	ML	0.0740	SACxML	1.2659	SAC

TOTAL: 317.2225 SAC

15,861.1234 KG

Total CEMENTO GRIS 15.8611 TON

Tabla D3. Estimación de cal hidratada (saco de 25kg) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	19.94 M3	2.2848 SACxM3	45.5543 SAC
<b>Muros</b>			
Muro de block de 15x20x40cm	272.55 M2	0.0994 SACxM2	27.0806 SAC
<b>Acabados</b>			
Acabado muro int, masilla directa a block	294.43 M2	0.2990 SACxM2	88.0463 SAC
Acabado muro ext, a 3 capas	284.39 M2	0.3612 SACxM2	102.7217 SAC
Acabado plafón int, masilla directa	110.96 M2	0.2990 SACxM2	33.1824 SAC
Acabado plafón ext, a 3 capas	10.55 M2	0.3612 SACxM2	3.8107 SAC
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	55.55 M2	0.5119 SACxM2	28.4349 SAC
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49 M2	0.5753 SACxM2	14.0863 SAC
<b>Obra exterior</b>			
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	17.10 ML	0.0364 SACxML	0.6230 SAC

TOTAL: 343.5402 SAC

17,177.0094 KG

Total CAL HIDRATADA 17.1770 TON

Tabla D4. Estimación de polvo de piedra para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	19.94 M3	0.3448 M3xM3	6.8738 M3
Cadena de cimentación de 30cm	62.24 ML	0.0151 M3xML	0.9400 M3
Dado de concreto de 30x30cm	20.00 ML	0.0604 M3xML	1.2079 M3
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	102.00 ML	0.0168 M3xML	1.7112 M3
Castillo ahogado en muro de 15cm	57.00 ML	0.0067 M3xML	0.3825 M3
Muro de block de 15x20x40cm	272.55 M2	0.0124 M3xM2	3.3906 M3
Cadena de nivelación de 15cm	105.21 ML	0.0101 M3xML	1.0624 M3
Cerramiento de 15x20cm	16.10 ML	0.0151 M3xML	0.2428 M3
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x30cm	30.00 ML	0.0302 M3xML	0.9059 M3
Columna de concreto de 30x30cm	6.00 ML	0.0604 M3xML	0.3624 M3
Viga de concreto de 25x50cm	23.10 ML	0.0302 M3xML	0.6976 M3
Rampa para escalera	5.00 M2	0.0348 M3xM2	0.1740 M3
Escalones de 20cm	15.00 ML	0.0268 M3xML	0.4025 M3
descanso de 2.00x1.00 y 20cm	2.00 M2	0.0696 M3xM2	0.1392 M3
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	39.88 M2	0.0470 M3xM2	1.8732 M3
Firme de concreto para rec 5cm	119.32 M2	0.0348 M3xM2	4.1531 M3
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	130.05 M2	0.3880 M3xM2	50.4627 M3
<b>Acabados</b>			
Acabado muro interior, masilla directa a block	294.43 M2	0.0112 M3xM2	3.3079 M3
Acabado muro exterior, a 3 capas	284.39 M2	0.0335 M3xM2	9.5271 M3
Acabado plafón interior, masilla directa	110.96 M2	0.0112 M3xM2	1.2467 M3
Acabado plafón exterior, a 3 capas	10.55 M2	0.0335 M3xM2	0.3534 M3
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	55.55 M2	0.0291 M3xM2	1.6147 M3
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49 M2	0.1156 M3xM2	2.8305 M3
<b>Obra exterior</b>			
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	17.10 ML	0.0115 M3xML	0.1970 M3

Total POLVO DE PIEDRA 94.0592 M3

Tabla D5. Estimación de grava para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	62.24 ML	0.0166 M3xML	1.0337 M3
Dado de concreto de 30x30cm	20.00 ML	0.0664 M3xML	1.3283 M3
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	102.00 ML	0.0184 M3xML	1.8817 M3
Castillo ahogado en muro de 15cm	57.00 ML	0.0074 M3xML	0.4206 M3
Cadena de nivelación de 15cm	105.21 ML	0.0111 M3xML	1.1683 M3
Cerramiento de 15x20cm	16.10 ML	0.0166 M3xML	0.2670 M3
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x30cm	30.00 ML	0.0332 M3xML	0.9962 M3
Columna de concreto de 30x30cm	6.00 ML	0.0664 M3xML	0.3985 M3
Viga de concreto de 25x50cm	23.10 ML	0.0332 M3xML	0.7671 M3
Rampa para escalera	5.00 M2	0.0386 M3xM2	0.1929 M3
Escalones de 20cm	15.00 ML	0.0295 M3xML	0.4427 M3
descanso de 2.00x1.00 y 20cm	2.00 M2	0.0772 M3xM2	0.1544 M3
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	39.88 M2	0.0517 M3xM2	2.0608 M3
Firme de concreto para rec 5cm	119.32 M2	0.0386 M3xM2	4.6041 M3
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	130.05 M2	0.2624 M3xM2	34.1303 M3
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	55.55 M2	0.0316 M3xM2	1.7576 M3
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49 M2	0.0108 M3xM2	0.2647 M3
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	17.10 ML	0.0077 M3xML	0.1320 M3
<b>Total GRAVA</b>			<b>52.0009 M3</b>

Tabla D6. Estimación de bloques (pieza de 15x20x40cm) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b>			
Muro de block de 15x20x40cm	272.55 M2	13.0000 PZAxM2	3,543.1500 PZA
<b>Azotea</b>			
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49 M2	9.1000 PZAxM2	222.8226 PZA
<b>Obra exterior</b>			
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	17.10 ML	2.5000 PZAxML	42.7500 PZA
<b>TOTAL:</b>			<b>3,808.7226 PZA</b>
<b>Total BLOQUES</b>			<b>3,809 PZA</b>

Tabla D7. Estimación de bovedillas (pieza de 20x25x56cm) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla de 20cm	130.05 M2	5.2600 PZAxM2	684.0525 PZA
<b>Total BOVEDILLAS</b>			<b>685 PZA</b>

Tabla D8. Estimación de recubrimiento cerámico (pieza de 33x33cm) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Recubrimientos</b>			
Piso de recubrimiento cerámico	109.10 M2	1.1392 M2xM2	<b>124.2859 M2</b>
Zoclo de recubrimiento cerámico	110.40 ML	0.1052 M2xMl	<b>11.6122 M2</b>
Recubrimiento en pisos de área húmeda	1.32 M2	1.1392 M2xM2	<b>1.5038 M2</b>
Recubrimiento de escalera	10.56 M2	1.1392 M2xM2	<b>12.0301 M2</b>

**Total RECUBRIMIENTO CERÁMICO 149.4320 M2**

Tabla D9. Estimación de tablas de pino (pieza de 1"x10"x2.50m) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	62.24 ML	0.1754 PZAxML	<b>10.9197 PZA</b>
Dado de concreto de 30x30cm	20.00 ML	0.3860 PZAxML	<b>7.7196 PZA</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	102.00 ML	0.1536 PZAxML	<b>15.6672 PZA</b>
Cadena de nivelación de 15cm	105.21 ML	0.1316 PZAxML	<b>13.8435 PZA</b>
Cerramiento de 15x20cm	16.10 ML	0.0763 PZAxML	<b>1.2288 PZA</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x30cm	30.00 ML	0.1399 PZAxML	<b>4.1984 PZA</b>
Columna de concreto de 30x30cm	6.00 ML	0.2799 PZAxML	<b>1.6794 PZA</b>
Viga de concreto de 25x50cm	23.10 ML	0.1399 PZAxML	<b>3.2328 PZA</b>
Rampa para escalera	5.00 M2	0.3500 PZAxM2	<b>1.7500 PZA</b>
Escalones de 20cm	15.00 ML	0.1244 PZAxML	<b>1.8656 PZA</b>
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.3000 PZAxM2	<b>0.6000 PZA</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	130.05 M2	0.5117 PZAxM2	<b>66.5456 PZA</b>
<b>Azotea</b>			
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	24.49 M2	0.1235 PZAxM2	<b>3.0231 PZA</b>

**TOTAL: 132.2737 PZA**

**Total TABLAS DE PINO 2.0668 M3**

Tabla D10. Estimación de varillas corrugadas de 3/8" (pieza de 12m) para vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	102.00 ML	0.3333 PZAxML	34.0000 PZA
Castillo ahogado de 15cm	57.00 ML	0.1922 PZAxML	10.9567 PZA
Cadena de nivelación de 15cm	105.21 ML	0.2700 PZAxML	28.4067 PZA
Cerramiento de 15x20cm	16.10 ML	0.3333 PZAxML	5.3667 PZA
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x30cm	30.00 ML	0.5000 PZAxML	15.0000 PZA
Columna de concreto de 30x30cm	6.00 ML	0.6667 PZAxML	4.0000 PZA
Viga de concreto de 25x50cm	23.10 ML	0.3849 PZAxML	8.8907 PZA
Escalones de 20cm	15.00 ML	0.3333 PZAxML	5.0000 PZA
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.5000 PZAxM2	1.0000 PZA

TOTAL: 112.6207 PZA

**Total VARILLAS CORRUGADAS 1,351.448 ML**

Tabla D11. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 2" en vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b>			
Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	6.00 SAL	3.0000 MLxSAL	18.0000 ML

TOTAL: 18.0000 ML

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 2" 18.0000 ML**

Tabla D12. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 3" en vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b>			
Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	6.00 SAL	2.5000 MLxSAL	15.0000 ML

TOTAL: 15.0000 ML

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 3" 15.0000 ML**

Tabla D13. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 4" en vivienda tipo media

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	6.00 SAL	2.0000 MLxSAL	<b>12.0000 ML</b>
<b>TOTAL:</b>			<b>12.0000 ML</b>
<b>Total TUBERÍA PVC SANITARIO 4"</b>			<b>12.0000 ML</b>

## APENDICE E. Cuantificación de materiales para vivienda tipo residencial plus

Tabla E1. Volúmenes de conceptos en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN PLANTA BAJA		VOLUMEN PLANTA ALTA		VOLUMEN TOTAL	
<b>Cimentación</b>						
Cimiento de mampostería de 30cm	30.00	M3	-	-	30.00	M3
Cadena de cimentación de 30cm	138.00	ML	-	-	138.00	ML
Dado de concreto de 30x30cm	48.00	ML	-	-	48.00	ML
<b>Muros</b>						
Castillo de concreto de 15x15cm	126.00	ML	57.00	ML	183.00	ML
Castillo ahogado en muro de 15cm	30.00	ML	51.00	ML	81.00	ML
Muro de block de 15x20x40cm	305.00	M2	192.00	M2	497.00	M2
Cadena de nivelación de 15cm	109.00	ML	70.00	ML	179.00	ML
Cerramiento de 15x20cm	6.00	ML	-	-	6.00	ML
<b>Estructuras de concreto</b>						
Columna de concreto de 15x30cm	12.00	ML	21.00	ML	33.00	ML
Columna de concreto de 30x30cm	18.00	ML	21.00	ML	39.00	ML
Columna de concreto de 30x30cm	24.00	ML	-	-	24.00	ML
Viga de concreto de 40x15cm	7.00	ML	7.00	ML	14.00	ML
Viga de concreto de 25x50cm	13.00	ML	16.00	ML	29.00	ML
Viga de concreto de 40x15cm	6.00	ML	-	-	6.00	ML
Rampa para escalera	4.00	M2	-	-	4.00	M2
Escalones de 20cm	14.00	ML	-	-	14.00	ML
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00	M2	-	-	2.00	M2
<b>Pisos y firmes</b>						
Piso de concreto acabado cemento blanco	127.00	M2	-	-	127.00	M2
Firme de concreto para recubrimiento 5cm	100.00	M2	106.00	M2	206.00	M2
<b>Losas</b>						
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	165.00	M2	132.00	M2	297.00	M2
<b>Acabados</b>						
Acabado muro int, masilla directa a block	223.00	M2	299.00	M2	522.00	M2
Acabado muro ext, a 3 capas	492.00	M2	121.00	M2	613.00	M2
Acabado plafón int, masilla directa	106.00	M2	116.00	M2	222.00	M2
Acabado plafón ext, a 3 capas	50.00	M2	-	-	50.00	M2
Acabado en muro de cemento pulido	23.00	M2	27.00	M2	50.00	M2
<b>Azotea</b>						
Acabado en azotea a base de calcreto	33.00	M2	121.00	M2	154.00	M2
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	-	-	28.00	M2	28.00	M2
<b>Recubrimientos</b>						
Piso de recubrimiento cerámico	100.00	M2	106.00	M2	206.00	M2
Zoclo de recubrimiento cerámico	76.00	ML	100.00	ML	176.00	ML
Recubrimiento en pisos de área húmeda	2.00	M2	4.00	M2	6.00	M2
Recubrimiento de escalera	8.00	M2	-	-	8.00	M2
<b>Instalaciones</b>						
Salida sanitaria para wc, lavabo, sifa, etc.	7.00	SAL	10.00	SAL	17.00	SAL
<b>Obra exterior</b>						
Cimiento de mampostería para piscina y cisterna	11.00	M3	-	-	11.00	M3
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00	ML	-	-	13.00	ML
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00	ML	-	-	58.00	ML
Piso de concreto en piscina y cisterna	22.00	M2	-	-	22.00	M2
Acabado en muros y piso de cisterna	17.00	M2	-	-	17.00	M2
Acabado en piscina	41.00	M2	-	-	41.00	M2
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00	M2	-	-	5.00	M2
Sardinell en jardín, de 1 fila de block de 15	-	-	50.00	ML	50.00	ML

Tabla E2. Estimación de cemento gris (saco de 50kg) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL		EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO		MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO	
<b>Cimentación</b>						
Cimiento de mampostería de 30cm	30.00	M3	1.3804	SACxM3	41.4120	SAC
Cadena de cimentación de 30cm	138.00	ML	0.1512	SACxML	20.8700	SAC
Dado de concreto de 30x30cm	48.00	ML	0.6048	SACxML	29.0304	SAC
<b>Muros</b>						
Castillo de concreto de 15x15cm	183.00	ML	0.1680	SACxML	30.7440	SAC
Castillo ahogado en muro de 15cm	81.00	ML	0.0672	SACxML	5.4432	SAC
Muro de block de 15x20x40cm	497.00	M2	0.0444	SACxM2	22.0668	SAC
Cadena de nivelación de 15cm	179.00	ML	0.1011	SACxML	18.1005	SAC
Cerramiento de 15x20cm	6.00	ML	0.1510	SACxML	0.9062	SAC
<b>Estructuras de concreto</b>						
Columna de concreto de 15x15cm	33.00	ML	0.1536	SACxML	5.0676	SAC
Columna de concreto de 15x30cm	39.00	ML	0.3071	SACxML	11.9779	SAC
Columna de concreto de 30x30cm	24.00	ML	0.6143	SACxML	14.7420	SAC
Viga de concreto de 40x15cm	14.00	ML	0.4095	SACxML	5.7330	SAC
Viga de concreto de 25x50cm	29.00	ML	0.3071	SACxML	8.9066	SAC
Viga de concreto de 40x15cm	6.00	ML	0.4095	SACxML	2.4570	SAC
Rampa para escalera	4.00	M2	0.2751	SACxM2	1.1004	SAC
Escalones de 20cm	14.00	ML	0.2729	SACxML	3.8211	SAC
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00	M2	0.5502	SACxM2	1.1004	SAC
<b>Pisos y firmes</b>						
Piso de concreto acabado cemento bco	127.00	M2	0.4778	SACxM2	60.6743	SAC
Firme de concreto para rec 5cm	206.00	M2	0.2751	SACxM2	56.6706	SAC
<b>Losas</b>						
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	297.00	M2	0.5850	SACxM2	173.7450	SAC
<b>Acabados</b>						
Acabado muro int, masilla directa a block	522.00	M2	0.0202	SACxM2	10.5235	SAC
Acabado muro ext, a 3 capas	613.00	M2	0.1109	SACxM2	67.9694	SAC
Acabado plafón int, masilla directa	222.00	M2	0.0202	SACxM2	4.4755	SAC
Acabado plafón ext, a 3 capas	50.00	M2	0.1109	SACxM2	5.5440	SAC
Acabado en muro de cemento pulido	50.00	M2	0.1109	SACxM2	5.5440	SAC
<b>Azotea</b>						
Acabado en azotea a base de calcreto	154.00	M2	0.1212	SACxM2	18.6648	SAC
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	28.00	M2	0.7620	SACxM2	21.3363	SAC
<b>Obra exterior</b>						
Cimiento de mampostería en piscina y cisterna	11.00	M3	1.3804	SACxM3	15.1844	SAC
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00	ML	0.2729	SACxML	3.5482	SAC
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00	ML	0.1512	SACxML	8.7715	SAC
Piso de concreto en piscina y cisterna	22.00	M2	0.2751	SACxM2	6.0522	SAC
Acabado en muros y piso de cisterna	17.00	M2	0.0202	SACxM2	0.3427	SAC
Acabados en piscina	41.00	M2	0.1109	SACxM2	4.5461	SAC
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00	M2	0.5850	SACxM2	2.9250	SAC
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	50.00	ML	0.0740	SACxML	3.7015	SAC

TOTAL: 693.6980 SAC

34,684.9005 KG

Total CEMENTO GRIS 34.6849 TON

Tabla E3. Estimación de cal hidratada (saco de 25kg) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPT	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	30.00 M3	2.2848 SACxM3	<b>68.5440 SAC</b>
<b>Muros</b>			
Muro de block de 15x20x40cm	497.00 M2	0.0994 SACxM2	<b>49.3819 SAC</b>
<b>Acabados</b>			
Acabado muro int, masilla directa a block	522.00 M2	0.2990 SACxM2	<b>156.0989 SAC</b>
Acabado muro ext, a 3 capas	613.00 M2	0.3612 SACxM2	<b>221.4156 SAC</b>
Acabado plafón int, masilla directa	222.00 M2	0.2990 SACxM2	<b>66.3869 SAC</b>
Acabado plafón ext, a 3 capas	50.00 M2	0.3612 SACxM2	<b>18.0600 SAC</b>
Acabado en muro de cemento pulido	50.00 M2	0.3612 SACxM2	<b>18.0600 SAC</b>
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	154.00 M2	0.5119 SACxM2	<b>78.8295 SAC</b>
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	28.00 M2	0.5753 SACxM2	<b>16.1078 SAC</b>
<b>Obra exterior</b>			
Cimiento de mampostería en piscina y cisterna	11.00 M3	2.2848 SACxM3	<b>25.1328 SAC</b>
Acabado en muros y piso de cisterna	17.00 M2	0.2990 SACxM2	<b>5.0837 SAC</b>
Acabados en piscina	41.00 M2	0.3612 SACxM2	<b>14.8092 SAC</b>
Sardinel en jardín, de 1 fila block de 15	50.00 ML	0.0364 SACxML	<b>1.8216 SAC</b>

**TOTAL: 739.7319 SAC**

**36,986.5960 KG**

**Total CAL HIDRATADA 36.9866 TON**

Tabla E4. Estimación de polvo de piedra en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPT	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cimiento de mampostería de 30cm	30.00 M3	0.3448 M3xM3	<b>10.3428 M3</b>
Cadena de cimentación de 30cm	138.00 ML	0.0151 M3xML	<b>2.0841 M3</b>
Dado de concreto de 30x30cm	48.00 ML	0.0604 M3xML	<b>2.8990 M3</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	183.00 ML	0.0168 M3xML	<b>3.0701 M3</b>
Castillo ahogado en muro de 15cm	81.00 ML	0.0067 M3xML	<b>0.5436 M3</b>
Muro de block de 15x20x40cm	497.00 M2	0.0124 M3xM2	<b>6.1829 M3</b>
Cadena de nivelación de 15cm	179.00 ML	0.0101 M3xML	<b>1.8075 M3</b>
Cerramiento de 15x20cm	6.00 ML	0.0151 M3xML	<b>0.0905 M3</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x15cm	33.00 ML	0.0151 M3xML	<b>0.4983 M3</b>
Columna de concreto de 15x30cm	39.00 ML	0.0302 M3xML	<b>1.1777 M3</b>
Columna de concreto de 30x30cm	24.00 ML	0.0604 M3xML	<b>1.4495 M3</b>
Viga de concreto de 40x15cm	14.00 ML	0.0403 M3xML	<b>0.5637 M3</b>
Viga de concreto de 25x50cm	29.00 ML	0.0302 M3xML	<b>0.8757 M3</b>
Viga de concreto de 40x15cm	6.00 ML	0.0403 M3xML	<b>0.2416 M3</b>
Rampa para escalera	4.00 M2	0.0348 M3xM2	<b>0.1392 M3</b>
Escalones de 20cm	14.00 ML	0.0268 M3xML	<b>0.3757 M3</b>
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.0696 M3xM2	<b>0.1392 M3</b>
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	127.00 M2	0.0470 M3xM2	<b>5.9647 M3</b>
Firme de concreto para rec 5cm	206.00 M2	0.0348 M3xM2	<b>7.1703 M3</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	297.00 M2	0.3880 M3xM2	<b>115.2452 M3</b>
<b>Acabados</b>			
Acabado muro int, masilla directa a block	522.00 M2	0.0112 M3xM2	<b>5.8647 M3</b>
Acabado muro ext, a 3 capas	613.00 M2	0.0335 M3xM2	<b>20.5357 M3</b>
Acabado plafón int, masilla directa	222.00 M2	0.0112 M3xM2	<b>2.4942 M3</b>
Acabado plafón ext, a 3 capas	50.00 M2	0.0335 M3xM2	<b>1.6750 M3</b>
Acabado en muro de cemento pulido	50.00 M2	0.0335 M3xM2	<b>1.6750 M3</b>
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	154.00 M2	0.0291 M3xM2	<b>4.4764 M3</b>
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	28.00 M2	0.1156 M3xM2	<b>3.2367 M3</b>
<b>Obra exterior</b>			
Cimiento de mampostería en piscina y cisterna	11.00 M3	0.3448 M3xM3	<b>3.7924 M3</b>
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00 ML	0.0268 M3xML	<b>0.3489 M3</b>
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00 ML	0.0151 M3xML	<b>0.8759 M3</b>
Piso de concreto en piscina y cisterna	22.00 M2	0.0348 M3xM2	<b>0.7658 M3</b>
Acabado en muros y piso de cisterna	17.00 M2	0.0112 M3xM2	<b>0.1910 M3</b>
Acabados en piscina	41.00 M2	0.0335 M3xM2	<b>1.3735 M3</b>
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00 M2	0.2624 M3xM2	<b>1.3122 M3</b>
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	50.00 ML	0.0115 M3xML	<b>0.5761 M3</b>

**Total POLVO DE PIEDRA 210.0545 M3**

Tabla E5. Estimación de grava en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	138.00 ML	0.0166 M3xML	<b>2.2918 M3</b>
Dado de concreto de 30x30cm	48.00 ML	0.0664 M3xML	<b>3.1879 M3</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	183.00 ML	0.0184 M3xML	<b>3.3761 M3</b>
Castillo ahogado en muro de 15cm	81.00 ML	0.0074 M3xML	<b>0.5977 M3</b>
Cadena de nivelación de 15cm	179.00 ML	0.0111 M3xML	<b>1.9877 M3</b>
Cerramiento de 15x20cm	6.00 ML	0.0166 M3xML	<b>0.0995 M3</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x15cm	33.00 ML	0.0166 M3xML	<b>0.5479 M3</b>
Columna de concreto de 15x30cm	39.00 ML	0.0332 M3xML	<b>1.2951 M3</b>
Columna de concreto de 30x30cm	24.00 ML	0.0664 M3xML	<b>1.5940 M3</b>
Viga de concreto de 40x15cm	14.00 ML	0.0443 M3xML	<b>0.6199 M3</b>
Viga de concreto de 25x50cm	29.00 ML	0.0332 M3xML	<b>0.9630 M3</b>
Viga de concreto de 40x15cm	6.00 ML	0.0443 M3xML	<b>0.2657 M3</b>
Rampa para escalera	4.00 M2	0.0386 M3xM2	<b>0.1544 M3</b>
Escalones de 20cm	14.00 ML	0.0295 M3xML	<b>0.4131 M3</b>
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.0772 M3xM2	<b>0.1544 M3</b>
<b>Pisos y firmes</b>			
Piso de concreto acabado cemento bco	127.00 M2	0.0517 M3xM2	<b>6.5622 M3</b>
Firme de concreto para rec 5cm	206.00 M2	0.0386 M3xM2	<b>7.9490 M3</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 20cm	297.00 M2	0.2624 M3xM2	<b>77.9459 M3</b>
<b>Azotea</b>			
Acabado en azotea a base de calcreto	154.00 M2	0.0316 M3xM2	<b>4.8726 M3</b>
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	28.00 M2	0.0108 M3xM2	<b>0.3027 M3</b>
<b>Obra exterior</b>			
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00 ML	0.0295 M3xML	<b>0.3836 M3</b>
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00 ML	0.0166 M3xML	<b>0.9632 M3</b>
Piso de concreto en piscina y cisterna	22.00 M2	0.0386 M3xM2	<b>0.8489 M3</b>
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00 M2	0.3880 M3xM2	<b>1.9402 M3</b>
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	50.00 ML	0.0077 M3xML	<b>0.3859 M3</b>

**Total GRAVA 119.7022 M3**

Tabla E6. Estimación de bloques (pieza de 15x20x40cm) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b>			
Muro de block de 15x20x40cm	497.00 M2	13.0000 PZA x M2	<b>6,461.0000 PZA</b>
<b>Azotea</b>			
Pretil de azotea, block 15 y ac. a 3 capas	28.00 M2	9.1000 PZA x M2	<b>254.8000 PZA</b>
<b>Obra exterior</b>			
Sardinell en jardín, de 1 fila block de 15	50.00 ML	2.5000 PZA x ML	<b>125.0000 PZA</b>

**TOTAL: 6,840.8000 PZA**

**Total BLOQUES 6,841 PZA**

Tabla E7. Estimación de bovedillas (pieza de 20x25x56cm) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla de 20cm	297.00 M2	5.2600 PZAxM2	<b>1,562.2200 PZA</b>
<b>Obra exterior</b>			
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00 M2	5.2600 PZAxM2	<b>26.3000 PZA</b>

**TOTAL: 1,588.5200 PZA**

**Total BOVEDILLAS 1,589 PZA**

Tabla E8. Estimación de recubrimiento cerámico (pieza de 33x33cm) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Recubrimiento</b>			
Piso de recubrimiento cerámico	206.00 M2	1.1392 M2xM2	<b>234.6780 M2</b>
Zoclo de recubrimiento cerámico	176.00 ML	0.1052 M2xML	<b>18.5128 M2</b>
Recubrimiento en pisos de área húmeda	6.00 M2	1.1392 M2xM2	<b>6.8353 M2</b>
Recubrimiento de escalera	8.00 M2	1.1392 M2xM2	<b>9.1137 M2</b>

**TOTAL: 269.1399 M2**

**Total BOVEDILLAS 269.1399 M2**

Tabla E9. Estimación de tablas de pino (pieza de 1"x10"x2.50m) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPT	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Cimentación</b>			
Cadena de cimentación de 30cm	138.00 ML	0.1754 PZAxML	<b>24.2107 PZA</b>
Dados de concreto de 30x30cm	48.00 ML	0.3860 PZAxML	<b>18.5270 PZA</b>
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	183.00 ML	0.1536 PZAxML	<b>28.1088 PZA</b>
Cadena de nivelación e 15cm	179.00 ML	0.1316 PZAxML	<b>23.5528 PZA</b>
Cerramiento de 15x20cm	6.00 ML	0.0763 PZAxML	<b>0.4579 PZA</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x15cm	33.00 ML	0.0700 PZAxML	<b>2.3091 PZA</b>
Columna de concreto de 15x30cm	39.00 ML	0.1399 PZAxML	<b>5.4580 PZA</b>
Columna de concreto de 30x30cm	24.00 ML	0.2799 PZAxML	<b>6.7175 PZA</b>
Viga de concreto de 40x15cm	14.00 ML	0.1866 PZAxML	<b>2.6124 PZA</b>
Viga de concreto de 25x50cm	29.00 ML	0.1399 PZAxML	<b>4.0585 PZA</b>
Viga de concreto de 40x15cm	6.00 ML	0.1866 PZAxML	<b>1.1196 PZA</b>
Rampa para escalera	4.00 M2	0.3500 PZAxM2	<b>1.4000 PZA</b>
Escalones de 20cm	14.00 ML	0.1244 PZAxML	<b>1.7413 PZA</b>
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.3000 PZAxM2	<b>0.6000 PZA</b>
<b>Losas</b>			
Losa de vigueta 12-5 y bovedilla de 20cm	297.00 M2	0.5117 PZAxM2	<b>151.9749 PZA</b>
<b>Azotea</b>			
Pretil de azotea, con block de 15 y ac. a 3 capas	28.00 M2	0.1235 PZAxM2	<b>3.4570 PZA</b>
<b>Obra exterior</b>			
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00 ML	0.1244 PZAxML	<b>1.6169 PZA</b>
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00 ML	0.1754 PZAxML	<b>10.1755 PZA</b>
Losa de vigueta y bovedilla en cisterna	5.00 M2	0.5117 PZAxM2	<b>2.5585 PZA</b>

**TOTAL: 290.6564 PZA**

**Total TABLAS DE PINO 4.5415 M3**

Tabla E10. Estimación de varillas corrugadas de 3/8" (pieza de 12m) en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPT	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Muros</b>			
Castillo de concreto de 15x15cm	183.00 ML	0.3333 PZAxML	<b>61.0000 PZA</b>
Castillo ahogado de 15cm	81.00 ML	0.1922 PZAxML	<b>15.5700 PZA</b>
Cadena de nivelación e 15cm	179.00 ML	0.2700 PZAxML	<b>48.3300 PZA</b>
Cerramiento de 15x20cm	6.00 ML	0.3333 PZAxML	<b>2.0000 PZA</b>
<b>Estructuras de concreto</b>			
Columna de concreto de 15x15cm	33.00 ML	0.3333 PZAxML	<b>11.0000 PZA</b>
Columna de concreto de 15x30cm	39.00 ML	0.5000 PZAxML	<b>19.5000 PZA</b>
Columna de concreto de 30x30cm	24.00 ML	0.6667 PZAxML	<b>16.0000 PZA</b>
Viga de concreto de 40x15cm	14.00 ML	0.1922 PZAxML	<b>2.6911 PZA</b>
Viga de concreto de 25x50cm	29.00 ML	0.3849 PZAxML	<b>11.1615 PZA</b>
Viga de concreto de 40x15cm	6.00 ML	0.3849 PZAxML	<b>2.3093 PZA</b>
Escalones de 20cm	14.00 ML	0.3333 PZAxML	<b>4.6667 PZA</b>
Descanso de 2.00x1.00m y 20cm	2.00 M2	0.5000 PZAxM2	<b>1.0000 PZA</b>
<b>Obra exterior</b>			
Contrafuerte en piscina y cisterna	13.00 ML	0.3333 PZAxML	<b>4.3333 PZA</b>
Cadena de 30cm en piscina y cisterna	58.00 ML	0.2700 PZAxML	<b>15.6600 PZA</b>

**TOTAL: 215.2218 PZA**

**Total VARILLAS CORRUGADAS 2,582.662 ML**

Tabla E11. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 2" en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	17.00 SAL	3.0000 MLxSAL	51.0000 ML

TOTAL: 51.0000 ML

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 2" 51.0000 ML**

Tabla E12. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 3" en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	17.00 SAL	2.5000 MLxSAL	42.5000 ML

TOTAL: 42.5000 ML

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 3" 42.5000 ML**

Tabla E13. Estimación de tubería de PVC sanitario ligero de 4" en vivienda tipo residencial plus

CONCEPTO	VOLUMEN TOTAL	EQUIVALENCIA DE MATERIAL POR CONCEPTO	MATERIAL TOTAL POR CONCEPTO
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria para wc, lavabo, tarja, etc.	17.00 SAL	2.0000 MLxSAL	34.0000 ML

TOTAL: 34.0000 ML

**Total TUBERÍA PVC SANITARIO 4" 34.0000 ML**

## APENDICE F. Factores de emisiones calculados para los materiales analizados en las etapas extracción y producción

Tabla F1. Factores de emisiones de materia prima para la etapa de extracción (expresados en función de la materia prima necesaria para cada unidad de material)

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores de emisiones</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.0592 kgCO <sub>2</sub> e / ton cemento
Piedra caliza (cal hidratada)	0.0745 kgCO <sub>2</sub> e / ton cal
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.0384 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> polvo
Piedra caliza (grava)	0.0473 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> grava
Piedra caliza (bloques)	0.0010 kgCO <sub>2</sub> e / pza block
Piedra caliza (bovedillas)	0.0015 kgCO <sub>2</sub> e / pza bovedilla
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.0042 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> rec.
Madera de pino (tablas)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> tabla
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e / ml varilla
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 2")	0.0051 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 3")	0.0105 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 4")	0.0149 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería

Tabla F2. Factores de emisiones de materiales analizados para la etapa de producción (expresados en función de cada unidad de material)

<b>Insumo (material)</b>	<b>Factores de emisiones</b>
Cemento gris	26.6120 kgCO <sub>2</sub> e / ton cemento
Cal hidratada	48.0680 kgCO <sub>2</sub> e / ton cal
Polvo de piedra	3.4260 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> polvo
Grava	0.8842 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> grava
Block de 15x20x40cm	0.0342 kgCO <sub>2</sub> e / pza block
Bovedilla de 20x25x56cm	0.3799 kgCO <sub>2</sub> e / pza bovedilla
Recubrimiento cerámico de 33x33cm	0.5457 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> rec.
Tabla de pino de 1"x10"x2.50m	0.0009 kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup> tabla
Varilla corrugada de 3/8"	0.0026 kgCO <sub>2</sub> e / ml varilla
Tubería de PVC sanitario ligero de 2"	0.0413 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería
Tubería de PVC sanitario ligero de 3"	0.0859 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería
Tubería de PVC sanitario ligero de 4"	0.1219 kgCO <sub>2</sub> e / ml tubería

## APENDICE G. Resumen de cálculos realizados para la primera etapa: extracción de materia prima

Tabla G1. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de cemento gris

<b>Material:</b>		Cemento gris Portland		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.27 toneladas por tonelada de cemento producido		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.529 m <sup>3</sup> /hr	0.5078 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.529 m <sup>3</sup> /hr	0.0582 lt
<b>Total de combustible para extracción:</b>		0.5660 lt diesel / ton cemento		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de cemento gris:</b>		<b>0.0592 kgCO<sub>2</sub>e / ton cemento</b>		

Tabla G2. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de cal hidratada

<b>Material:</b>		Cal hidratada		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.6 toneladas por tonelada de cal producida		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.667 m <sup>3</sup> /hr	0.640 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.667 m <sup>3</sup> /hr	0.073 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.713 lt diesel / ton cal		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de cal hidratada:</b>		<b>0.0745 kgCO<sub>2</sub>e / ton cal</b>		

Tabla G3. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de polvo de piedra

<b>Material:</b>		Polvo de piedra		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.32 toneladas por tonelada de polvo de piedra		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup> /hr	0.528 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup> /hr	0.061 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.589 lt diesel / ton polvo		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de polvo de piedra:</b>		0.0615 kgCO <sub>2</sub> e / ton polvo de piedra		
<b>Peso específico de material:</b>		1,600 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Factor de emisiones para extracción de polvo de piedra:</b>		<b>0.0384 kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup> polvo de piedra</b>		

Tabla G4. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de grava

<b>Material:</b>		Grava		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.32 toneladas por tonelada de grava producida		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup> /hr	0.528 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup> /hr	0.061 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.589 lt diesel / ton grava		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de grava:</b>		0.0615 kgCO <sub>2</sub> e / ton grava		
<b>Peso específico de material:</b>		1,300 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Factor de emisiones para extracción de grava:</b>		<b>0.0473 kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup> polvo de piedra</b>		

Tabla G5. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de bloques

<b>Material:</b>		Bloques de 15x20x40cm		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.25 toneladas por tonelada de block producido		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material extraído</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.521 m <sup>3</sup> /hr	0.500 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.521 m <sup>3</sup> /hr	0.057 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.557 lt diesel / ton block		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de block:</b>		0.0582 kgCO <sub>2</sub> e / ton block		
<b>Peso específico de material:</b>		8 kg/pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de block:</b>		0.0004656 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Proporción c:g:p para un bloque:</b>		1:4:6		
<b>Cantidad de material por bloque:</b>		0.727 kg de cemento gris 2.909 kg de grava 4.363 kg de polvo de piedra		
<b>Emisiones por uso de cemento:</b>		0.000043 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Emisiones por uso de grava:</b>		0.000179 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Emisiones por uso de polvo:</b>		0.000268 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de block:</b>		<b>0.0009556 kgCO<sub>2</sub>e / pza de block</b>		

Tabla G6. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de bovedillas

<b>Material:</b>		Bovedilla de 20x25x56cm		
<b>Material prima:</b>		Piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		1.3 toneladas por tonelada de bovedillas producido		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material extraído</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.542 m <sup>3</sup> /hr	0.520 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m <sup>3</sup> /hr	0.542 m <sup>3</sup> /hr	0.059 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.5796 lt diesel / ton bovedilla		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de bovedillas:</b>		0.0606 kgCO <sub>2</sub> e / ton bovedilla		
<b>Peso específico de material:</b>		12 kg/pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de bovedillas:</b>		0.000727 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Proporción c:g:p</b>		1:4:6		
<b>Cantidad de material por bovedilla:</b>		1.091 kg de cemento gris 4.363 kg de grava 6.545 kg de polvo de piedra		
<b>Emisiones por uso de cemento:</b>		0.000065 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Emisiones por uso de grava:</b>		0.000268 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Emisiones por uso de polvo:</b>		0.000403 kgCO <sub>2</sub> e/pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de bovedilla:</b>		<b>0.001463 kgCO<sub>2</sub>e / pza de bovedilla</b>		

Tabla G7. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de recubrimiento cerámico

<b>Material:</b>		Recubrimiento cerámico de 33x33cm		
<b>Material prima:</b>		Arcilla de piedra caliza		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		10 kg por m2 de recubrimiento cerámico producido		
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>		2,400 kg/m3		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material extraído</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m3/hr	0.00417 m3/hr	0.04000 lt
Excavadora hidráulica	22 lt/hr	200 m3/hr	0.00417 m3/hr	0.00046 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.0405 lt diésel / m2 de recubrimiento		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de recubrimiento cerámico:</b>		<b>0.00423 kgCO<sub>2</sub>e / m2 de recubrimiento cerámico</b>		

Tabla G8. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de tablas de pino

<b>Material:</b>		Tabla de pino aserrada de 1"x10"x2.5m		
<b>Material prima:</b>		Madera de pino		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		0.020 m3 por pieza		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material extraído</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Motosierra	1 lt/hr	40 m3/día	0.020 m3	0.0040 lt
Tractor	8 lt/hr	7 m3/hr	0.020 m3	0.0229 lt
Autocargador	10 lt/hr	60 ton/hr	0.005 ton	0.0008 lt
Astilladora	12 lt/hr	40 ton/hr	0.005 ton	0.0015 lt
<b>Total combustible para extracción:</b>		0.0292 lt diesel / pza		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de tablas:</b>		0.003055 kgCO <sub>2</sub> e / pza		
<b>Volumen de material:</b>		0.015625 m3/pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de tablas:</b>		<b>0.00004773 kgCO<sub>2</sub>e / m3 de tablas de pino</b>		

Tabla G9. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de varillas corrugadas

<b>Material:</b>		Varilla corrugada de 3/8"		
<b>Material prima:</b>		Mineral de hierro		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		7 kg por pieza de 12 mts		
<b>Volumen:</b>		0.000852 m3/pza		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Perforadora hidráulica	24 lt/hr	25 m3/hr	0.000852 m3	0.000034 lt
Separador magnético	2.2 kWh	15 ton/hr	0.007 ton	0.001027 kWh
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica:</b>		0.50 kgCO <sub>2e</sub> / kWh		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt		
<b>Factor de emisiones para extracción de varillas corrugadas:</b>		0.00051689 kgCO <sub>2e</sub> / pza		
<b>Factor de emisiones para extracción de varilla corrugada:</b>		<b>0.00004307 kgCO<sub>2e</sub> / ml de varilla corrugada</b>		

Tabla G10. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de tubería de PVC sanitario ligero de 2"

<b>Material:</b>		Tubería de PVC sanitario ligero de 2"		
<b>Material prima:</b>		Cloruro de vinilo		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		60% mayor que el peso final de la tubería		
<b>Peso material:</b>		1.01 kg/ml		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Reactor de polimerización	25 kWh	4 ton/hr	0.001616 ton	0.0101 kWh
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica:</b>		0.50 kgCO <sub>2e</sub> / kWh		
<b>Factor de emisiones para extracción de tubería de 2":</b>		<b>0.00505 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería PVC 2"</b>		

Tabla G11. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de tubería de PVC sanitario ligero de 3"

<b>Material:</b>		Tubería de PVC sanitario ligero de 3"		
<b>Material prima:</b>		Cloruro de vinilo		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		60% mayor que el peso final de la tubería		
<b>Peso material:</b>		2.10 kg/ml		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Reactor de polimerización	25 kWh	4 ton/hr	0.00336 ton	0.021 kWh
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica:</b>		0.50 kgCO <sub>2</sub> e / kWh		
<b>Factor de emisiones para extracción de tubería de 3":</b>		<b>0.0105 kgCO<sub>2</sub>e / ml de tubería PVC 3"</b>		

Tabla G12. Cálculos para factor de emisiones por extracción de materia prima de tubería de PVC sanitario ligero de 4"

<b>Material:</b>		Tubería de PVC sanitario ligero de 4"		
<b>Material prima:</b>		Cloruro de vinilo		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		60% mayor que el peso final de la tubería		
<b>Peso material:</b>		2.98 kg/ml		
<b>Uso de maquinaria para extracción:</b>				
Maquinaria	Consumo combustible o energía	Productividad	Material extraído	Total combustible o energía
Reactor de polimerización	25 kWh	4 ton/hr	0.004768 ton	0.0298 kWh
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica:</b>		0.50 kgCO <sub>2</sub> e / kWh		
<b>Factor de emisiones para extracción de tubería de PVC de 4":</b>		<b>0.0149 kgCO<sub>2</sub>e / ml de tubería PVC 4"</b>		

### Vivienda tipo tradicional

Tabla G13. Cálculo de emisiones para vivienda tradicional en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores por material</b>	<b>Cantidad total de material</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.0592 kgCO <sub>2</sub> e/ton	4.13 ton	0.2447 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	0.0745 kgCO <sub>2</sub> e/ton	5.17 ton	0.3852 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.0384 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	23.66 m <sup>3</sup>	0.9086 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	0.0473 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	13.66 m <sup>3</sup>	0.6462 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	0.0010 kgCO <sub>2</sub> e/pza	1,193.72 pza	1.1407 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	0.0015 kgCO <sub>2</sub> e/pza	165.22 pza	0.2417 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.0042 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	35.69 m <sup>2</sup>	0.1510 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.61 m <sup>3</sup>	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e/ml	357.51 ml	0.0154 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 2")	0.0051 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	0.0606 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 3")	0.0105 kgCO <sub>2</sub> e/ml	10.00 ml	0.1050 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 4")	0.0149 kgCO <sub>2</sub> e/ml	8.00 ml	0.1192 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>			<b>4.0184 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo media

Tabla G14. Cálculo de emisiones para vivienda media en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores por material</b>	<b>Cantidad total de material</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.0592 kgCO <sub>2</sub> e/ton	15.86 ton	0.9390 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	0.0745 kgCO <sub>2</sub> e/ton	17.18 ton	1.2793 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.0384 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	94.06 m <sup>3</sup>	3.6119 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	0.0473 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	52.00 m <sup>3</sup>	2.4596 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	0.0010 kgCO <sub>2</sub> e/pza	3,808.72 pza	3.6396 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	0.0015 kgCO <sub>2</sub> e/pza	685.05 pza	1.0022 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.0042 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	149.43 m <sup>2</sup>	0.6321 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	2.07 m <sup>3</sup>	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e/ml	1,351.45 ml	0.0582 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 2")	0.0051 kgCO <sub>2</sub> e/ml	18.00 ml	0.0909 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 3")	0.0105 kgCO <sub>2</sub> e/ml	15.00 ml	0.1575 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 4")	0.0149 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	0.1788 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>			<b>14.0492 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo residencial plus

Tabla G15. Cálculo de emisiones para vivienda residencial plus en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores por material</b>	<b>Cantidad total de material</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.0592 kgCO <sub>2</sub> e/ton	34.68 ton	2.0533 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	0.0745 kgCO <sub>2</sub> e/ton	36.99 ton	2.7555 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.0384 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	210.05 m <sup>3</sup>	8.0661 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	0.0473 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	119.70 m <sup>3</sup>	5.6619 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	0.0010 kgCO <sub>2</sub> e/pza	6,840.80 pza	6.5371 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	0.0015 kgCO <sub>2</sub> e/pza	1,588.52 pza	2.3240 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.0042 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	269.14 m <sup>2</sup>	1.1385 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	4.54 m <sup>3</sup>	0.0002 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e/ml	2,582.66 ml	0.1112 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 2")	0.0051 kgCO <sub>2</sub> e/ml	51.00 ml	0.2576 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 3")	0.0105 kgCO <sub>2</sub> e/ml	42.50 ml	0.4463 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubería PVC sanit 4")	0.0149 kgCO <sub>2</sub> e/ml	34.00 ml	0.5066 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>			<b>29.8583 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE H. Resumen de cálculos realizados para la segunda etapa: producción de insumos

Tabla H1. Cálculos para factor de emisiones por producción de cemento gris

<b>Material producido:</b>	Cemento gris Portland			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	47 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.27 toneladas por tonelada de cemento producido			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.3412 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0357 kgCO<sub>2</sub>e / ton cemento</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/hr	1.27 ton	50.8 kWh
Horno rotativo	Eléctrico (45 kW)	2,500 ton/día	1.27 ton	0.00286 kWh
Enfriador rotativo	Eléctrico (18.5 kW)	10 ton/hr	1.27 ton	2.35 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	53.152 kWh/ton cemento			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2</sub> e / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>26.576 kgCO<sub>2</sub>e / ton cemento</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de cemento gris:</b>	<b>26.612 kgCO<sub>2</sub>e / ton cemento</b>			

Tabla H2. Cálculos para factor de emisiones por producción de cal hidratada

<b>Material producido:</b>	Cal hidratada			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	47 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.6 toneladas por tonelada de cal producida			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.46 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0481 kgCO<sub>2e</sub> / ton cal</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/hr	1.6 ton	64 kWh
Horno vertical	Eléctrico (1180 kW)	6,000 ton/día	1.6 ton	0.0393 kWh
Máquina de hidratación	Eléctrico (20 kW)	20 kW por tonelada de cal	1.6 ton	32 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	96.0393 kWh/ton cal			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>48.020 kgCO<sub>2e</sub> / ton cal</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de cal hidratada:</b>	<b>48.068 kgCO<sub>2e</sub> / ton cal</b>			

Tabla H3. Cálculos para factor de emisiones por producción de polvo de piedra

<b>Material producido:</b>	Polvo de piedra			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	72 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.32 toneladas por tonelada de polvo de piedra			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.547 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0572 kgCO<sub>2e</sub> / ton polvo de piedra</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Alimentador vibratorio	Eléctrico (4.5 kW)	150 ton/hr	1.32 ton	0.0396 kWh
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup>	0.5814 kWh
Fabricadora de arena con molino de varillas	Eléctrico (90 kW)	12 ton/hr	1.32 ton	9.9 kWh
Criba vibratoria circular	Eléctrico (15 kW)	250 ton/hr	1.32 ton	0.0792 kWh
Máquina de lavado de arena	Eléctrico (7.5 kW)	40 ton/hr	1.32 ton	0.248 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	10.8478 kWh/ton polvo de piedra			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>5.4239 kgCO<sub>2e</sub> / ton polvo de piedra</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de polvo de piedra:</b>	5.481 kgCO <sub>2e</sub> / ton polvo de piedra			
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>	2,400 kg/m <sup>3</sup>			
<b>Factor de emisiones para producción de polvo de piedra:</b>	<b>3.426 kgCO<sub>2e</sub> / m<sup>3</sup> de polvo de piedra</b>			

Tabla H4. Cálculos para factor de emisiones por producción de grava

<b>Material producido:</b>	Grava			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	72 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.32 toneladas por tonelada de polvo de piedra			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.547 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0572 kgCO<sub>2</sub>e / ton grava</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Alimentador vibratorio	Eléctrico (4.5 kW)	150 ton/hr	1.32 ton	0.0396 kWh
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m <sup>3</sup> /hr	0.55 m <sup>3</sup>	0.5814 kWh
Trituradora de impacto	Eléctrico (45 kW)	40 ton/hr	1.32 ton	1.485 kWh
Criba vibratoria circular	Eléctrico (15 kW)	250 ton/hr	1.32 ton	0.0792 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	2.1852 kWh/ton grava			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2</sub> e / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>1.0926 kgCO<sub>2</sub>e / ton grava</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de grava:</b>	1.1498 kgCO <sub>2</sub> e / ton grava			
<b>Peso específico de piedra caliza:</b>	2,400 kg/m <sup>3</sup>			
<b>Factor de emisiones para producción de grava:</b>	<b>0.8842 kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup> de grava</b>			

Tabla H5. Cálculos para factor de emisiones por producción de bloques

<b>Material producido:</b>	Block de piedra 15x20x40cm			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	72 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.25 toneladas por tonelada de block producido			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.5184 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.000434 kgCO<sub>2e</sub> / pza de block</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Mezcladora de concreto	Eléctrico (10.5 kW)	12 m <sup>3</sup> /hr	0.521 m <sup>3</sup>	0.456 kWh
Dosificadora de concreto	Eléctrico (6.6 kW)	48 m <sup>3</sup> /hr	0.521 m <sup>3</sup>	0.0716 kWh
Máquina bloquera	Eléctrico (55 kW)	1,600 pzas/hr	156.25 pzas	5.371 kWh
<b>Peso específico del material:</b>	8 kg/pza			
<b>Total de energía para producción:</b>	5.8986 kWh/ton block			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.00874 kgCO<sub>2e</sub> / pza de block</b>			
<b>Proporción c:g:p para un bloque:</b>	1:4:6			
<b>Cantidad de material por bloque:</b>	0.727 kg de cemento gris 2.909 kg de grava 4.363 kg de polvo de piedra			
<b>Emisiones por uso de cemento:</b>	<b>0.0193 kgCO<sub>2e</sub> / pza</b>			
<b>Emisiones por uso de grava:</b>	<b>0.00334 kgCO<sub>2e</sub> / pza</b>			
<b>Emisiones por uso de polvo:</b>	<b>0.00239 kgCO<sub>2e</sub> / pza</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de bloques:</b>	<b>0.0342 kgCO<sub>2e</sub> / pza de block</b>			

Tabla H6. Cálculos para factor de emisiones por producción de bovedillas

<b>Material producido:</b>	Bovedillas de 20x25x56cm			
<b>Materia prima empleada:</b>	Piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	72 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	1.3 toneladas por tonelada de bovedilla producida			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.5342 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0006699 kgCO<sub>2</sub>e / pza de bovedilla</b>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Mezcladora de concreto	Eléctrico (10.5 kW)	12 m <sup>3</sup> /hr	0.5417 m <sup>3</sup>	0.4740 kWh
Dosificadora de concreto	Eléctrico (6.6 kW)	48 m <sup>3</sup> /hr	0.5417 m <sup>3</sup>	0.0745 kWh
Máquina bloquera	Eléctrico (55 kW)	800 pzas/hr	108.33 pzas	7.4477 kWh
<b>Peso específico del material:</b>	12 kg/pza			
<b>Total de energía para producción:</b>	7.9962 kWh/ton bovedilla			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2</sub> e / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.0480 kgCO<sub>2</sub>e / pza de bovedilla</b>			
<b>Proporción c:g:p para una bovedilla:</b>	1:4:6			
<b>Cantidad de material por bovedilla:</b>	1.091 kg de cemento gris 4.363 kg de grava 6.545 kg de polvo de piedra			
<b>Emisiones por uso de cemento:</b>	<b>0.2903 kgCO<sub>2</sub>e / pza</b>			
<b>Emisiones por uso de grava:</b>	<b>0.00502 kgCO<sub>2</sub>e / pza</b>			
<b>Emisiones por uso de polvo:</b>	<b>0.0359 kgCO<sub>2</sub>e / pza</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de bovedillas:</b>	<b>0.3799 kgCO<sub>2</sub>e / pza de bovedilla</b>			

Tabla H7. Cálculos para factor de emisiones por producción de recubrimiento cerámico

<b>Material producido:</b>	Recubrimiento cerámico de 33x33cm			
<b>Materia prima empleada:</b>	Arcilla de piedra caliza			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	20 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lit)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	10 kg por m2 de recubrimiento producido			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.001143 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0001194 kgCO<sub>2e</sub> / m2 de rec. cerámico</b>			
<b>Información adicional del material:</b>	Caja de 14 pzas, 1.525 m2 por caja Piezas de 33x33x0.085 cm, 1.72 kg por pieza			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m3/hr	0.00417 m3	0.00441 kWh
Molino pendular	Eléctrico (132 kW)	25 ton/hr	0.01 ton	0.0528 kWh
Molino de bolas	Eléctrico (800 kW)	20 ton/hr	0.01 ton	0.4 kWh
Máquina de secado por atomización	Eléctrico (10 kW)	10 ton/hr	0.01 ton	0.01 kWh
Máquina de prensado en seco	Eléctrico (7.5 kW)	5 pzas/min	300 pzas	0.1453 kWh
Esmaltadora automática	Eléctrico (12 kW)	5,000 pzas/hr	5.81 pzas	0.0139 kWh
Horno de túnel monostrato	Eléctrico (250 kW)	25,000 pzas/día	5.81 pzas	0.4648 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	1.0912 kWh/m2 de recubrimiento cerámico			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.5456 kgCO<sub>2e</sub> / m2 de rec. cerámico</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de recubrimiento cerámico:</b>	<b>0.5457 kgCO<sub>2e</sub> / m2 de rec. cerámico</b>			

Tabla H8. Cálculos para factor de emisiones por producción de tablas de pino

<b>Material producido:</b>	Tabla de pino aserrada de 1"x10"x2.5m			
<b>Materia prima empleada:</b>	Madera de pino			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	420 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de doble semirremolque (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	0.020 m3 por pieza producida			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.0105 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.001097 kgCO<sub>2e</sub> / pza de tabla</b>			
<b>Información adicional del material:</b>	Pieza de 1"x10"x2.5m, con peso de 5 kg			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Aserradero	Eléctrico (6 kW)	50,000 m3/año	0.020 m3	0.00499 kWh
Secado	Eléctrico (112 kW)	48,000 m3/año	0.020 m3	0.097 kWh
Cepillado	Eléctrico (5 kW)	25,000 m3/año	0.020 m3	0.00832 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	0.1103 kWh/pza de tabla			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.05516 kgCO<sub>2e</sub> / pza de tabla</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de tablas:</b>	0.05625 kgCO <sub>2e</sub> / pza de tabla			
<b>Factor de emisiones para producción de tablas:</b>	<b>0.0008789 kgCO<sub>2e</sub> / m3 de tablas de pino</b>			

Tabla H9. Cálculos para factor de emisiones por producción de varillas corrugadas

<b>Material producido:</b>	Varilla corrugada de 3/8"			
<b>Materia prima empleada:</b>	Mineral de hierro			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	25 km (nota: la producción del material se realiza a 1,100km de Mérida)			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	7 kg por pieza de 12m			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.001 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0001045 kgCO<sub>2e</sub> / pza</b>			
<b>Información adicional del material:</b>	Pieza de 12 metros, peso de 7 kg, sección de 0.71 cm <sup>2</sup>			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Máquina de lavado	Eléctrico (7.5 kW)	40 ton/hr	0.007 ton	0.001313 kWh
Trituradora de mandíbulas	Eléctrico (37 kW)	35 m <sup>3</sup> /hr	0.000071 m <sup>3</sup>	0.00007506 kWh
Criba vibratoria circular	Eléctrico(15 kW)	250 ton/hr	0.007 ton	0.00042 kWh
Altos hornos	Leña (470 kg/ton)	9,000 ton/día	0.007 ton	0.00001316 kg de carbón*
Tren de laminación, desbastador y trefilado	Eléctrico (3600 kW)	250,000 ton/hr	0.007 ton	0.0001008 kWh
<b>Total de energía eléctrica para producción:</b>	0.001909 kWh/pza			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.0009544 kgCO<sub>2e</sub> / pza</b>			
<b>*Total de energía de leña empleada en la producción del material:</b>	0.00001316 kg de carbón/pza de varilla			
<b>*Factor de emisiones para carbón:</b>	2,300 kgCO <sub>2e</sub> / kg			
<b>*Emisiones generadas por producción de material mediante uso de leña:</b>	<b>0.0303 kgCO<sub>2e</sub>/pza</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de varillas:</b>	0.031327 kgCO <sub>2e</sub> / pza de varilla			
<b>Factor de emisiones para producción de varillas:</b>	<b>0.00261 kgCO<sub>2e</sub> / ml de varilla corrugada</b>			

Tabla H10. Cálculos para factor de emisiones por producción de tubería de PVC sanitario ligero de 2"

<b>Material producido:</b>		Tubería de PVC sanitario ligero de 2"		
<b>Materia prima empleada:</b>		Cloruro de vinilo		
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>		300 km		
<b>Transporte empleado:</b>		Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)		
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>		60% mayor que el peso final de la tubería		
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>		0.00277 lt diesel		
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>		0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel		
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>		<b>0.0002895 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>		
<b>Información adicional del material:</b>		Peso de 1.01 kg por ml de tubería		
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Separador magnético	Eléctrico (2.2 kW)	20 ton/hr	0.001616 ton	0.000178 kWh
Extrusora	Eléctrico (4.4 kW)	100 kg/hr	1.616 kg	0.0711 kWh
Alimentador de plástico	Eléctrico(1.5 kW)	225 kg/hr	1.616 kg	0.0108 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>		0.0821 kWh/ml de tubería		
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>		0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh		
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>		<b>0.04104 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>		
<b>Factor de emisiones para producción de tubería de 2":</b>		<b>0.0413 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería PVC sanit de 2"</b>		

Tabla H11. Cálculos para factor de emisiones por producción de tubería de PVC sanitario ligero de 3"

<b>Material producido:</b>	Tubería de PVC sanitario ligero de 3"			
<b>Materia prima empleada:</b>	Cloruro de vinilo			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	300 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	60% mayor que el peso final de la tubería			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.00576 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0006019 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>			
<b>Información adicional del material:</b>	Peso de 2.10 kg por ml de tubería			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Separador magnético	Eléctrico (2.2 kW)	20 ton/hr	0.00336 ton	0.00037 kWh
Extrusora	Eléctrico (4.4 kW)	100 kg/hr	3.36 kg	0.14784 kWh
Alimentador de plástico	Eléctrico(1.5 kW)	225 kg/hr	3.36 kg	0.0224 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	0.17061 kWh/ml de tubería			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.0853 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de tubería de 3":</b>	<b>0.0859 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería PVC sanit de 3"</b>			

Tabla H12. Cálculos para factor de emisiones por producción de tubería de PVC de 4"

<b>Material producido:</b>	Tubería de PVC sanitario ligero de 4"			
<b>Materia prima empleada:</b>	Cloruro de vinilo			
<b>Distancia entre lugar de extracción y planta de producción:</b>	300 km			
<b>Transporte empleado:</b>	Camión de 35 ton (combustible diésel 5 km/lt)			
<b>Cantidad de materia prima por unidad de material:</b>	60% mayor que el peso final de la tubería			
<b>Consumo de combustible para transporte de materia prima a planta de producción:</b>	0.00817 lt diesel			
<b>Factor de emisiones para diésel:</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt diesel			
<b>Emisiones generadas por transporte de materia prima:</b>	<b>0.0008542 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>			
<b>Información adicional del material:</b>	Peso de 2.98 kg por ml de tubería			
<b>Uso de maquinaria para producción:</b>				
<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo combustible o energía</b>	<b>Productividad</b>	<b>Material producido</b>	<b>Total combustible o energía</b>
Separador magnético	Eléctrico (2.2 kW)	20 ton/hr	0.004768 ton	0.000524 kWh
Extrusora	Eléctrico (4.4 kW)	100 kg/hr	4.768 kg	0.2098 kWh
Alimentador de plástico	Eléctrico(1.5 kW)	225 kg/hr	4.768 kg	0.03179 kWh
<b>Total de energía para producción:</b>	0.24211 kWh/ml de tubería			
<b>Factor de emisiones para electricidad:</b>	0.5 kgCO <sub>2e</sub> / kWh			
<b>Emisiones generadas por producción de material:</b>	<b>0.1211 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería</b>			
<b>Factor de emisiones para producción de tubería de 4":</b>	<b>0.1219 kgCO<sub>2e</sub> / ml de tubería PVC sanit de 4"</b>			

### Vivienda tipo tradicional

Tabla H13. Cálculo de emisiones para vivienda tradicional en la etapa de producción de insumos

Insumos (materiales)	Factores por material	Cantidad total de material	Emisiones para vivienda
Cemento gris	26.6120 kgCO <sub>2</sub> e/ton	4.13 ton	110.0067 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	48.0680 kgCO <sub>2</sub> e/ton	5.17 ton	248.5546 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4260 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	23.66 m <sup>3</sup>	81.0666 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	0.8842 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	13.66 m <sup>3</sup>	12.0790 kgCO <sub>2</sub> e
Bloques	0.0342 kgCO <sub>2</sub> e/pza	1,193.72 pza	40.8300 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedillas	0.3799 kgCO <sub>2</sub> e/pza	165.22 pza	62.7660 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico	0.5457 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	35.69 m <sup>2</sup>	19.4768 kgCO <sub>2</sub> e
Tablas de pino	0.0009 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.61 m <sup>3</sup>	0.0005 kgCO <sub>2</sub> e
Varillas corrugadas	0.0026 kgCO <sub>2</sub> e/ml	357.51 ml	0.9331 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 2"	0.0413 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	0.4959 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 3"	0.0859 kgCO <sub>2</sub> e/ml	10.00 ml	0.8591 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 4"	0.1219 kgCO <sub>2</sub> e/ml	8.00 ml	0.9753 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de producción</b>			<b>578.0435 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo media

Tabla H14. Cálculo de emisiones para vivienda media en la etapa de producción de insumos

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores por material</b>	<b>Cantidad total de material</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Cemento gris	26.6120 kgCO <sub>2</sub> e/ton	15.86 ton	422.0962 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	48.0680 kgCO <sub>2</sub> e/ton	17.18 ton	825.6645 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4260 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	94.06 m <sup>3</sup>	322.2468 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	0.8842 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	52.00 m <sup>3</sup>	45.9792 kgCO <sub>2</sub> e
Bloques	0.0342 kgCO <sub>2</sub> e/pza	3,808.72 pza	130.2735 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedillas	0.3799 kgCO <sub>2</sub> e/pza	685.05 pza	260.2514 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico	0.5457 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	149.43 m <sup>2</sup>	81.5495 kgCO <sub>2</sub> e
Tablas de pino	0.0009 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	2.07 m <sup>3</sup>	0.0018 kgCO <sub>2</sub> e
Varillas corrugadas	0.0026 kgCO <sub>2</sub> e/ml	1,351.45 ml	3.5273 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 2"	0.0413 kgCO <sub>2</sub> e/ml	18.00 ml	0.7439 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 3"	0.0859 kgCO <sub>2</sub> e/ml	15.00 ml	1.2886 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 4"	0.1219 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	1.4629 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de producción</b>			<b>2,095.0858 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo residencial plus

Tabla H15. Cálculo de emisiones para vivienda residencial plus en la etapa de producción de insumos

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Factores por material</b>	<b>Cantidad total de material</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Cemento gris	26.6120 kgCO <sub>2</sub> e/ton	34.68 ton	923.0346 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	48.0680 kgCO <sub>2</sub> e/ton	36.99 ton	1,777.8717 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4260 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	210.05 m <sup>3</sup>	719.6469 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	0.8842 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	119.70 m <sup>3</sup>	105.8407 kgCO <sub>2</sub> e
Bloques	0.0342 kgCO <sub>2</sub> e/pza	6,840.80 pza	233.9827 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedillas	0.3799 kgCO <sub>2</sub> e/pza	1,588.52 pza	603.4787 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico	0.5457 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	269.14 m <sup>2</sup>	146.8777 kgCO <sub>2</sub> e
Tablas de pino	0.0009 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	4.54 m <sup>3</sup>	0.0040 kgCO <sub>2</sub> e
Varillas corrugadas	0.0026 kgCO <sub>2</sub> e/ml	2,582.66 ml	6.7407 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 2"	0.0413 kgCO <sub>2</sub> e/ml	51.00 ml	2.1078 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 3"	0.0859 kgCO <sub>2</sub> e/ml	42.50 ml	3.6510 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario de 4"	0.1219 kgCO <sub>2</sub> e/ml	34.00 ml	4.1450 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>			<b>4,527.3815 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE I. Resumen de cálculos realizados para la tercera etapa: construcción

### Vivienda tipo tradicional

Tabla I1. Cálculo de transporte de materiales en etapa de construcción para vivienda tipo tradicional

Material transportado	Distancia de transporte	Volumen de material	Vehículo empleado y rendimiento	Cantidad de viajes requeridos	Total de litros de combustible
Cemento gris	5 km	83 sac	Camión (0.5 lt/km)	1	2.50
Cal hidratada	30 km	104 sac	Camión (0.5 lt/km)	1	15.00
Polvo de piedra	20 km	24 m3	Volquete (0.4 lt/km)	4	32.00
Grava	20 km	14 m3	Hyundai (0.98 lt/km)	2	16.00
Bloques	20 km	1,194 pza	Camión (0.5 lt/km)	2	20.00
Bovedillas	20 km	165 pza	Camión (0.5 lt/km)	1	10.00
Rec. cerámico	180 km	35.6894 m2	Hyundai (0.98 lt/km)	1	176.40
Tablas de pino	8 km	39 pza	Hyundai (0.98 lt/km)	1	7.84
Varillas corrugadas	800 km	30 pza	Camión (0.5 lt/km)	1	400.00
Tubería PVC de 2", 3" y 4"	15 km	30 ml	Hyundai (0.98 lt/km)	1	14.70
<b>Total de combustible para transporte de materiales</b>				694.44 lts diesel	
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>				0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt	
<b>Total de emisiones por transporte de material</b>				<b>72.5690 kgCO<sub>2</sub>e</b>	

Tabla I2. Cálculo de transporte de trabajadores en etapa de construcción para vivienda tipo tradicional

<b>Distancia de transporte de trabajadores</b>	13 km
<b>Cantidad de empleados promedio en obra</b>	8 personas
<b>Vehículo empleado</b>	Camioneta tipo van (magna 15km/lt)
<b>Capacidad de vehículo</b>	15 personas
<b>Tiempo estimado de obra</b>	5 meses
<b>Días totales estimados de transporte</b>	118 días
<b>Distancia total estimada de transporte</b>	3,068 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	204.53 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por vehículo</b>	21.3737 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de cada trabajador</b>	1.4249 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de trabajadores</b>	<b>11.3993 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I3. Cálculo de transporte de desechos en etapa de construcción para vivienda tipo tradicional

<b>Tipo de desechos generados en obra</b>	Escombro reusable y basura
<b>Cantidad de escombro reusable</b>	14 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro reusable</b>	Obra ubicada a 15km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	60 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	24 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Emisiones por transporte de escombro reusable</b>	<b>2.508 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Cantidad de basura generada en obra</b>	42 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro no reusable</b>	Relleno sanitario de Kanasín ubicado a 26km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	156 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	62.4 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombro no reusable</b>	<b>6.5208 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por transporte de desechos generados en obra</b>	<b>9.0288 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I4. Cálculo de maquinaria empleada en etapa de construcción para vivienda tipo tradicional

<b>Maquinaria empleada en construcción</b>	Retroexcavadora (diésel, 1 lt/hr) Revolvedora de 1 saco (diésel, 3 lt/hr)
<b>Tiempo estimado de uso de retroexcavadora</b>	7 días, 8 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	50.4 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de retroexcavadora</b>	<b>5.2668 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Tiempo estimado de uso de revolvedora</b>	5 días, 5 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	75 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reusables</b>	<b>7.8375 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por uso de maquinaria en construcción</b>	<b>13.1043 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I5. Resumen de conceptos considerados para etapa de construcción en vivienda tradicional

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales a obra	72.5690 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores a obra	11.3993 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos generados en obra	9.0288 kgCO <sub>2</sub> e
Uso de maquinaria	13.1043 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción para vivienda tradicional</b>	<b>106.1014 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo media

Tabla I6. Cálculo de transporte de materiales en etapa de construcción para vivienda tipo media

Material transportado	Distancia de transporte	Volumen de material	Vehículo empleado y rendimiento	Cantidad de viajes requeridos	Total de litros de combustible
Cemento gris	10 km	318 sac	Camión (0.5 lt/km)	2	10.00
Cal hidratada	12 km	344 sac	Camión (0.5 lt/km)	1	6.00
Polvo de piedra	15 km	95 m3	Volquete (0.4 lt/km)	14	84.00
Grava	15 km	52 m3	Hyundai (0.98 lt/km)	7	44.57
Bloques	15 km	3,809 pza	Camión (0.5 lt/km)	4	30.00
Bovedillas	15 km	685 pza	Camión (0.5 lt/km)	2	15.00
Rec. cerámico	250 km	149.432 m2	Hyundai (0.98 lt/km)	1	245.00
Tablas de pino	6 km	133 pza	Hyundai (0.98 lt/km)	2	11.76
Varillas corrugadas	1,000 km	113 pza	Camión (0.5 lt/km)	2	1,000.00
Tubería PVC de 2", 3" y 4"	8 km	45 ml	Hyundai (0.98 lt/km)	1	7.84
<b>Total de combustible para transporte de materiales</b>				1,454.1714 lts diesel	
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>				0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt	
<b>Total de emisiones por transporte de material</b>				<b>151.9609 kgCO<sub>2</sub>e</b>	

Tabla I7. Cálculo de transporte de trabajadores en etapa de construcción para vivienda tipo media

<b>Distancia de transporte de trabajadores</b>	31 km
<b>Cantidad de empleados promedio en obra</b>	12 personas
<b>Vehículo empleado</b>	Camioneta tipo van (magna 15km/lt)
<b>Capacidad de vehículo</b>	15 personas
<b>Tiempo estimado de obra</b>	8 meses
<b>Días totales estimados de transporte</b>	193 días
<b>Distancia total estimada de transporte</b>	11,966 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	797.73 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por vehículo</b>	83.3631 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de cada trabajador</b>	5.5575 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de trabajadores</b>	<b>66.6905 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I8. Cálculo de transporte de desechos en etapa de construcción para vivienda tipo media

<b>Tipo de desechos generados en obra</b>	Escombro reusable y basura
<b>Cantidad de escombro reusable</b>	14 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro reusable</b>	Obra ubicada a 15km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	60 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	24 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Emisiones por transporte de escombro reusable</b>	<b>2.508 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Cantidad de basura generada en obra</b>	42 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro no reusable</b>	Relleno sanitario de Kanasín ubicado a 30km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	180 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	72 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombro no reusable</b>	<b>7.524 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por transporte de desechos generados en obra</b>	<b>10.0320 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I9. Cálculo de maquinaria empleada en etapa de construcción para vivienda tipo media

<b>Maquinaria empleada en construcción</b>	Retroexcavadora (diésel, 1 lt/hr) Apisonador (diésel, 1.2 lt/hr) Revolvedora de 1 saco (diésel, 3 lt/hr)
<b>Tiempo estimado de uso de retroexcavadora</b>	7 días, 8 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	50.4 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de retroexcavadora</b>	<b>5.2668 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Tiempo estimado de uso de apisonador</b>	20 días, 5 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	120 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reusables</b>	<b>12.54 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Tiempo estimado de uso de revolvedora</b>	16 días, 5 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	240 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reusables</b>	<b>25.08 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por uso de maquinaria en construcción</b>	<b>42.8868 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I10. Resumen de conceptos considerados para etapa de construcción en vivienda media

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales a obra	151.9609 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores a obra	66.6905 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos generados en obra	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e
Uso de maquinaria	42.8868 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción para vivienda media</b>	<b>271.5702 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo residencial plus

Tabla I11. Cálculo de transporte de materiales en etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus

Material transportado	Distancia de transporte	Volumen de material	Vehículo empleado y rendimiento	Cantidad de viajes requeridos	Total de litros de combustible
Cemento gris	20 km	694 sac	Camión (0.5 lt/km)	3	30.00
Cal hidratada	5 km	800 sac	Camión (0.5 lt/km)	2	5.00
Polvo de piedra	16.5 km	210 m3	Volquete (0.4 lt/km)	30	198.00
Grava	16.5 km	120 m3	Hyundai (0.98 lt/km)	17	113.1428
Bloques	16.5 km	6,841 pza	Camión (0.5 lt/km)	6	49.50
Bovedillas	16.5 km	1,589 pza	Camión (0.5 lt/km)	3	24.75
Rec. cerámico	250 km	269.14 m2	Hyundai (0.98 lt/km)	2	490.00
Tablas de pino	11 km	1290 pza	Hyundai (0.98 lt/km)	3	32.34
Varillas corrugadas	1,000 km	216 pza	Camión (0.5 lt/km)	2	1,000.00
Tubería PVC de 2", 3" y 4"	7 km	127.50 ml	Hyundai (0.98 lt/km)	2	13.72
<b>Total de combustible para transporte de materiales</b>				1,956.4529 lts diesel	
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>				0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt	
<b>Total de emisiones por transporte de material</b>				<b>204.4493 kgCO<sub>2</sub>e</b>	

Tabla I12. Cálculo de transporte de trabajadores en etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus

<b>Distancia de transporte de trabajadores</b>	29 km
<b>Cantidad de empleados promedio en obra</b>	20 personas
<b>Vehículo empleado</b>	Camioneta tipo van (magna 15km/lt)
<b>Capacidad de vehículo</b>	15 personas
<b>Tiempo estimado de obra</b>	12 meses
<b>Días totales estimados de transporte</b>	253 días
<b>Distancia total estimada de transporte</b>	14,674 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	978.27 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por vehículo</b>	102.2289 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de cada trabajador</b>	6.8153kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por transporte de trabajadores</b>	<b>136.3052 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I13. Cálculo de transporte de desechos en etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus

<b>Tipo de desechos generados en obra</b>	Escombro reusable y basura
<b>Cantidad de escombro reusable</b>	21 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro reusable</b>	Obra ubicada a 15km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	90 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	36 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Emisiones por transporte de escombro reusable</b>	<b>3.762 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Cantidad de basura generada en obra</b>	35 m3
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Volquete 7m3 (2.5 km/lt)
<b>Disposición de escombro no reusable</b>	Relleno sanitario de Kanasín ubicado a 30km
<b>Distancia total de transporte de escombro</b>	150 km
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	60 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombro no reusable</b>	<b>6.270 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por transporte de desechos generados en obra</b>	<b>10.0320 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I14. Cálculo de uso de maquinaria en etapa de construcción para vivienda tipo residencial plus

<b>Maquinaria empleada en construcción</b>	Retroexcavadora (diésel, 1 lt/hr) Apisonador (diésel, 1.2 lt/hr) Revolvedora de 1 saco (diésel, 3 lt/hr)
<b>Tiempo estimado de uso de retroexcavadora</b>	18 días, 8 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	129.6 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de retroexcavadora</b>	<b>13.5432 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Tiempo estimado de uso de apisonador</b>	82 días, 5 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	492 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reusables</b>	<b>51.414 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Tiempo estimado de uso de revolvedora</b>	16 días, 5 horas diarias
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	240 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reusables</b>	<b>25.080 kgCO<sub>2</sub>e</b>
<b>Total de emisiones generadas por uso de maquinaria en construcción</b>	<b>90.0372 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla I15. Resumen de conceptos considerados para etapa de construcción en vivienda residencial plus

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales a obra	204.4493 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores a obra	136.3052 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos generados en obra	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e
Uso de maquinaria	90.0372 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción para vivienda tradicional</b>	<b>440.8236 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE J. Resumen de cálculos realizados para la cuarta etapa: operación y uso

### Vivienda tipo tradicional

Tabla J1. Cálculo de consumo energético en etapa de operación y uso para vivienda tipo tradicional

Equipo	Potencia	Equipos usados	Periodo de uso de equipo				Consumo total
			Horas al día	Días al año	Años de uso	Horas al año	
A.A. 12,000btus	1,200 W	1	4.00	300	50	60,000	72,000 kWh
Televisión 32"	360 W	1	8.00	300	50	120,000	43,200 kWh
Ventilador techo	65 W	3	4.00	300	50	60,000	11,700 kWh
Lámparas plafón	8 W	10	6.00	365	50	109,500	8,760 kWh
Refrigerador	288 W	1	10.00	365	50	182,500	52,469 kWh
Estufa eléctrica	850 W	1	2.00	300	50	30,000	25,500 kWh
Microondas	1,300 W	1	0.25	300	50	3,750	4,875 kWh
Lavadora	550 W	1	4.00	104	50	20,800	11,440 kWh
<b>Total de consumo de energía eléctrica</b>						<b>229,943.75 kWh</b>	
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica</b>						<b>0.50 kgCO<sub>2e</sub> / kWh</b>	
<b>Total de emisiones por consumo de energía eléctrica</b>						<b>114,971.88 kgCO<sub>2e</sub></b>	

Tabla J2. Cálculo de transporte de basura en etapa de operación y uso para vivienda tipo tradicional

<b>Cantidad de basura generada</b>	2 bolsas por día, 3 veces por semana
<b>Peso de basura generada por semana</b>	240 kg
<b>Peso de basura generada por año</b>	12,480 kg
<b>Peso de basura generada por 50 años</b>	624,000 kg
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Camión de basura (diésel, 0.50 lt/km)
<b>Disposición de basura</b>	Relleno sanitario ubicado a 26 km
<b>Viajes estimados del vehículo en 50 años</b>	7,850 viajes
<b>Distancia recorrida estimada en 50 años</b>	202,800 km
<b>Cantidad estimada de combustible para 50 años</b>	101,400 lts diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2e</sub> / lt
<b>Total de emisiones generadas por transporte de basura generada en la vivienda</b>	<b>10,596.30 kgCO<sub>2e</sub></b>

Tabla J3. Mantenimiento recomendado por el constructor para vivienda tipo tradicional

Concepto	Mantenimiento recomendado	Factor de mantenimiento por 50 años
Pisos de cerámica	Renovación cada 40 años	0.25
Instalación hidráulica	Renovación cada 25 años	1.00
Acabados interiores	Renovación cada 40 años	0.25
Acabados exteriores	Renovación cada 25 años	1.00

Tabla J4. Cálculo de cemento gris para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>			
Acabado muros	169.23 m2	169.23 m2	3.4117 sac
Acabado plafón	25.23 m2	25.23 m2	0.5086 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		3.9203 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		0.9801 sac	
<b>Cemento gris requerido para mantenimiento</b>		<b>0.0490 ton</b>	

Tabla J5. Cálculo de cal para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>			
Acabado muro	169.23 m2	169.23 m2	50.5998 sac
Acabado plafón	25.23 m2	25.23 m2	7.5438 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		58.1435 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		14.5359 sac	
<b>Cal requerida para mantenimiento</b>		<b>0.3634 ton</b>	

Tabla J6. Cálculo de polvo de piedra para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>			
Acabado muro	169.23 m2	169.23 m2	1.8954 m3
Acabado plafón	25.23 m2	25.23 m2	0.2826 m3
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		2.1780 m3	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		0.5445 m3	
<b>Polvo de piedra requerido para mantenimiento</b>		<b>0.5445 m3</b>	

Tabla J7. Cálculo de recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Recubrimientos</b>			
Pisos de cerámica	27.06 m2	27.06 m2	30.8268 m2
Zoclos de cerámica	38.72 ml	38.72 ml	4.0733 ml
Pisos de área húmeda	0.69 m2	0.69 m2	0.7895 m2
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		35.6896 m2	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		8.9224 m2	
<b>Recubrimiento cerámico requerido para mantenimiento</b>		<b>8.9224 m2</b>	

Tabla J8. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 2" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b>			
Salida sanitaria con tubería de PVC sanitario ligero	4 sal	4 sal	12.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		12.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		12.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 2" requerido para mantenimiento</b>		<b>12.00 ml</b>	

Tabla J9. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 3" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC sanitario ligero	4 sal	4 sal	10.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		10.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		10.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 3" requerido para mantenimiento</b>		<b>10.00 ml</b>	

Tabla J10. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 4" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo tradicional

Concepto	Volumen planta baja	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC sanitario ligero	4 sal	4 sal	8.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>		8.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>		8.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 4" requerido para mantenimiento</b>		<b>8.00 ml</b>	

Tabla J11. Cálculo de mantenimiento recomendado en etapa de operación y uso para vivienda tipo tradicional

Concepto	Factor de emisiones para extracción y producción	Cantidad de material	Emisiones para vivienda
Cemento gris	26.6712 kgCO <sub>2</sub> e/ton	0.05 ton	1.3070 kgCO <sub>2</sub> e
Cal	48.1425 kgCO <sub>2</sub> e/ton	0.36 ton	17.4948 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4644 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.54 m <sup>3</sup>	1.8863 kgCO <sub>2</sub> e
Rec. cerámico	0.5499 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	8.92 m <sup>2</sup>	4.9070 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 2"	0.0464 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	0.5565 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 3"	0.0964 kgCO <sub>2</sub> e/ml	10.00 ml	0.9641 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 4"	0.1368 kgCO <sub>2</sub> e/ml	8.00 ml	1.0945 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por mantenimiento recomendado por el constructor</b>			<b>28.2102 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla J12. Resumen de conceptos considerados para etapa de operación y uso en vivienda tradicional

Concepto	Emisiones para vivienda
Consumo de energía eléctrica	114,971.8750 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	10,596.3000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por el constructor de la vivienda	28.2102 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda tradicional</b>	<b>125,596.3852 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo media

Tabla J13. Cálculo de consumo energético en etapa de operación y uso para vivienda tipo media

Equipo	Potencia	Equipos usados	Periodo de uso de equipo				Consumo total
			Horas al día	Días al año	Años de uso	Horas al año	
A.A. 12,000btus	1,200 W	2	8.00	300	50	120,000	288,000 kWh
Televisión 40"	360 W	3	8.00	300	50	120,000	129,600 kWh
Ventilador techo	65 W	5	4.00	300	50	60,000	19,500 kWh
Lámparas plafón	8 W	30	6.00	365	50	109,500	26,280 kWh
Refrigerador	575 W	1	10.00	365	50	182,500	104,938 kWh
Estufa eléctrica	850 W	1	2.00	300	50	30,000	25,500 kWh
Microondas	1,300 W	1	0.25	300	50	3,750	4,875 kWh
Lavadora	550 W	1	4.00	104	50	20,800	11,440 kWh
<b>Total de consumo de energía eléctrica</b>						<b>617,632.50 kWh</b>	
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica</b>						<b>0.50 kgCO<sub>2</sub>e / kWh</b>	
<b>Total de emisiones por consumo de energía eléctrica</b>						<b>308,816.25 kgCO<sub>2</sub>e</b>	

Tabla J14. Cálculo de transporte de basura en etapa de operación y uso para vivienda tipo media

<b>Cantidad de basura generada</b>	2 bolsas por día, 3 veces por semana
<b>Peso de basura generada por semana</b>	240 kg
<b>Peso de basura generada por año</b>	12,480 kg
<b>Peso de basura generada por 50 años</b>	624,000 kg
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Camión de basura (diésel, 0.50 lt/km)
<b>Disposición de basura</b>	Relleno sanitario ubicado a 32 km
<b>Viajes estimados del vehículo en 50 años</b>	7,800 viajes
<b>Distancia recorrida estimada en 50 años</b>	249,600 km
<b>Cantidad estimada de combustible para 50 años</b>	124,800 lts diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones generadas por transporte de basura generada en la vivienda</b>	<b>13,041.60 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla J15. Mantenimiento recomendado por el constructor para vivienda tipo media

Concepto	Mantenimiento recomendado	Factor de mantenimiento por 50 años
Pisos de cerámica	Renovación cada 40 años	0.25
Instalación hidráulica	Renovación cada 25 años	1.00
Acabados interiores	Renovación cada 40 años	0.25
Acabados exteriores	Renovación cada 25 años	1.00

Tabla J16. Cálculo de cemento gris para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	124.01 m2	170.42 m2	294.43 m2	5.9357 sac
Acabado muro ext	141.41 m2	142.98 m2	284.39 m2	31.5332 sac
Acabado plafón int	57.18 m2	53.78 m2	110.96 m2	2.2370 sac
Acabado plafón ext	10.55 m2		10.55 m2	1.1698 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			40.8757 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			34.7461 sac	
<b>Cemento gris requerido para mantenimiento</b>			<b>1.7373 ton</b>	

Tabla J17. Cálculo de cal para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	124.01 m2	170.42 m2	294.43 m2	88.0346 sac
Acabado muro ext	141.41 m2	142.98 m2	284.39 m2	102.7217 sac
Acabado plafón int	57.18 m2	53.78 m2	110.96 m2	33.1779 sac
Acabado plafón ext	10.55 m2		10.55 m2	3.8107 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			227.7448 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			136.8355 sac	
<b>Cal requerida para mantenimiento</b>			<b>3.4209 ton</b>	

Tabla J18. Cálculo de polvo de piedra para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	124.01 m2	170.42 m2	294.43 m2	3.2976 m3
Acabado muro ext	141.41 m2	142.98 m2	284.39 m2	9.5271 m3
Acabado plafón int	57.18 m2	53.78 m2	110.96 m2	1.2428 m3
Acabado plafón ext	10.55 m2		10.55 m2	0.3534 m3
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			14.4209 m3	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			11.0156 m3	
<b>Polvo de piedra requerido para mantenimiento</b>			<b>11.0156 m3</b>	

Tabla J19. Cálculo de recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Recubrimientos</b>				
Piso de cerámica	59.99 m2	49.10 m2	109.10 m2	124.2844 m2
Zoclo de cerámica	45.23 ml	65.16 ml	110.40 ml	11.6137 m2
Pisos área húmeda		1.32 m2	1.32 m2	1.5037 m2
Rec. de escalera	10.56 m2		10.56 m2	12.0300 m2
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			149.4318 m2	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			37.3579 m2	
<b>Recubrimiento cerámico requerido para mantenimiento</b>			<b>37.3579 m2</b>	

Tabla J20. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 2" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	3.00 sal	3.00 sal	6.00 sal	18.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			18.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			18.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 2" requerido para mantenimiento</b>			<b>18.00 ml</b>	

Tabla J21. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 3" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	3.00 sal	3.00 sal	6.00 sal	15.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			15.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			15.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 3" requerido para mantenimiento</b>			<b>15.00 ml</b>	

Tabla J22. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 4" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo media

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	3.00 sal	3.00 sal	6.00 sal	12.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			12.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			12.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 4" requerido para mantenimiento</b>			<b>12.00 ml</b>	

Tabla J23. Cálculo de mantenimiento recomendado en etapa de operación y uso para vivienda tipo media

Concepto	Factor de emisiones para extracción y producción	Cantidad de material	Emisiones para vivienda
Cemento gris	26.6712 kgCO <sub>2</sub> e/ton	1.74 ton	46.3361 kgCO <sub>2</sub> e
Cal	48.1425 kgCO <sub>2</sub> e/ton	3.42 ton	164.6900 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4644 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	11.02 m <sup>3</sup>	38.1624 kgCO <sub>2</sub> e
Rec. cerámico	0.5499 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	37.36 m <sup>2</sup>	20.5454 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 2"	0.0464 kgCO <sub>2</sub> e/ml	18.00 ml	0.8348 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 3"	0.0964 kgCO <sub>2</sub> e/ml	15.00 ml	1.4461 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 4"	0.1368 kgCO <sub>2</sub> e/ml	12.00 ml	1.6417 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por mantenimiento recomendado por el constructor</b>			<b>273.6565 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla J24. Resumen de conceptos considerados para etapa de operación y uso en vivienda media

Concepto	Emisiones para vivienda
Consumo de energía eléctrica	308,816.2500 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	13,041.6000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por el constructor de la vivienda	273.6565 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda tradicional</b>	<b>322,131.5065 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo residencial plus

Tabla J25. Cálculo de consumo energético en etapa de operación y uso para vivienda tipo residencial plus

Equipo	Potencia	Equipos usados	Periodo de uso de equipo				Consumo total
			Horas al día	Días al año	Años de uso	Horas al año	
A.A. 18,000 btus	1,200 W	7	8.00	300	50	120,000	1,008,000 kWh
Televisión 40"	360 W	6	8.00	300	50	120,000	259,200 kWh
Ventilador techo	65 W	9	4.00	300	50	60,000	35,100 kWh
Lámparas plafón	8 W	43	6.00	365	50	109,500	37,668 kWh
Refrigerador 2pts	575 W	1	10.00	365	50	182,500	104,938 kWh
Estufa eléctrica	850 W	1	2.00	300	50	30,000	25,500 kWh
Microondas	1,300 W	1	0.25	300	50	3,750	4,875 kWh
Lavadora	550 W	1	4.00	104	50	20,800	11,440 kWh
Secadora	250 W	1	4.00	104	50	20,800	5,200 kWh
Calentador electr	1,500 W	1	1.00	100	50	5,000	7,500 kWh
Bombas para piscina y cisterna	400 W	1	2.00	104	50	10,400	4,160 kWh
<b>Total de consumo de energía eléctrica</b>						<b>1,503,580.50 kWh</b>	
<b>Factor de emisiones para energía eléctrica</b>						<b>0.50 kgCO<sub>2</sub>e / kWh</b>	
<b>Total de emisiones por consumo de energía eléctrica</b>						<b>751,790.2500 kgCO<sub>2</sub>e</b>	

Tabla J26. Cálculo de transporte de basura en etapa de operación y uso para vivienda tipo residencial plus

<b>Cantidad de basura generada</b>	2 bolsas por día, 3 veces por semana
<b>Peso de basura generada por semana</b>	240 kg
<b>Peso de basura generada por año</b>	12,480 kg
<b>Peso de basura generada por 50 años</b>	624,000 kg
<b>Vehículo empleado para transporte</b>	Camión de basura (diésel, 0.50 lt/km)
<b>Disposición de basura</b>	Relleno sanitario ubicado a 30 km
<b>Viajes estimados del vehículo en 50 años</b>	7,800 viajes
<b>Distancia recorrida estimada en 50 años</b>	234,000 km
<b>Cantidad estimada de combustible para 50 años</b>	117,000 lts diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones generadas por transporte de basura generada en la vivienda</b>	<b>12,226.50 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla J27. Mantenimiento recomendado por el constructor para vivienda tipo residencial plus

Concepto	Mantenimiento recomendado	Factor de mantenimiento por 50 años
Pisos de cerámica	Renovación cada 40 años	0.25
Instalación hidráulica	Renovación cada 25 años	1.00
Acabados interiores	Renovación cada 40 años	0.25
Acabados exteriores	Renovación cada 25 años	1.00

Tabla J28. Cálculo de cemento gris para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	223.00 m2	299.00 m2	522.00 m2	10.5235 sac
Acabado muro ext	492.00 m2	121.00 m2	613.00 m2	67.9694 sac
Acabado plafón int	106.00 m2	116.00 m2	222.00 m2	4.4755 sac
Acabado plafón ext	50.00 m2		50.00 m2	5.5440 sac
Acabado cem pulido	23.00 m2	27.00 m2	50.00 m2	5.5440 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			94.0565 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			82.8072 sac	
<b>Cemento gris requerido para mantenimiento</b>			<b>4.1404 ton</b>	

Tabla J29. Cálculo de cal para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	223.00 m2	299.00 m2	522.00 m2	156.0780 sac
Acabado muro ext	492.00 m2	121.00 m2	613.00 m2	221.4156 sac
Acabado plafón int	106.00 m2	116.00 m2	222.00 m2	66.3780 sac
Acabado plafón ext	50.00 m2		50.00 m2	18.0600 sac
Acabado cem pulido	23.00 m2	27.00 m2	50.00 m2	18.0600 sac
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			479.9916 sac	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			313.1496 sac	
<b>Cal requerida para mantenimiento</b>			<b>7.8287 ton</b>	

Tabla J30. Cálculo de polvo de piedra para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Acabados</b>				
Acabado muro int	223.00 m2	299.00 m2	522.00 m2	5.8464 m3
Acabado muro ext	492.00 m2	121.00 m2	613.00 m2	20.5355 m3
Acabado plafón int	106.00 m2	116.00 m2	222.00 m2	2.4864 m3
Acabado plafón ext	50.00 m2		50.00 m2	1.6750 m3
Acabado cem pulido	23.00 m2	27.00 m2	50.00 m2	1.6750 m3
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			32.2183 m3	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			25.9687 m3	
<b>Polvo de piedra requerido para mantenimiento</b>			<b>25.9687 m3</b>	

Tabla J31. Cálculo de recubrimiento cerámico para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Recubrimientos</b>				
Piso de cerámica	100.00 m2	106.00 m2	206.00 m2	234.6752 m2
Zoclo de cerámica	76.00 ml	100.00 ml	176.00 ml	18.5152 m2
Pisos área húmeda	2.00 m2	4.00 m2	6.00 m2	6.8352 m2
Rec. de escalera	8.00 m2		8.00 m2	9.1136 m2
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			269.1392 m2	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			67.2848 m2	
<b>Recubrimiento cerámico requerido para mantenimiento</b>			<b>67.2848 m2</b>	

Tabla J32. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 2" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	7.00 sal	10.00 sal	17.00 sal	51.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			51.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			51.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 2" requerido para mantenimiento</b>			<b>51.00 ml</b>	

Tabla J33. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 3" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	7.00 sal	10.00 sal	17.00 sal	42.50 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			42.50 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			42.50 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 3" requerido para mantenimiento</b>			<b>42.50 ml</b>	

Tabla J34. Cálculo de tubería PVC sanitaria de 4" para mantenimiento recomendado de vivienda tipo residencial plus

Concepto	Volumen planta baja	Volumen planta alta	Volumen total	Cantidad de mat por concepto
<b>Instalaciones</b> Salida sanitaria con tubería de PVC	7.00 sal	10.00 sal	17.00 sal	34.00 ml
<b>Cantidad de material para mantenimiento recomendado</b>			34.00 ml	
<b>Cantidad de material por factor de mantenimiento</b>			34.00 ml	
<b>Tubería PVC sanit de 4" requerido para mantenimiento</b>			<b>34.00 ml</b>	

Tabla J35. Cálculo de mantenimiento recomendado en etapa de operación y uso para vivienda tipo residencial plus

Concepto	Factor de emisiones para extracción y producción	Cantidad de material	Emisiones para vivienda
Cemento gris	26.6712 kgCO <sub>2</sub> e/ton	4.14 ton	110.4284 kgCO <sub>2</sub> e
Cal	48.1425 kgCO <sub>2</sub> e/ton	7.83 ton	376.8951 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	3.4644 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	25.97 m <sup>3</sup>	89.9660 kgCO <sub>2</sub> e
Rec. cerámico	0.5499 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	67.28 m <sup>2</sup>	37.0039 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 2"	0.0464 kgCO <sub>2</sub> e/ml	51.00 ml	2.3653 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 3"	0.0964 kgCO <sub>2</sub> e/ml	42.50 ml	4.0973 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería PVC 4"	0.1368 kgCO <sub>2</sub> e/ml	34.00 ml	4.6516 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones generadas por mantenimiento recomendado por el constructor</b>			<b>625.4076 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla J36. Resumen de conceptos considerados para etapa de operación y uso en vivienda residencial plus

Concepto	Emisiones para vivienda
Consumo de energía eléctrica	751,790.2500 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	12,226.5000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por el constructor de la vivienda	625.4076 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda tradicional</b>	<b>764,642.1576 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE K. Resumen de cálculos realizados para la quinta etapa: disposición final

### Vivienda tipo tradicional

Tabla K1. Cálculo de demolición de vivienda en etapa de disposición final para vivienda tipo tradicional

<b>Maquinaria empleada para demolición</b>	Retroexcavadora (diésel 1 lt/hr)
<b>Tiempo empleado para demolición</b>	5 días, 8 horas por día
<b>Total de horas de trabajo de maquinaria</b>	40 horas
<b>Cantidad total estimada de combustible</b>	36 lt diesel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de maquinaria para demolición</b>	<b>3.7620 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K2. Cálculo de transporte de escombros reutilizables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo tradicional

<b>Superficie de construcción vivienda tradicional</b>	50.40 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 50% reutilizable
<b>Volumen estimado de escombros</b>	7.26 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros reutilizables</b>	3.63 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros reutilizables</b>	Relleno para sitio de construcción ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros reutilizables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	30 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	12 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reutilizables producto de la demolición</b>	<b>1.2540 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K3. Cálculo de transporte de escombros no reusables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo tradicional

<b>Superficie de construcción vivienda tradicional</b>	50.40 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 50% no reusables
<b>Volumen estimado de escombros</b>	7.26 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros no reusables</b>	3.63 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros no reusables</b>	Desecho a depositar en relleno sanitario ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros no reusables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	30 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	12 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros no reusables producto de la demolición</b>	<b>1.2540 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K4. Resumen de conceptos considerados para etapa de disposición final en vivienda tradicional

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizables a obra nueva	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reusables a relleno sanitario	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda tradicional</b>	<b>6.2700 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## Vivienda tipo media

Tabla K5. Cálculo de demolición de vivienda en etapa de disposición final para vivienda tipo media

<b>Maquinaria empleada para demolición</b>	Retroexcavadora (diésel 1 lt/hr) Martillo demoledor (diésel 1.1 lt/hr)
<b>Tiempo empleado para uso de retroexcavadora</b>	5 días, 8 horas por día
<b>Total de horas de trabajo de retroexcavadora</b>	40 horas
<b>Cantidad total estimada de combustible por uso de retroexcavadora</b>	36 lt diesel
<b>Tiempo empleado para uso de martillo demoledor</b>	5 días, 8 horas por día
<b>Total de horas de trabajo de retroexcavadora</b>	40 horas
<b>Cantidad total estimada de combustible por uso de martillo demoledor</b>	44 lt diesel
<b>Total de combustible empleado por ambas máquinas para demolición de vivienda</b>	80 lt diesel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de maquinara para demolición</b>	<b>8.3600 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K6. Cálculo de transporte de escombros reutilizables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo media

<b>Superficie de construcción vivienda media</b>	107.79 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 50% reutilizable
<b>Volumen estimado de escombros</b>	15.52 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros reutilizables</b>	7.76 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros reutilizables</b>	Relleno para sitio de construcción ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros reutilizables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	60 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	24 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reutilizables producto de la demolición</b>	<b>2.5080 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K7. Cálculo de transporte de escombros no reusables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo media

<b>Superficie de construcción vivienda media</b>	107.79 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 50% no reusables
<b>Volumen estimado de escombros</b>	15.52 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros no reusables</b>	7.76 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros no reusables</b>	Desecho a depositar en relleno sanitario ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros no reusables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	60 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	24 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros no reusables producto de la demolición</b>	<b>2.5080 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K8. Resumen de conceptos considerados para etapa de disposición final en vivienda media

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizables a obra nueva	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reusables a relleno sanitario	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda media</b>	<b>13.3760 kgCO<sub>2</sub>e</b>

### Vivienda tipo residencial plus

Tabla K9. Cálculo de demolición de vivienda en etapa de disposición final para vivienda tipo residencial plus

<b>Maquinaria empleada para demolición</b>	Retroexcavadora (diésel 1 lt/hr) Martillo demoledor (diésel 1.1 lt/hr)
<b>Tiempo empleado para uso de retroexcavadora</b>	5 días, 8 horas por día
<b>Total de horas de trabajo de retroexcavadora</b>	40 horas
<b>Cantidad total estimada de combustible por uso de retroexcavadora</b>	36 lt diesel
<b>Tiempo empleado para uso de martillo demoledor</b>	5 días, 8 horas por día
<b>Total de horas de trabajo de retroexcavadora</b>	40 horas
<b>Cantidad total estimada de combustible por uso de martillo demoledor</b>	44 lt diesel
<b>Total de combustible empleado por ambas máquinas para demolición de vivienda</b>	80 lt diesel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por uso de maquinara para demolición</b>	<b>8.3600 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K10. Cálculo de transporte de escombros reutilizables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo residencial plus

<b>Superficie construcción vivienda residencial plus</b>	272.00 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 40% reutilizable
<b>Volumen estimado de escombros</b>	39.17 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros reutilizables</b>	15.67 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros reutilizables</b>	Relleno para sitio de construcción ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros reutilizables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	90 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	36 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros reutilizables producto de la demolición</b>	<b>3.762 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K11. Cálculo de transporte de escombros no reusables producto de la demolición en etapa de disposición final para vivienda tipo residencial plus

<b>Superficie construcción vivienda residencial plus</b>	272.00 m <sup>2</sup>
<b>Escombros generados por demolición de vivienda</b>	0.144 m <sup>3</sup> por m <sup>2</sup> de construcción 60% no reusables
<b>Volumen estimado de escombros</b>	39.17 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de escombros no reusables</b>	23.50 m <sup>3</sup>
<b>Disposición de escombros no reusables</b>	Desecho a depositar en relleno sanitario ubicado a 30 km
<b>Vehículo para transporte de escombros no reusables</b>	Volquete 7m <sup>3</sup> (diésel, 2.5 km/lt)
<b>Distancia estimada de transporte de escombros</b>	120 km
<b>Cantidad de combustible empleado en transporte</b>	48 lt diésel
<b>Factor de emisiones para combustible diésel</b>	0.1045 kgCO <sub>2</sub> e / lt
<b>Total de emisiones por transporte de escombros no reusables producto de la demolición</b>	<b>5.0160 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla K12. Resumen de conceptos considerados para etapa de disposición final en vivienda residencial plus

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizables a obra nueva	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reusables a relleno sanitario	5.0160 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso para vivienda residencial plus</b>	<b>17.1380 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE L. Emisiones estimadas para la vivienda tipo tradicional en cada etapa del ciclo de vida

Tabla L1. Emisiones estimadas para vivienda tipo tradicional en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.2447 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	0.3852 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.9086 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	0.6462 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	1.1407 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	0.2417 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.1510 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0154 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 2")	0.0606 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 3")	0.1050 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 4")	0.1192 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>	<b>4.0184 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla L2. Emisiones estimadas para vivienda tipo tradicional en la etapa de producción de insumos

<b>Insumo (material)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Cemento gris	110.0067 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	248.5546 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	81.0666 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	12.0790 kgCO <sub>2</sub> e
Block de 15x20x40cm	40.8300 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedilla de 20x25x56cm	62.7660 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico de 33x33cm	19.4768 kgCO <sub>2</sub> e
Tabla de pino de 1"x10"x2.50m	0.0005 kgCO <sub>2</sub> e
Varilla corrugada de 3/8"	0.9331 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 2"	0.4959 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 3"	0.8591 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 4"	0.9753 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de producción</b>	<b>578.0435 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla L3. Emisiones estimadas para vivienda tipo tradicional en la etapa de construcción

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales	72.5690 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores	11.3993 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos	9.0288 kgCO <sub>2</sub> e
Maquinaria empleada en la construcción	13.1043 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción</b>	<b>106.1014 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla L4. Emisiones estimadas para vivienda tipo tradicional en la etapa de operación y uso

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Consumo energético	114,971.8750 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	10,596.3000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por constructor	28.2102 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso</b>	<b>125,596.3852 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla L5. Emisiones estimadas para vivienda tipo tradicional en la etapa de disposición final

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizable	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reutilizable	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de disposición final</b>	<b>6.2700 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE M. Emisiones estimadas para la vivienda tipo media en cada una de las etapas del ciclo de vida

Tabla M1. Emisiones estimadas para vivienda tipo media en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.9390 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	1.2793 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	3.6119 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	2.4596 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	3.6396 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	1.0022 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.6321 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.0582 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 2")	0.0909 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 3")	0.1575 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 4")	0.1788 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>	<b>14.0492 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla M2. Emisiones estimadas para vivienda tipo media en la etapa de producción de insumos

<b>Insumo (material)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Cemento gris	422.0962 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	825.6645 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	322.2468 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	45.9792 kgCO <sub>2</sub> e
Block de 15x20x40cm	130.2735 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedilla de 20x25x56cm	260.2514 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico de 33x33cm	81.5495 kgCO <sub>2</sub> e
Tabla de pino de 1"x10"x2.50m	0.0018 kgCO <sub>2</sub> e
Varilla corrugada de 3/8"	3.5273 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 2"	0.7439 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 3"	1.2886 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 4"	1.4629 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de producción</b>	<b>2,095.0858 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla M3. Emisiones estimadas para vivienda tipo media en la etapa de construcción

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales	151.9609 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores	66.6905 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e
Maquinaria empleada en la construcción	42.8868 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción</b>	<b>271.5702 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla M4. Emisiones estimadas para vivienda tipo media en la etapa de operación y uso

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Consumo energético	308,816.2500 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	13,041.6000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por constructor	273.6565 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso</b>	<b>322,131.5065 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla M5. Emisiones estimadas para vivienda tipo media en la etapa de disposición final

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizable	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reutilizable	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de disposición final</b>	<b>13.3760 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE N. Emisiones estimadas para la vivienda tipo residencial plus en cada una de las etapas del ciclo de vida

Tabla N1. Emisiones estimadas para vivienda tipo residencial plus en la etapa de extracción de materia prima

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Piedra caliza (cemento gris)	2.0533 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	2.7555 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	8.0661 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	5.6619 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	6.5371 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	2.3240 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	1.1385 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0002 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varilla corrugada)	0.1112 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 2")	0.2576 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 3")	0.4463 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 4")	0.5066 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de extracción</b>	<b>29.8583 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla N2. Emisiones estimadas para vivienda tipo residencial plus en la etapa de producción de insumos

<b>Insumo (material)</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Cemento gris	923.0346 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	1,777.8717 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	719.6469 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	105.8407 kgCO <sub>2</sub> e
Block de 15x20x40cm	233.9827 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedilla de 20x25x56cm	603.4787 kgCO <sub>2</sub> e
Recubrimiento cerámico de 33x33cm	146.8777 kgCO <sub>2</sub> e
Tabla de pino de 1"x10"x2.50m	0.0040 kgCO <sub>2</sub> e
Varilla corrugada de 3/8"	6.7407 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 2"	2.1078 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 3"	3.6510 kgCO <sub>2</sub> e
Tubería de PVC sanitario ligero de 4"	4.1450 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de producción</b>	<b>4,527.3815 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla N3. Emisiones estimadas para vivienda tipo residencial plus en la etapa de construcción

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Transporte de materiales	204.4493 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores	136.3052 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e
Maquinaria empleada en la construcción	90.0372 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de construcción</b>	<b>440.8236 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla N4. Emisiones estimadas para vivienda tipo residencial plus en la etapa de operación y uso

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Consumo energético	751,790.2500 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	12,226.5000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por constructor	625.4076 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de operación y uso</b>	<b>764,642.1576 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Tabla N5. Emisiones estimadas para vivienda tipo residencial plus en la etapa de disposición final

<b>Concepto</b>	<b>Emisiones para vivienda</b>
Demolición de la vivienda	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizable	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reutilizable	5.0160 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones en etapa de disposición final</b>	<b>17.1380 kgCO<sub>2</sub>e</b>

## APENDICE O. Tablas y gráficos comparativos de los resultados obtenidos para los tres estudios de caso

### Resumen de resultados por etapas del ciclo de vida

Tabla O1. Total de emisiones por etapa para cada tipo de vivienda analizado

Etapa	Tradicional	Media	Residencial plus
Extracción de materia prima	4.0184 kgCO <sub>2</sub> e	14.0492 kgCO <sub>2</sub> e	29.8583 kgCO <sub>2</sub> e
Producción de insumos	578.0435 kgCO <sub>2</sub> e	2,095.0858 kgCO <sub>2</sub> e	4,527.3815 kgCO <sub>2</sub> e
Construcción	106.1014 kgCO <sub>2</sub> e	271.5702 kgCO <sub>2</sub> e	440.8236 kgCO <sub>2</sub> e
Operación y uso	125,596.3852 kgCO <sub>2</sub> e	322,131.5065 kgCO <sub>2</sub> e	764,642.1576 kgCO <sub>2</sub> e
Disposición final	6.2700 kgCO <sub>2</sub> e	13.3760 kgCO <sub>2</sub> e	17.1380 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>126,290.8185 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>324,525.5877 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>769,657.3589 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O1. Gráfico de emisiones por etapa para cada tipo de vivienda analizado

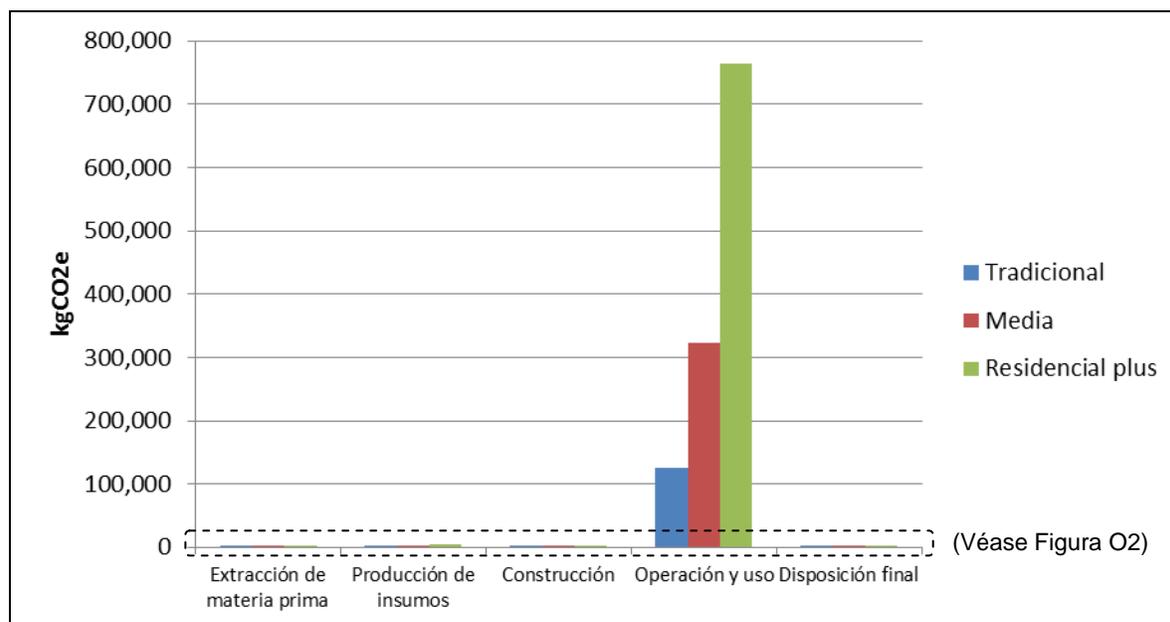
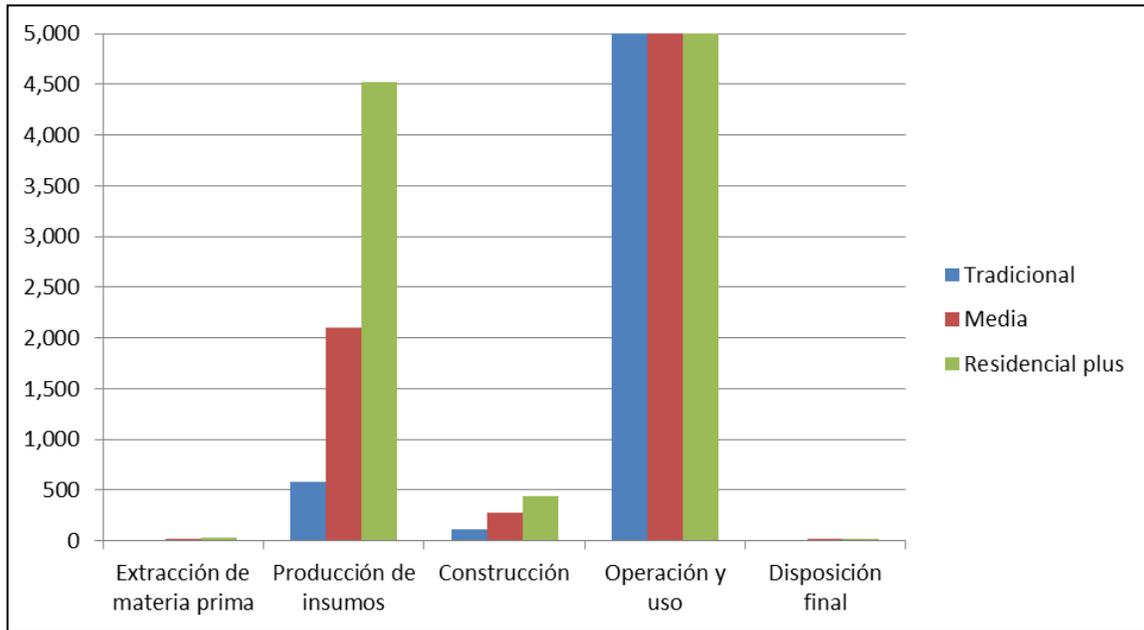


Figura O2. Área aumentada de Figura O1



## Resumen de resultados para la primera etapa: extracción de materia prima

Tabla O2. Total de emisiones en la etapa de extracción de materia prima para cada tipo de vivienda analizado

<b>Materia prima (material asociado)</b>	<b>Tradicional</b>	<b>Media</b>	<b>Residencial plus</b>
Piedra caliza (cemento gris)	0.2447 kgCO <sub>2</sub> e	0.9390 kgCO <sub>2</sub> e	2.0533 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (cal hidratada)	0.3852 kgCO <sub>2</sub> e	1.2793 kgCO <sub>2</sub> e	2.7555 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (polvo de piedra)	0.9086 kgCO <sub>2</sub> e	3.6119 kgCO <sub>2</sub> e	8.0661 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (grava)	0.6462 kgCO <sub>2</sub> e	2.4596 kgCO <sub>2</sub> e	5.6619 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bloques)	1.1407 kgCO <sub>2</sub> e	3.6396 kgCO <sub>2</sub> e	6.5371 kgCO <sub>2</sub> e
Piedra caliza (bovedillas)	0.2417 kgCO <sub>2</sub> e	1.0022 kgCO <sub>2</sub> e	2.3240 kgCO <sub>2</sub> e
Arcilla de piedra caliza (rec. cerámico)	0.1510 kgCO <sub>2</sub> e	0.6321 kgCO <sub>2</sub> e	1.1385 kgCO <sub>2</sub> e
Madera de pino (tablas)	0.0000 kgCO <sub>2</sub> e	0.0001 kgCO <sub>2</sub> e	0.0002 kgCO <sub>2</sub> e
Mineral de hierro (varillas corrugadas)	0.0154 kgCO <sub>2</sub> e	0.0582 kgCO <sub>2</sub> e	0.1112 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 2")	0.0606 kgCO <sub>2</sub> e	0.0909 kgCO <sub>2</sub> e	0.2576 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 3")	0.1050 kgCO <sub>2</sub> e	0.1575 kgCO <sub>2</sub> e	0.4463 kgCO <sub>2</sub> e
Cloruro de vinilo (tubo PVC sanitario 4")	0.1192 kgCO <sub>2</sub> e	0.1788 kgCO <sub>2</sub> e	0.5066 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>4.0184 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>14.0492 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>29.8583 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O3. Gráfico de emisiones en la etapa de extracción de materia prima para cada tipo de vivienda analizado

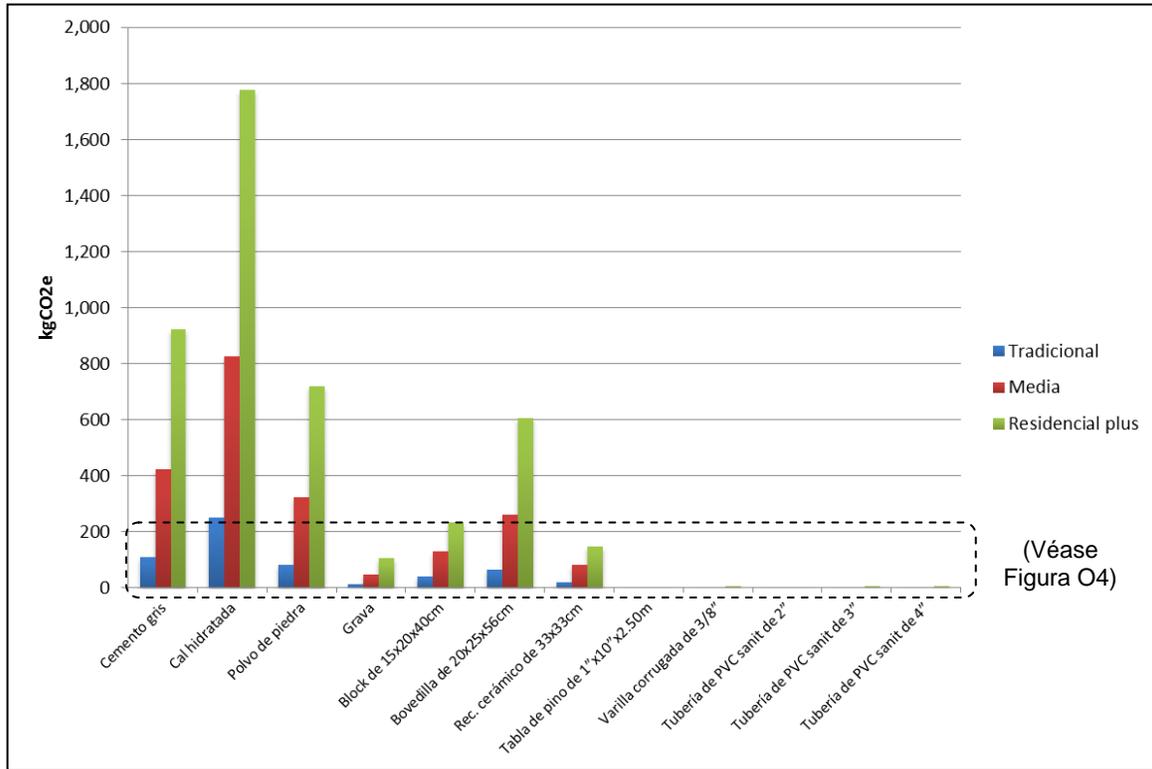
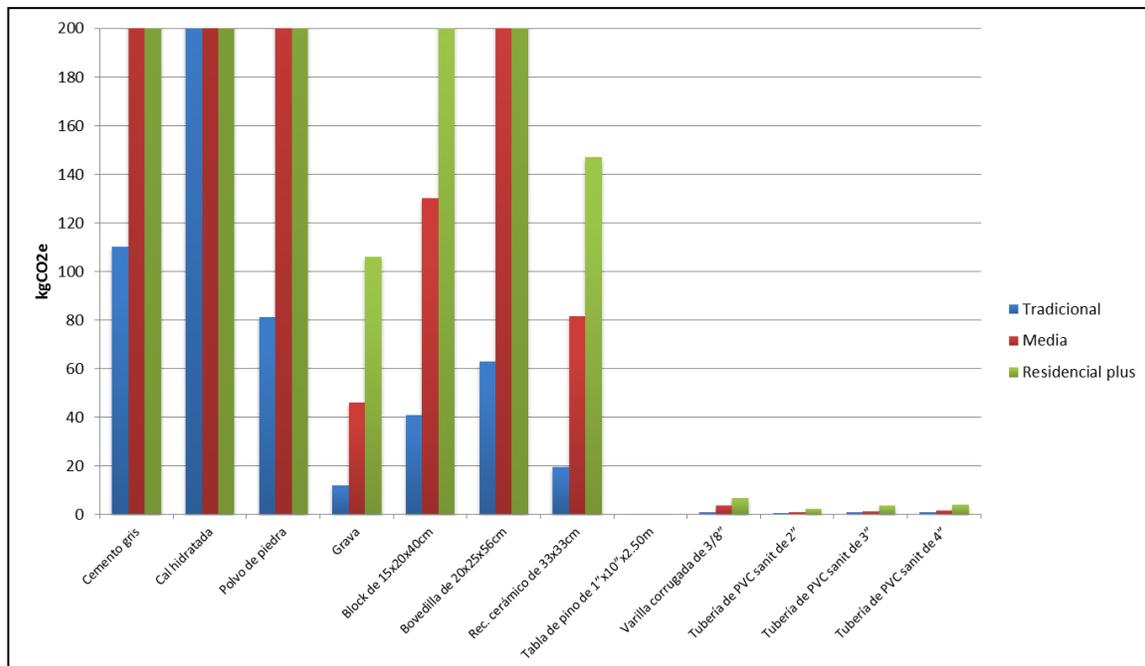


Figura O4. Área aumentada de Figura O3



## Resumen de resultados para la segunda etapa: producción de insumos

Tabla O3. Total de emisiones en la etapa de producción de insumos para cada tipo de vivienda analizado

Insumo (material)	Tradicional	Media	Residencial plus
Cemento gris	110.0067 kgCO <sub>2</sub> e	422.0962 kgCO <sub>2</sub> e	923.0346 kgCO <sub>2</sub> e
Cal hidratada	248.5546 kgCO <sub>2</sub> e	825.6645 kgCO <sub>2</sub> e	1,777.8717 kgCO <sub>2</sub> e
Polvo de piedra	81.0666 kgCO <sub>2</sub> e	322.2468 kgCO <sub>2</sub> e	719.6469 kgCO <sub>2</sub> e
Grava	12.0790 kgCO <sub>2</sub> e	45.9792 kgCO <sub>2</sub> e	105.8407 kgCO <sub>2</sub> e
Block de 15x20x40cm	40.8300 kgCO <sub>2</sub> e	130.2735 kgCO <sub>2</sub> e	233.9827 kgCO <sub>2</sub> e
Bovedilla de 20x25x56cm	62.7660 kgCO <sub>2</sub> e	260.2514 kgCO <sub>2</sub> e	603.4787 kgCO <sub>2</sub> e
Rec. cerámico de 33x33cm	19.4768 kgCO <sub>2</sub> e	81.5495 kgCO <sub>2</sub> e	146.8777 kgCO <sub>2</sub> e
Tabla pino de 1"x10"x2.50m	0.0005 kgCO <sub>2</sub> e	0.0018 kgCO <sub>2</sub> e	0.0040 kgCO <sub>2</sub> e
Varilla corrugada de 3/8"	0.9331 kgCO <sub>2</sub> e	3.5273 kgCO <sub>2</sub> e	6.7407 kgCO <sub>2</sub> e
Tubo PVC sanitario de 2"	0.4959 kgCO <sub>2</sub> e	0.7439 kgCO <sub>2</sub> e	2.1078 kgCO <sub>2</sub> e
Tubo PVC sanitario de 3"	0.8591 kgCO <sub>2</sub> e	1.2886 kgCO <sub>2</sub> e	3.6510 kgCO <sub>2</sub> e
Tubo PVC sanitario de 4"	0.9753 kgCO <sub>2</sub> e	1.4629 kgCO <sub>2</sub> e	4.1450 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>578.0435 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>2,095.0858 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>4,527.3815 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O5. Gráfico de emisiones en la etapa de producción de insumos para cada tipo de vivienda analizado

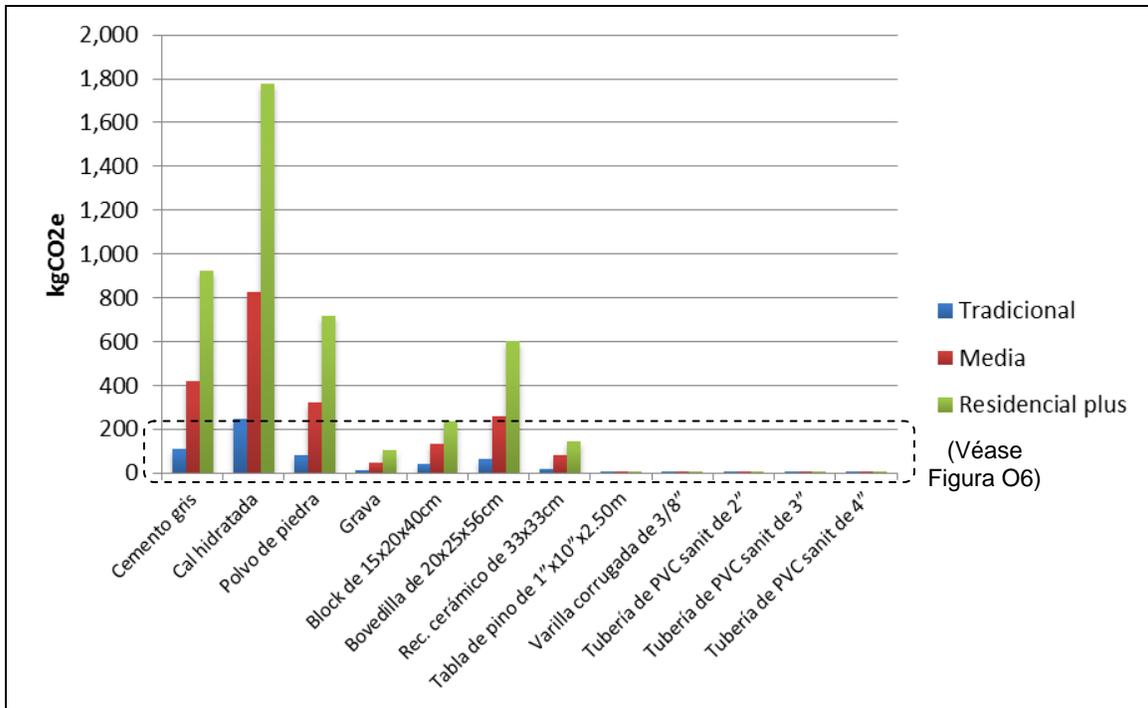
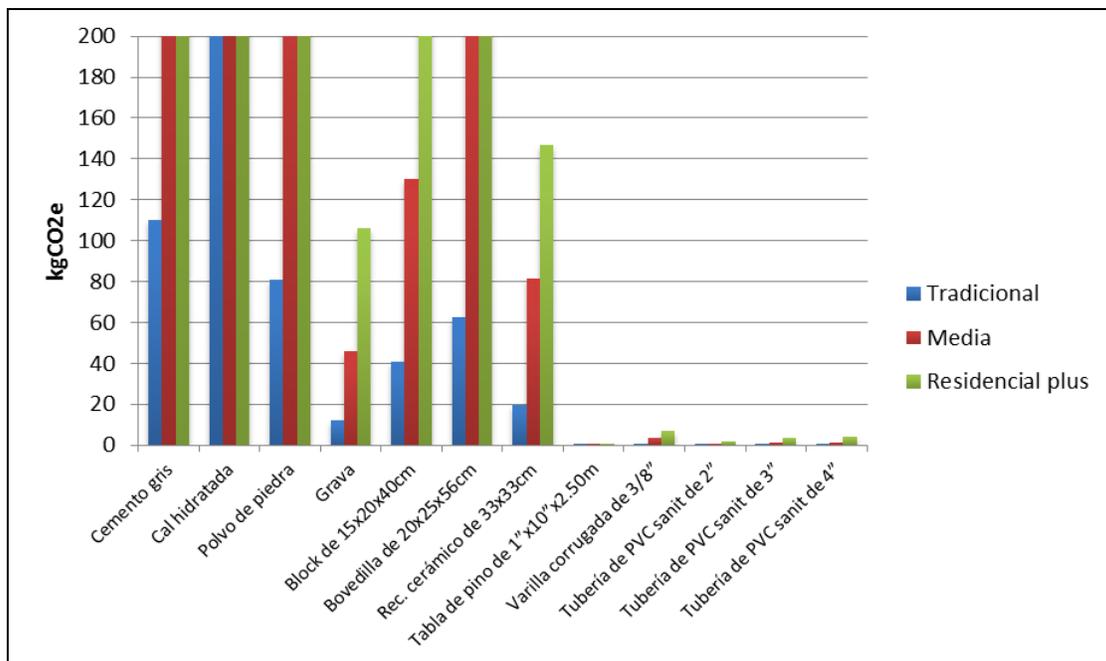


Figura O6. Área aumentada de Figura O6

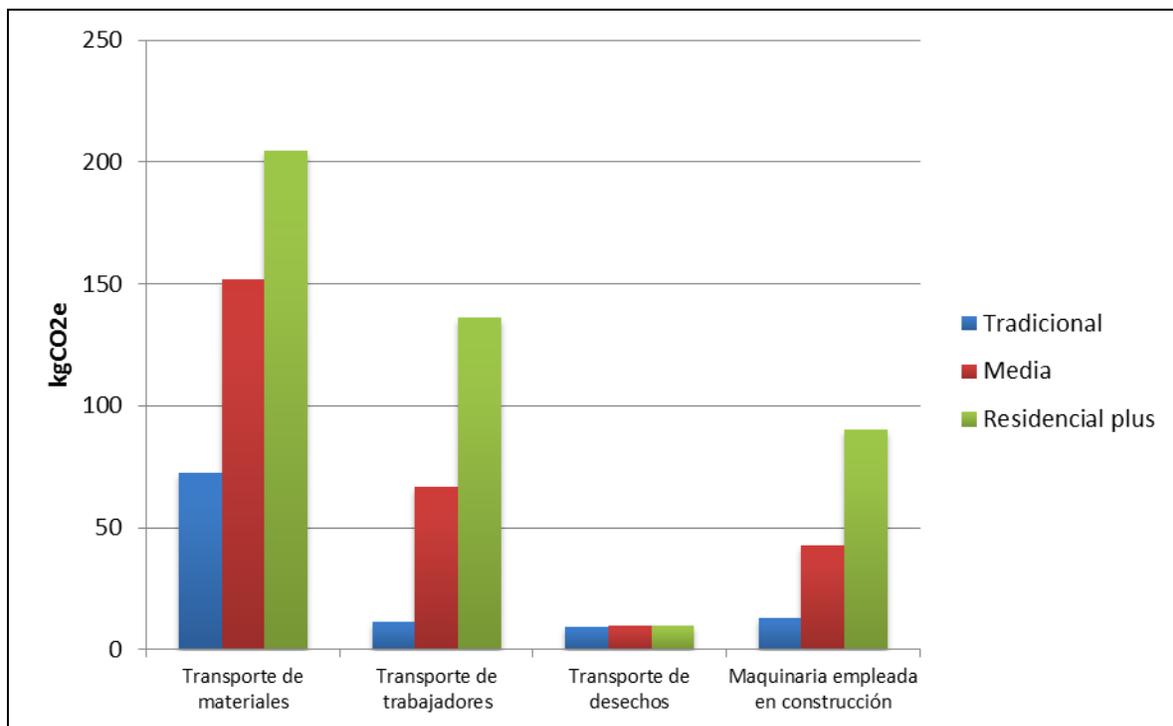


## Resumen de resultados para la tercera etapa: construcción

Tabla O4. Total de emisiones en la etapa de construcción para cada tipo de vivienda analizado

Concepto	Tradicional	Media	Residencial plus
Transporte de materiales	72.5670 kgCO <sub>2</sub> e	151.9609 kgCO <sub>2</sub> e	204.4493 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de trabajadores	11.3993 kgCO <sub>2</sub> e	66.6905 kgCO <sub>2</sub> e	136.3052 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de desechos	9.0288 kgCO <sub>2</sub> e	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e	10.0320 kgCO <sub>2</sub> e
Maquinaria empleada	13.1043 kgCO <sub>2</sub> e	42.8868 kgCO <sub>2</sub> e	90.0372 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>106.1014 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>271.5702 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>440.8236 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O7. Gráfico de emisiones en la etapa de construcción para cada tipo de vivienda analizado



## Resumen de resultados para la cuarta etapa: operación y uso

Tabla O5. Total de emisiones en la etapa de operación y uso para cada tipo de vivienda analizado

Concepto	Tradicional	Media	Residencial plus
Consumo energético	114,971.8750 kgCO <sub>2</sub> e	308,816.2500 kgCO <sub>2</sub> e	751,790.2500 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de basura	10,596.3000 kgCO <sub>2</sub> e	13,041.6000 kgCO <sub>2</sub> e	12,226.5000 kgCO <sub>2</sub> e
Mantenimiento recomendado por constructor	28.2102 kgCO <sub>2</sub> e	273.6565 kgCO <sub>2</sub> e	625.4076 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>125,596.3852 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>322,131.5065 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>764,642.1576 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O8. Gráfico de emisiones en la etapa de operación y uso para cada tipo de vivienda analizado

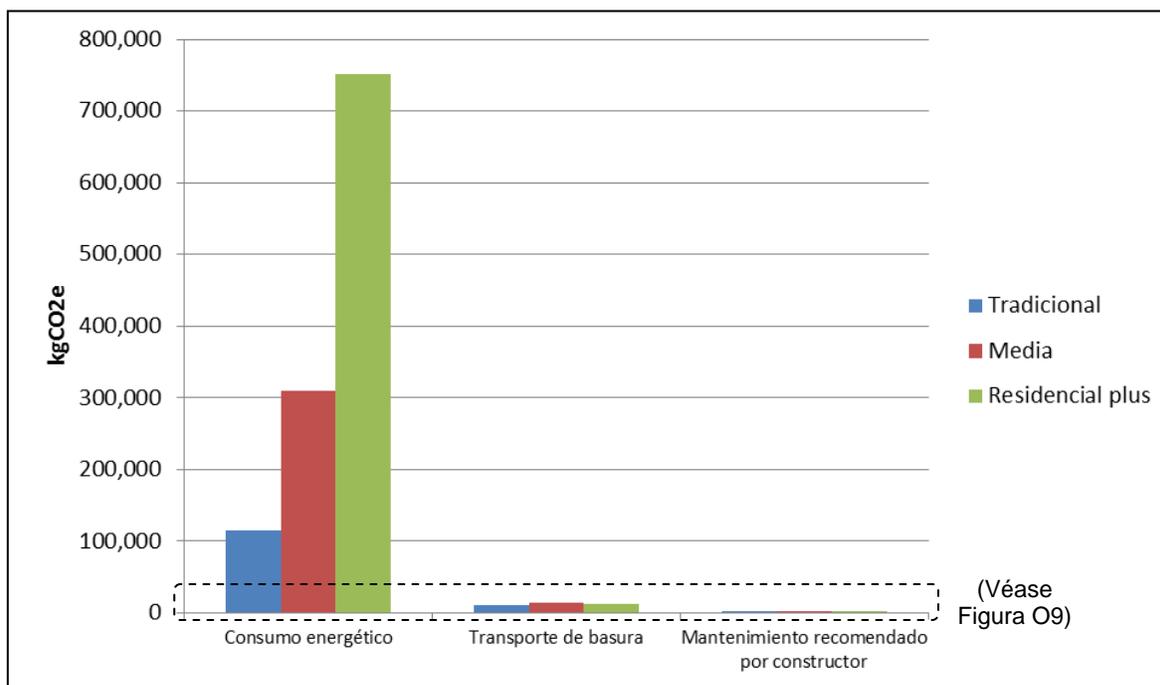
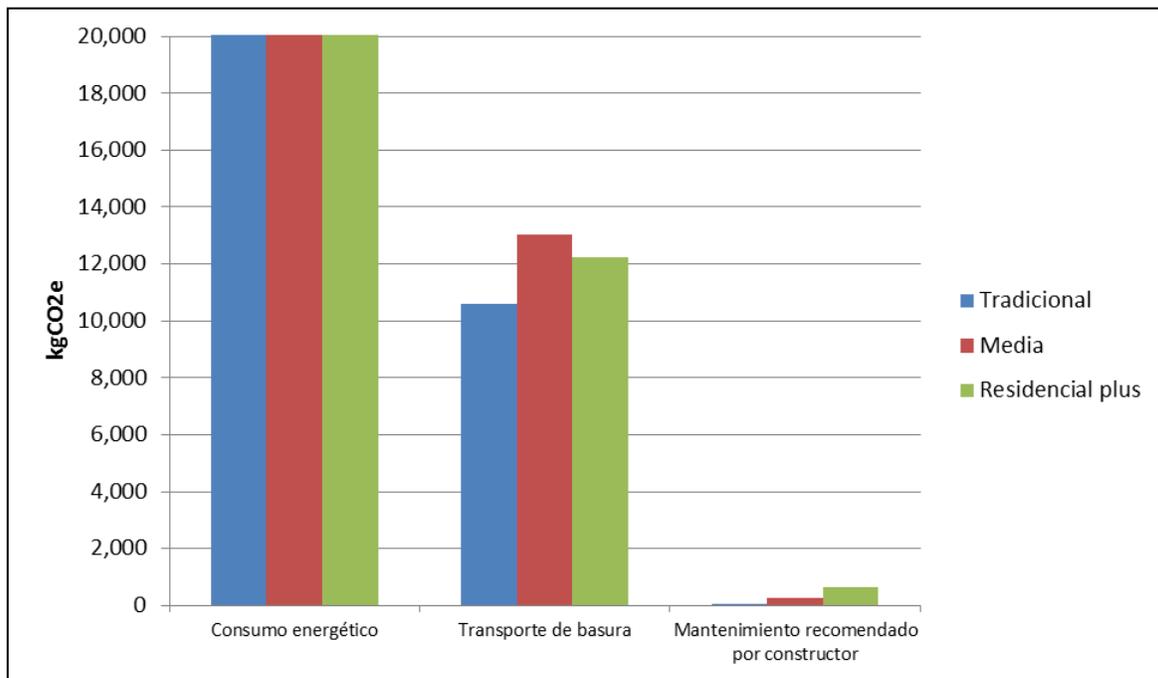


Figura O9. Área aumentada de Figura O8

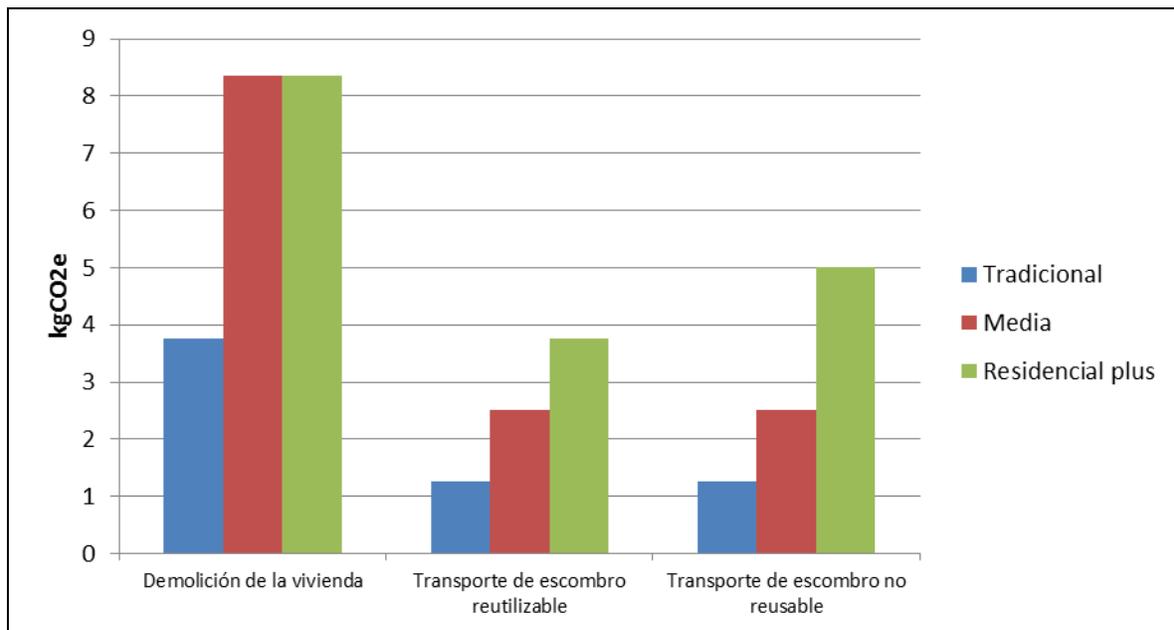


## Resumen de resultados para la quinta etapa: disposición final

Tabla O6. Total de emisiones en la etapa de disposición final para cada tipo de vivienda analizado

Concepto	Tradicional	Media	Residencial plus
Maquinaria para demolición de la vivienda	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e	8.3600 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros reutilizable	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e	3.7620 kgCO <sub>2</sub> e
Transporte de escombros no reutilizable	1.2540 kgCO <sub>2</sub> e	2.5080 kgCO <sub>2</sub> e	5.0160 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Total de emisiones</b>	<b>6.2700 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>13.3760 kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>17.1380 kgCO<sub>2</sub>e</b>

Figura O10. Gráfico de emisiones en la etapa de disposición final para cada tipo de vivienda analizado



## **ANEXOS**

## ANEXO A

# POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL RELATIVO AL CO<sub>2</sub> PARA UN HORIZONTE DE 100 AÑOS, INCLUIDO EN LA NORMA ISO/DIS 14067:2013

**Table A.1 – Global warming potentials (GWP) relative to CO<sub>2</sub> for the 100-year time horizon <sup>1)</sup>**

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1
Methane	CH <sub>4</sub>	25
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	298
<i>Substances controlled by the Montreal Protocol</i>		
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	4 750
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	10 900
CFC-13	CCIF <sub>3</sub>	14 400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCCIF <sub>2</sub>	6 130
CFC-114	CCIF <sub>2</sub> CCIF <sub>2</sub>	10 000
CFC-115	CCIF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7 370
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	7 140
Halon-1211	CBrCIF <sub>2</sub>	1 890
Halon-2402	CBrF <sub>2</sub> CBrF <sub>2</sub>	1 640
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	1 400
Methyl bromide	CH <sub>3</sub> Br	5
Methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	146
HCFC-21	CHCl <sub>2</sub> F	151
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	1 810
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	77
HCFC-124	CHClFCF <sub>3</sub>	609

Table A.1 (continued)

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
HCHC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	725
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	2 310
HCFC-225ca	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	122
HCFC-225cb	CHClFCF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	595
<i>Hydrofluorocarbons</i>		
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	14 800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	675
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	92
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3 500
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1 100
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1 430
HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	353
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	4 470
HFC-152	CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F	53
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	124
HFC-161	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	12
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	3 220
HFC-236cb	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 340
HFC-236ea	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 370
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	9 810
HFC-245ca	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	693
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 030
HFC-365mfc	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	794
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1 640
<i>Perfluorinated compounds</i>		
Sulphur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	22 800
Nitrogen trifluoride	NF <sub>3</sub>	17 200
PFC-14	CF <sub>4</sub>	7 390
PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	12 200
PFC-218	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	8 830
PFC-318	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	10 300
PFC-3-1-10	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	8 860

Table A.1 (continued)

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
PFC-4-1-12	C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	9 160
PFC-5-1-14	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	9 300
PFC-9-1-18	C <sub>10</sub> F <sub>18</sub>	> 7 500
Trifluoromethyl sulphur pentafluoride	SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub>	17 700
Perfluorocyclopropane	c-C <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	> 17 340
<i>Fluorinated ethers</i>		
HFE-125	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	14 900
HFE-134	CHF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	6 320
HFE-143a	CH <sub>3</sub> OCF <sub>3</sub>	756
HCFE-235da2	CHF <sub>2</sub> OCHClCF <sub>3</sub>	350
HFE-245cb2	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	708
HFE-245fa2	CHF <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	659
HFE-254cb2	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	359
HFE-347mcc3	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	575
HFE-347pcf2	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	580
HFE-356pcc3	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CFH <sub>2</sub>	110
HFE-449sl (HFE-7100)	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OCH <sub>3</sub>	297
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	59
HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OC <sub>2</sub> F <sub>4</sub> OCHF <sub>2</sub>	1 870
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	2 800
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	1 500
	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CFOCH <sub>3</sub>	343
	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	42
HFE-338pcc13 (HG-01)	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH	195
HFE-227ea	CF <sub>3</sub> CHFOCF <sub>3</sub>	1 540
HFE-236ea2	CHF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	989
HFE-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	487
HFE-245fa1	CHF <sub>2</sub> HC <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	286
HFE-263fb2	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	11
HFE-329mcc2	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	919
HFE-338mcf2	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	552

Table A.1 (continued)

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
HFE-347mcf2	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{OCF}_2\text{CF}_3$	374
HFE-356mec3	$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CHFCF}_3$	101
HFE-356pcf2	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{OCF}_2\text{CHF}_2$	265
HFE-356pcf3	$\text{CHF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CHF}_2$	502
HFE-365mcf3	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{OCH}_3$	11
<i>Fluorinated ethers (continued)</i>		
HFE-374pc2	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$	557
	- $(\text{CF}_2)_4\text{CH}(\text{OC})$ -	73
	$(\text{CF}_3)_2\text{CHOCHF}_2$	380
	$(\text{CF}_3)_2\text{CHOCH}_3$	27
<i>Perfluoropolyethers</i>		
PFPME	$\text{CF}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{OCF}_3$	10 300
<i>Hydrocarbons and others compounds – Direct Effects</i>		
Dimethylether	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	1
Chloroform	$\text{CHCl}_3$	31
Methylene chloride	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	8,7
Methyl chloride	$\text{CH}_3\text{Cl}$	13
	$\text{CH}_2\text{Br}_2$	1,54
Halon-1201	$\text{CHBrF}_2$	404
Trifluoriodomethane	$\text{CF}_3\text{I}$	0,4