Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería - Escuela de Arquitectura

Cálculo de huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica

Seminario de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Arquitectura

Paula Badilla Arroyo
Jose Andrés Elizondo Santiago
Tatiana Fernández Martínez
Jorge Méndez Trejos
Fabricio Mora Solano
Marcela Quesada Yamasaki

2015

CO_2e

Cálculo Factor de Emisión para Materiales de la Industria de la Construcción

Seminario de Graduación para la obtención del grado de Licenciatura

Universidad de Costa Rica . Facultad de Ingeniería . Escuela de Arquitectura

Estudiantes:

Paula Badilla Arroyo A70764

José Andrés Elizondo Santiago A72340

Tatiana Fernández Martínez A82377

Marcela Quesada Yamasaki A64536

Jorge Eduardo Méndez Trejos A23101

Fabricio Mora Solano A53713

Comité Evaluador

Director

José Alí Porras Salazar | Arquitecto

Lectores

Cindy Torres Quirós | Ingeniera Química

Eugenia Solís Umaña | Arquitecta

Lectores invitados

Melissa Soto Arce | Arquitecta

Andrés Villalobos Herrera | Ingeniero Agrónomo

Director

José Alí Porras Salazar | Máster en Arquitectura

Lectora

Cindy Torres Quirós | M.Sc. Ingeniera Química

Lectora

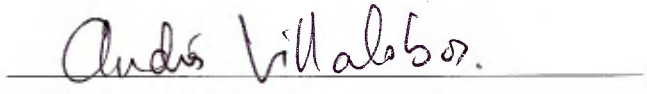
Eugenia Solís Umaña | Magíster en Arquitecta

Lectora Invitada

Melissa Soto Arce | MBA Enfásis en Finanzas y Desarrollo Sostenible

Lector

Andrés Villalobos Herrera | Ingeniero Agrónomo, MBA



Resumen

El cambio climático es una realidad global que afecta a todos. Las diferentes actividades que se realizan diariamente, en sectores como la agricultura, la industria, el transporte o la construcción, tienen implicaciones directas en este fenómeno.

Por ejemplo, sólo el sector construcción consume un cuarenta por ciento de la energía global y además aporta un tercio de las emisiones de CO_2.

Entonces, el quehacer de los profesionales en el campo de la construcción, incide en esta situación. Las decisiones que se toman en la fase inicial de diseño de una edificación, pueden llegar a determinar el aporte en emisiones a lo largo de su ciclo de vida, ya que cada una de las etapas aporta en diferente proporción debido a la naturaleza tan diversa de los procesos que implican.

Para poder comparar estos aportes tan diferentes, se hace necesario un común denominador; el factor de emisión da esa posibilidad, al ser un coeficiente que relaciona la cantidad de emisiones contaminantes por una unidad determinada.

Además, esas etapas del ciclo de vida le dan al producto una trazabilidad desde su origen hasta su destino final. Es importante considerar cuáles y cuántos procesos son necesarios para utilizar un producto del que se genere demanda en Costa Rica.

Obtener factores de emisión propios del país, permite visualizar la responsabilidad que se debe asumir para alcanzar el compromiso del Plan Carbono Neutralidad 2021, y el desarrollo de datos sobre la temática junto a tecnologías para avanzar hacia una economía con emisiones bajas o limitadas de carbono.

Agradecimientos

El desarrollo de esta investigación fue posible gracias a la participación de empresas nacionales productoras de materiales utilizados en el campo de la construcción costarricense.

Su aporte le da un valor agregado a los procesos de cálculo realizados, pues reflejan la realidad de lo que sucede actualmente en el país para poder obtener en el mercado los productos estudidados.

Se les agradece el tiempo brindado durante las visitas a las respectivas plantas, la disponibilidad para brindar la información requerida y la anuencia a resolver cualquier duda que surgiera durante el proceso de investigación.

También extendemos el agradecimento a cada uno de los miembros del comité evaluador, pues con su continua asesoría y retroalimentación, fue posible completar el alcance propuesto dentro de esta temática multi y transdisciplinar; además de todo el conocimiento impartido en los diferentes momentos a cada integrante del grupo investigador.

Índice

Capítulo I 16

Introducción 18

Justificación 21

Antecedentes 26

Ámbito internacional 26

Ámbito nacional 28

Estado de la cuestión 32

Investigaciones internacionales (enfoque general: sector construcción) 32

Investigaciones nacionales (enfoque general: huella de carbono) 36

Alcances 40

Objetivos 41

Objetivo General 41

Objetivos específicos 41

Capítulo II 42

Marco teórico 44

Cambio climático 44

Gases de Efecto Invernadero (GEI) 47

Huella de Carbono (HC) 47

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) 48

Capítulo III 50

Metodología 52

Fases de la metodología general de la investigación 52

Fase Metodológica 1: Definición de metodologías de cálculo 52

Fase Metodológica 2: Selección de materiales 54

Fase Metodológica 3: Cálculo de factor de emisión 54

Fase Metodológica 4: Comunicación de Resultados 55

Referencias metodológicas para el cálculo de la huella de carbono de un producto y/o servicio 56

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) 56

PAS 2050:2011 59

GHG Protocol Product Life Cycle Accounting 61

Capítulo IV 64

Criterios de Selección de Materiales 66

Análisis de tipologías constructivas 66

Análisis de reglamentaciones 66

Capítulo V 72

Introducción de reporte de factores de emisión 74

Varilla de acero deformada #3 76

Información General 76

Delimitación del sistema 76

Composición 78

Proceso de Planta y cálculo asociado 78

Recolección de datos 82

Incertidumbre 82

Resultados de inventario 84

Aluminio (Perfiles para ventanería) 86

Información general 86

Definición de unidad funcional 86

Fecha del inventario 86

Delimitación del sistema 86

Composición 88

Proceso de Planta y cálculo asociado 88

Recolección de datos 94

Incertidumbre 94

Resultados de inventario 96

Baldosas prefabricadas de concreto (1.5 m x .63 m) 98

Información General 98

Definición de unidad funcional 98

Fecha del inventario 98

Delimitación del sistema 98

Composición 100

Proceso de planta y cálculo asociado 100

Recolección de datos 106

Incertidumbre 106

Resultados de inventario 110

Bloques de concreto 112

Información General del Inventario 112

Definición de unidad funcional 112

Fecha del inventario 112

Delimitación del sistema 112

Composición 114

Proceso de Planta y cálculo asociado 114

Recolección de datos 119

Incertidumbre 119

Columnas de concreto 124
Información General 124
Definición de unidad funcional 124
Fecha del inventario 124
Delimitación del sistema 124
Composición 126
Proceso de Planta y cálculo asociado 126
Recolección de datos 132
Incertidumbre 134
Resultados de inventario 136
Fibrocemento 138
Información general 138
Definición de la unidad funcional 138
Delimitación del sistema 140
Composición 142
Proceso de planta y cálculo asociado 142
Adjudicación de emisiones 146
Recolección de datos 147
Incertidumbre 147
Resultados de inventario 149
Madera de construcción 154
Información general 154
Definición de unidad funcional 154
Fecha del inventario 154
Delimitación del sistema 154
Proceso de planta y cálculo asociado 156
Adjudicación de emisiones 157
Recolección de datos 160
Incertidumbre 160
Resultados de inventario 162
Madera laminada 164
Información general 164
Definición de unidad funcional 164
Delimitación del Sistema 166
Composición 166
Proceso de planta y cálculo asociado 166
Adjudicación de emisiones 170
Recolección de datos 172
Incertidumbre 172
Resultados de inventario 173
Vidrio (6 mm de espesor) 176
Información general 176
Definición de unidad funcional 176
Fecha del inventario 176
Delimitación del sistema 176
Composición 176
Adjudicación de emisiones 178
Recolección de datos 180
Incertidumbre 180
Resultados de inventario 182

Capítulo VI 184

Comparación de resultados 186
Columnas prefabricadas de concreto 186
Bloques de concreto 188
Varilla de acero 189
Perfil de aluminio 190
Lámina de vidrio 191
Fibrocemento 192
Madera sólida para construcción 193
Madera laminada 194
Introducción de estimación y visualización de resultados 196
Definición de unidades de Mercado 196
Herramienta de visualización 196
Parámetros y restricciones de cálculo 201
Definición de alcances 204
Versión Micro 208
Versión Macro 209

Capítulo VII 218

Conclusiones y Recomendaciones 220

Referencias 226

Glosario 232

Indice de Tablas

Tabla 01. Investigaciones Internacionales: Huella de Carbono de Producto / Material de construcción. 29

Tabla 02. Investigaciones Internacionales: Huella de Carbono de Producto/ Aplicación a un proyecto de construcción..... 31

Tabla 03. Investigaciones Internacionales: Huella de Carbono de Producto/ Comparación, escogencia y substitución de los materiales. 33

Tabla 04. Investigaciones nacionales / Enfoque general: huella de carbono 35

Tabla 05. Tabla comparativa metodologías de análisis de ciclo de vida 53

Tabla 06. Tabla comparativa metodologías de análisis de ciclo de vida 53

Tabla 07. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Concreto 64

Tabla 08. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Muro Seco..... 64

Tabla 09. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Vidrio 64

Tabla 10. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Madera..... 65

Tabla 11. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Bambú 65

Tabla 12. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Cabañas..... 65

Tabla 13. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Edificios de apartamentos..... 65

Tabla 14. Bases de datos de empresa productora de Varilla #3..... 79

Tabla 15. Factores de emisión 79

Tabla 16. Otros datos 79

Tabla 17. Resultados / Materias Primas 80

Tabla 18. Resultados / Transporte Internacional..... 80

Tabla 19. Resultados / Transporte Nacional..... 80

Tabla 20. Resultadoso / Línea de Producción 80

Tabla 21. Resultados / Combustible y Energía 80

Tabla 22. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de vidrio..... 91

Tabla 23. Recolección de datos / Datos puntuales dados por empresa productora de aluminio 91

Tabla 24. Recolección de datos / Factores de emisión 91

Tabla 25. Recolección de datos / Otros datos 91

Tabla 26. Resultados / Materias Primas 92

Tabla 27. Resultados / Transporte Internacional..... 92

Tabla 28. Resultados / Transporte Nacional..... 92

Tabla 29. Resultados / Línea de Producción 92

Tabla 30. Resultados / Combustible y Energía 92

Tabla 31. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de baldosa 103

Tabla 32. Recolección de datos / Tiempos de proceso en empresa productora de baldosa 103

Tabla 33. Recolección de datos / Factores de emisión 103

Tabla 34. Recolección de datos / Otros datos 103

Tabla 35. Resultados de inventario / Materias Primas 105

Tabla 36. Resultados de inventario / Transporte Internacional..... 105

Tabla 37. Resultados de inventario / Transporte Nacional..... 105

Tabla 38. Resultados de inventario / Procesos Individuales..... 105

Tabla 39. Resultados de inventario / Procesos Individuales..... 105

Tabla 40. Resultados de inventario / Procesos Individuales..... 105

Tabla 41. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de bloque 116

Tabla 42. Recolección de datos / Factores de emisión..... 116

Tabla 43. Recolección de datos / Otros datos 116

Tabla 44. Resultados de inventario / Materias Primas 118

Tabla 45. Resultados de inventario / Transporte Nacional..... 118

Tabla 46. Resultados de inventario / Procesos Individuales..... 118

Tabla 47. Resultados de inventario / Línea de Producción 118

Tabla 48. Resultados de inventario / Transporte Nacional..... 118

Tabla 49. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de baldosa 129

Tabla 50. Recolección de datos / Tiempos de proceso..... 129

Tabla 51. Recolección de datos / Factores de emisión..... 129

Tabla 52. Recolección de datos / Otros datos 129

Tabla 53. Resultados de inventario / Materias Primas 131

Tabla 54. Resultados de inventario / Transporte Internacional..... 131

Tabla 55. Resultados de inventario / Transporte Nacional..... 131
Tabla 56. Resultados de inventario / Procesos individuales 131
Tabla 57. Resultados de inventario / Línea de Producción 131
Tabla 58. Resultados de inventario / Combustible y Energía..... 131
Tabla 59. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de fibrocemento..... 144
Tabla 60. Recolección de datos / Factores de Emisión..... 144
Tabla 61. Recolección de datos / Otros datos 144
Tabla 62. Resultados de inventario / Extracción, producción y transporte de materias primas 146
Tabla 63. Resultados de inventario / Procesos de fabricación en planta 146
Tabla 64. Resultados de inventario / Transporte y consumo de combustibles 146
Tabla 65. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por proceso atribuible por tonelada de producto semi-elaborado 147
Tabla 66. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por proceso atribuible por tonelada de producto terminado 147
Tabla 67. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por tipo de producto en estado semi-elaborado 147
Tabla 68. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por tipo de producto en estado terminado..... 147
Tabla 69. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de madera..... 157
Tabla 70. Recolección de datos / Tiempos de proceso 157
Tabla 71. Recolección de datos / Factores de emisión 157
Tabla 72. Recolección de datos / Otros datos 157
Tabla 73. Resultados / Materias Primas 158
Tabla 74. Resultados / Transporte Nacional..... 158
Tabla 75. Resultados / Línea de Producción 158
Tabla 76. Resultados / Resultado Preliminar..... 158
Tabla 77. Resultados / Liberación de CO_2e por procesos de combustión y descomposición..... 158
Tabla 78. Resultados / Fijación..... 158
Tabla 79. Resultados / Resultado final 158
Tabla 80. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de madera..... 167
Tabla 81. Recolección de datos / Tiempos de proceso 167
Tabla 82. Recolección de datos / Factores de Emisión..... 167
Tabla 83. Recolección de datos / Otros datos 167
Tabla 84. Resultados de inventario / Materias Primas 170
Tabla 85. Resultados de inventario / Transporte internacional..... 170
Tabla 86. Resultados de inventario / Transporte Nacional..... 170
Tabla 87. Resultados de inventario / Línea de producción 170
Tabla 88. Resultados de inventario / Liberación de CO_2e por procesos de combustión..... 170
Tabla 89. Resultados de inventario / Madera Laminada Encolada Resultado Preliminar..... 170
Tabla 90. Resultados de inventario / Fijación..... 170
Tabla 91. Resultados de inventario / Resultado Final 170
Tabla 92. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de vidrio..... 177
Tabla 93. Recolección de datos / Mediciones en sitio: empresa productora de vidrio..... 177
Tabla 94. Recolección de datos / Factores de emisión 177
Tabla 95. Recolección de datos / Datos complementarios 177
Tabla 96. Resultados de inventario / Extracción y producción de materias primas 178
Tabla 97. Resultados de inventario / Transporte Internacional 178
Tabla 98. Resultados de inventario / Transporte Nacional 178
Tabla 99. Resultados de inventario / Procesos línea de producción178
Tabla 100. Conversión a Unidades de Mercado..... 193
Tabla 101. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared de mampostería integral (bloques tipo A de 12 por 20 por 40 cm)..... 199
Tabla 102. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared de columnas y baldosas de concreto prefabricado 199
Tabla 103. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de fibrocemento..... 199
Tabla 104. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema

constructivo / Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de madera 199

Tabla 105. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Ventana con marco de aluminio 199

Tabla 106. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Marco estructural con columnas y vigas de madera laminada 199

Imágenes

Gráfico 01. Emisiones durante el ciclo de vida de un edificio. Fuente UNEP (2009) 15

Gráfico 02. Consideraciones para la selección de un material. Fuente M. Hegger, H. Drexler, M. Zeumer; Materiales (2010) 15

Gráfico 03. División de la industria de la construcción global por sector 2012. Fuente Global Construction Perspectives and Oxford Economics (2013)-02-02 18

Gráfico 04. Distribución por tipo de obra tramitada en m². CCC. (2013) y distribución por tipo de obra habitacional tramitada en m2. MIVAH. (2013) 18

Gráfico 05. Predominancia de materiales en paredes externas, pisos y techos . INEC. 2011 20

Gráfico 06. Ciclo de vida los materiales de construcción 20

Gráfico 07. Línea de tiempo antecedentes internacionales. Elaboración Propia 22

Gráfico 08. Consumo de energía por sectores. Año 2006 / Recursos de generación de energía. Año 2006 / Emisiones totales de gases de efecto invernadero. Año 2005 Fuente: IMN 2008 / Emisiones de gases por sector para el año 2005 Fuente: IMN 2008 27

Gráfico 09. Fuente: Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity 41

Gráfico 10. Alteraciones en el comportamiento de la radiación. Fuente: http://www.concienciaeco.com/2012/04/09/que-es-el-efecto-invernadero/ 41

Gráfico 11. Emisiones GEI por fuente, año 2000. Fuente: Stern (2007.) The Economics of Climate Change 42

Gráfico 12. Tipos de impactos que se experimentarán conforme vayan aumentando las emisiones de GEI. Fuente: Stern, Nicholas; The Economics of Climate Change (2007) 42

Gráfico 13. Comparación de categorías de impacto ambiental que considera el ACV y la HC. Fuente: Inhobe (2009) Análisis del ciclo de vida y Huella de Carbono. 45

Gráfico 14. Tipos de alcance que puede tener un ACV. Fuente: Inhobe (2009) Análisis del ciclo de vida y Huella de Carbono. 45

Gráfico 15. Diagramación metodología. Elaboración propia. 48

Gráfico 16. Definición fases de análisis de producto. Elaboración propia. 59

Gráfico 17. Esquema de valores de hacienda. Elaboración Propia . 67

Gráfico 18. Materiales seleccionados. Elaboración Propia 71

Gráfico 19. Ciclo de Vida Acero. Elaboración Propia 72

Gráfico 20. Diagrama de proceso en planta de varilla de acero. Elaboración Propia 76

Gráfico 21. Diagrama de resultados del factor de emisión de acero. Elaboración Propia 81

Gráfico 22. Ciclo de Vida Aluminio. Elaboración Propia 82

Gráfico 23. Composición del aluminio. Elaboración Propia 85

Gráfico 24. Diagrama de proceso en planta de perfil de aluminio. Elaboración Propia 88

Gráfico 25. Diagrama de resultados del factor de emisión de aluminio. Elaboración Propia 93

Gráfico 26. Ciclo de Vida Baldosas. Elaboración Propia 94

Gráfico 27. Composición de la baldosa. Elaboración Propia 97

Gráfico 28. Diagrama de proceso en planta de baldosa de concreto prefabricado. Elaboración Propia 100

Gráfico 29. Diagrama de resultados del factor de emisión de baldosas. Elaboración Propia 107

Gráfico 30. Ciclo de Vida Bloques. Elaboración Propia 108

Gráfico 31. Composición del bloque de concreto. Elaboración Propia 111

Gráfico 32. Diagrama de proceso en planta de bloque de concreto prefabricado. Elaboración Propia 112

Gráfico 33. Diagrama de resultados del factor de emisión de bloques. Elaboración Propia 119

Gráfico 34. Ciclo de Vida Columnas. Elaboración Propia 120

Gráfico 35. Composición de la columna de concreto prefabricado. Elaboración Propia 123

Gráfico 36. Diagrama de proceso en planta de columna de concreto prefabricado. Elaboración Propia 126

Gráfico 37. Diagrama de resultados del factor de emisión de columnas. Elaboración Propia..... 133

Gráfico 38. Ciclo de Vida Fibrocemento. Elaboración Propia..... 134

Gráfico 39. Composición del fibrocemento. Elaboración Propia ... 137

Gráfico 40. Diagrama de proceso en planta de fibrocemento. Elaboración Propia 140

Gráfico 41. Diagrama de resultados del factor de emisión de fibrocemento. Elaboración Propia 148

Gráfico 42. Ciclo de Vida Madera de Construcción. Elaboración Propia 150

Gráfico 43. Composición de la madera de construcción. Elaboración Propia 155

Gráfico 44. Diagrama de proceso en planta de la madera de construcción. Elaboración Propia 155

Gráfico 45. Diagrama de resultados del factor de emisión de la madera de construcción. Elaboración Propia 159

Gráfico 46. Ciclo de Vida Madera Laminada. Elaboración Propia . 160

Gráfico 47. Composición de la madera laminada. Elaboración Propia 165

Gráfico 48. Diagrama de proceso en planta de la madera laminada. Elaboración Propia..... 165

Gráfico 49. Diagrama de resultados del factor de emisión de la madera laminada. Elaboración Propia 171

Gráfico 50. Ciclo de Vida Vidrio. Elaboración Propia 173

Gráfico 51. Diagrama de proceso en planta de vidrio. Elaboración Propia 175

Gráfico 52. Diagrama de resultados del factor de emisión del vidrio. Elaboración Propia..... 179

Gráfico 53. Gráfico de comparación de resultados. Elaboración Propia 183

Gráfico 54. Fichas técnicas unidades. Elaboración Propia 194

Gráfico 55. Fichas técnicas unidades. Elaboración Propia 195

Gráfico 56. Fichas técnicas unidades. Elaboración Propia 196

Gráfico 57. Diagramación conceptual herramienta de visualización. Elaboración Propia..... 202

Gráfico 58. Variación 1.1: Segmento de pared de mampostería integral con varilla a cada 0.60m. Elaboración Propia..... 206

Gráfico 59. Variación 1.2: Segmento de pared de mampostería integral con varilla a cada 0.80m. Elaboración propia 207

Gráfico 60. Variación 2.1Segmento de pared de láminas de fibrocemento de 6mm con estructura de madera. Elaboración Propia 208

Gráfico 61. Variación 2.3: Segmento de pared de láminas de fibrocemento de 6 mm de grosor y tablilla de madera de 2 cm de grosor con estructura de madera. Elaboración Propia..... 209

Gráfico 62. Definición de Herramienta en Grasshopper. Elaboración propia 211

Gráfico 63. Definición de Herramienta en Grasshopper. Elaboración propia 212

Gráfico 64. Emisiones nacionales e internacionales según material. Elaboración propia..... 217

Gráfico 65. Emisiones totales según material. Elaboración propia.. 219

Capítulo I

- Introducción
- Justificación
- Alcances
- Antecedentes
- Estado de la Cuestión
- Objetivos

Introducción

La necesidad de adecuarse y evolucionar con el medio es una característica inherente a la naturaleza humana; el acelerado proceso de desarrollo es, sin duda, evidencia de su capacidad de adaptarse a las condiciones que lo rodean. Sin embargo, uno de los factores que caracteriza el transcurso de la era moderna, en comparación con las anteriores, es la velocidad con la que se presenta esa evolución; encareciendo y dificultando el proceso de adaptación del individuo al entorno.

El clima no está exento a estas alteraciones y es, de hecho, uno de los factores más vulnerables al cambio. Como consecuencia entran en discusión fenómenos como el cambio climático y su rol en las actividades humanas. Este primero se define como una variación sobre patrones históricamente referenciados del clima, y se deriva de causas naturales o de causas antropogénicas.

Una de las mayores preocupaciones contemporáneas gira en torno al tema del calentamiento global. Según Arnold, Carlin y Kreimer (2003), se prevé un aumento de 4°C en la temperatura global promedio en los próximos 2 siglos, y si tomamos en cuenta que en el Siglo XX el aumento fue de 0,6°C, y anteriormente, durante miles de años se había mantenido en una constante de 0,5°C; esto equivale a un gran ajuste de los parámetros que se manejan.

De acuerdo a estudios recientes, la acumulación de gases en la atmósfera es la principal causa de este calentamiento (Gómez, 2002). Si bien los gases del efecto invernadero son necesarios para conservar la temperatura adecuada para el desarrollo de la vida tal como se conoce, Gómez (2002) también explica que las emisiones de carbono, que en su mayoría se derivan del uso de combustibles fósiles en actividades humanas, aumentan la proporción de estos gases en niveles que le dificultan a los sistemas de vida lograr una pronta adaptación a las condiciones que los rodean.

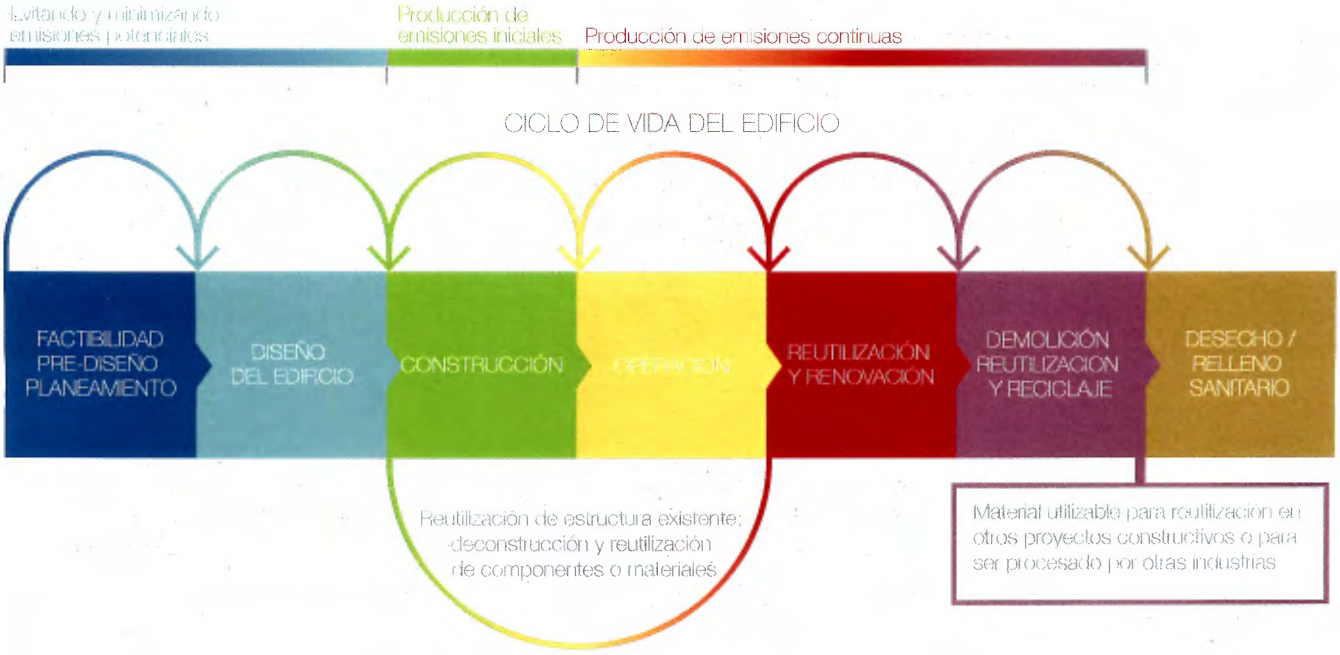
Se contabilizó una crecida del 30% en las emisiones en los últimos 200 años, y si se mantienen las tendencias actuales en los patrones demográficos y económicos de la población, se puede llegar a duplicar en el transcurso del próximo siglo. (Arnold et al. 2003)

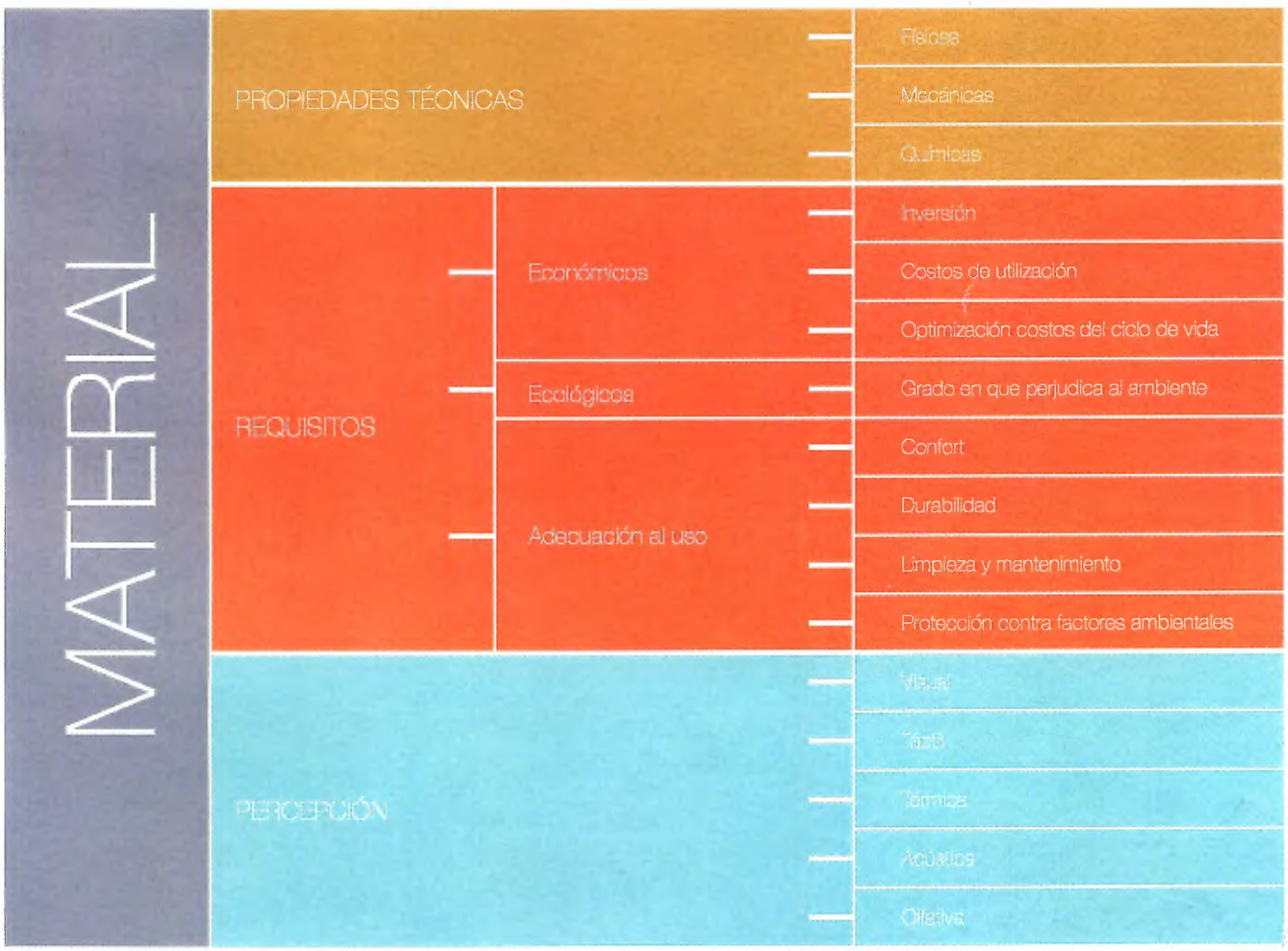
Con estas proyecciones, el término de Huella de Carbono (HC) se convierte en la herramienta para cuantificar el impacto agregado de las actividades humanas, siendo la medida de la cantidad de carbono emitido por una actividad u organización y se expresa en toneladas equivalentes de carbono. Para obtener el dato de HC es necesario utilizar los factores de emisión de las entradas y salidas de los diferentes procesos involucrados, ya que es una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto (Directrices del IPCC, 1996).

En el caso de Costa Rica, según el Estado de la Nación 2014, en su capítulo 4 "Armonía con la naturaleza", a pesar de los logros en las áreas de conservación y política forestal; si se observa más allá de las áreas protegidas, el impacto de las actividades humanas y productivas son insostenibles: el ritmo de consumo que se mantiene no es acorde al territorio pequeño y a los recursos particularmente limitados.

Por lo cual se vuelve importante estudiar dicho impacto a través de factores de emisión propios del país que reflejen la realidad de lo que sucede en territorio nacional y permitan visualizar que áreas se deben abordar para lograr reducciones.

Al hablar del impacto de las actividades humanas en la huella de carbono se vuelve imprescindible entrar en la temática de la industria de la construcción, ya que representó cerca de un 11% del PIB global en el 2010 según el reporte Global Construction 2025 elaborado por Global Construction Perspectives & Oxford Economics (2013). Proyecciones del mismo estudio estiman una crecida de un 60% para el 2020, teniendo esto un impacto tanto en países desarrollados como países emergentes.


Evitando y minimizando emisiones potenciales
Producción de emisiones iniciales
Producción de emisiones continuas
CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO
FACTIBILIDAD PRE-DISEÑO PLANEAMIENTO
DISEÑO DEL EDIFICIO
CONSTRUCCIÓN
OPERACIÓN
REUTILIZACIÓN Y RENOVACIÓN
DEMOLICIÓN REUTILIZACION Y RECICLAJE
DESECHO / RELLENO SANITARIO
Reutilización de estructura existente; deconstrucción y reutilización de componentes o materiales
Material utilizable para reutilizacion en otros proyectos constructivos o para ser procesado por otras industrias


MATERIAL
PROPIEDADES TÉCNICAS
Físicas
Mecánicas
Químicas
REQUISITOS
Económicos
Inversión
Costos de utilización
Optimización costos del ciclo de vida
Ecológicos
Grado en que perjudica al ambiente
Adecuación al uso
Confort
Durabilidad
Limpieza y mantenimiento
Protección contra factores ambientales
PERCEPCIÓN
Visual
Táctil
Térmica
Acústica
Olfativa

Aunque se evidencia el gran papel del sector como dinamizador de la economía global y local, debe ser objeto de consideración el impacto que dicha industria pueda tener sobre el ambiente, y específicamente sobre la huella de carbono global. De acuerdo a informes de las Naciones Unidas a cargo de la UNEP (2009) se estima que la construcción y operación de edificios representan cerca de un tercio de las emisiones totales de los gases del efecto invernadero y a su vez consume un 40% de la energía global.

A pesar de esto, la industria tiene el mayor potencial para reducir efectivamente las emisiones de carbono en comparación a otros sectores, por medio de la aplicación de diferentes políticas y estrategias durante las diferentes etapas de una construcción.

Según la UNEP (2009) la vida de una edificación puede dividirse en las siguientes fases:

- Diseño
- Manufactura de materiales
- Transporte de Materiales
- Construcción del edificio
- Operación del edificio
- Demolición del edificio

A lo largo del ciclo de vida de un edificio las emisiones de carbono se dan por diferentes motivos, que van desde factores externos al edificio en sí hasta la parte operativa del mismo. Como se puede apreciar en el gráfico 01, en las primeras fases (diseño y escogencia de materiales) es más fácil prevenir y minimizar las emisiones potenciales de todos los procesos involucrados tanto en estas etapas como en las posteriores.

Además en esas mismas etapas, es que el arquitecto tiene mayor injerencia en la toma de decisiones para determinar el resultado final. Se puede abordar el proyecto con los materiales como punto de partida y las propiedades de los mismos van dictando las calidades espaciales; o se puede intentar generar el diseño con independencia de los materiales, pero eventualmente se deberá traducir al lenguaje material, lo cual puede obligar a adaptar el proyecto. A fin de cuentas, arquitectura es la materialización de una idea.

El éxito en el proceso de elección de un material resulta de la combinación del conocimiento técnico junto con la intuición y sensibilidad en la lectura de un contexto arquitectónico determinado (ver gráfico 02). Considerar como un parámetro de decisión, para concientizar sobre el impacto de un proyecto, el factor de emisión de un material, permitiría comprender las implicaciones globales que conlleva utilizar determinada cantidad de bloques por ejemplo, y cómo con el juego de proporciones y variaciones en el diseño, estos datos permitirían un manejo más controlado de la futura huella de carbono de la edificación.

Un estudio del desempeño de materiales previo a la aplicación de los mismos puede llegar a tener un importante impacto en la reducción de las emisiones de GEI. El cálculo de factores de emisión como una herramienta que permita conocer la cantidad de CO_2 equivalente por unidad de producto, que evalúe tanto las distintas propiedades como el proceso de fabricación y transporte; se vuelve imprescindible al hablar de edificaciones más eficientes, congruentes con las necesidades constructivas a corto y mediano plazo.

Justificación

705657

Adaptarse a los efectos del cambio climático se ha convertido en uno de los principales desafíos para la comunidad internacional. La cuantificación, el análisis y la reducción de la huella de carbono, como estándar utilizado actualmente para medir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera; son de suma importancia en el desarrollo de los diferentes sectores comerciales.

Con la intención de minimizar la huella de carbono del país, actualmente existe la iniciativa de convertir a Costa Rica en un país carbono neutral para el año 2021. El Plan Costa Rica Carbono Neutral 2021 está compuesto de cuatro fases. La primera habla de crecer sin causar daño, lo que abarca el tema de la construcción; la segunda es aplicada a un índice per cápita, cada persona debe estar consciente de las consecuencias ambientales de sus acciones. Las medidas planteadas para la tercera fase tienen como objetivo que en el país las emisiones no aumentan con respecto a las de años anteriores. Y por último la cuarta fase habla de cero emisiones netas/país.

Esta iniciativa ha impulsado a varias empresas con participación en el mercado nacional a desarrollar proyectos para la evaluación de su huella de carbono. Sin embargo, la mayoría de los esfuerzos evalúan las emisiones a nivel de organización en general, por ejemplo la marca C-neutral (producto de la Norma Nacional de Carbono Neutralidad: norma voluntaria INTE -12-01-06:2011), certifica procesos de gestión; dejando de lado las especificaciones por productos o servicios en particular.

Por eso, esta investigación busca generar un aporte al ahondar en el proceso de obtención de factores de emisión para productos, al ser estos común denominador que permiten compara elementos de naturaleza diversa. Y con el enfoque de producto, se abarca todo lo relativo a la fabricación del mismo, pues aunque algunos de los procesos no sucedan en Costa Rica, el hecho de generar demanda tiene sus implicaciones globales en CO_2.

Como se mencionó, en la primera fase del plan Costa Rica Carbono Neutral 2021, el sector construcción es uno de los puntos importantes a analizar, tanto por su importancia dentro del crecimiento del país y la dinamización de la economía, como por el impacto que puede tener este tipo de industria sobre el ambiente. La concepción de un edificio en pleno siglo XXI debe ir más allá de la resolución adecuada de un espacio para el requerimiento de la actividad humana que allí se realice. La práctica actual de profesiones enfocadas al campo del diseño y ejecución de proyectos constructivos debe ir acorde a las necesidades del medio en el cuál van a existir; para lograr un consumo adecuado de los recursos y mejorar la calidad de vida de las personas.

Un punto interesante considerar es la participación de los diferentes sectores dentro del mercado de la construcción, se destaca el de la vivienda, el cuál ocupó un 44% para el 2012 (Global Construction Perspectives & Oxford Economics, 2013). A su vez Global Construction 2025 coloca al sector habitacional como la mayor oportunidad comercial debido al crecimiento poblacional previsto para la próxima década, estimándose 9 mil millones de habitantes para el año 2025 (Global Construction Perspectives & Oxford Economics, 2013).

Costa Rica no está exenta de dichas dinámicas globales, al igual que el resto del planeta, se espera un crecimiento poblacional en el país que pasará de 4,7 millones de habitantes en el 2011 a 5,5 millones para el 2025, lo que derivará en un crecimiento de la infraestructura tanto habitacional como no habitacional. (DAES Naciones Unidas, 2011). Según la Cámara Costarricense de Construcción (2013) las construcciones de índole habitacional fueron las que tramitaron el mayor número de metros cuadrados ante el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) durante los años 2011 y 2012, con un 37.60% y 36.75% respectivamente. (Ver gráficos 03 y 04).

El informe del Censo del INEC 2011 clasifica la construcción en el *país según el material* predominante en paredes exteriores, pisos y techos. (Ver gráficos 05). El 85% de las edificaciones para vivienda (unifamiliares y multifamiliares) son construidas a base de materiales cementicios (block, baldosas, prefabricados, Fibrolit, etc), este dato sin tomar en cuenta las construcciones en madera o metal que de igual forma requieren de cimentaciones en concreto.

Si bien la selección de estos materiales, en la mayoría de los casos, se hace a partir de criterios restrictivos como las posibilidades económicas o las capacidades estructurales permitidas por la legislación y cuando las circunstancias lo permiten, se conjugan criterios de intenciones espaciales en cuanto a percepción; la composición de los elementos presenta toda una serie de propiedades intrínsecas que llegan a tener implicaciones directas en ámbitos que los profesionales del sector generalmente no consideran.

El diseño y la escogencia de materiales vienen a ser parte primordial del ciclo de vida de las edificaciones, y por consiguiente dirige la atención hacia las fases del ciclo de vida de los materiales en sí, y como impacta cada una de ellas, (extracción y procesado de materias primas, producción o fabricación, utilización, tratamiento como residuo), al medio ambiente.

Como al día de hoy no existe un cálculo exacto de las emisiones de carbono que genera la industria constructiva, se plantea la necesidad de un estudio que se ajuste a los parámetros de la realidad nacional, ya que las metodologías utilizadas en los estudios sobre huella de carbono que se usan como referencia actualmente, no se adaptan a las condiciones de la región.

Un ejemplo de lo anterior es que de acuerdo con Global Footprint Network (2013) se contabilizó que para el 2009 en Costa Rica la huella de carbono correspondió a 0,93 hectáreas globales por persona. Mientras que en el Informe del Estado de la Nación (2011), con entidades gubernamentales nacionales encargadas de hacer proyecciones mediante otras metodologías que utilizan datos a nivel local, se obtiene como resultado una huella de

Distribución por tipo de obra tramitada m² CCC 2013

	2011	2012	2011
Habitacional	2 535 179	2 916 144	37.60%
Comercial	1 423 498	1 755 239	21.11%
Urbanístico	993 409	1 171.207	14.73%
Industrial	722 600	962 887	10.72%
Institucional	476 820	488 792	7.07%
Obras Complementarias	234 333	331 107	3.48%
Turístico	194 670	120 675	2.89%
Deportivo	86 214	114 001	1.28%
Salud	76 195	69 692	1.13%
Total	6 742 918	7 929 744	100%

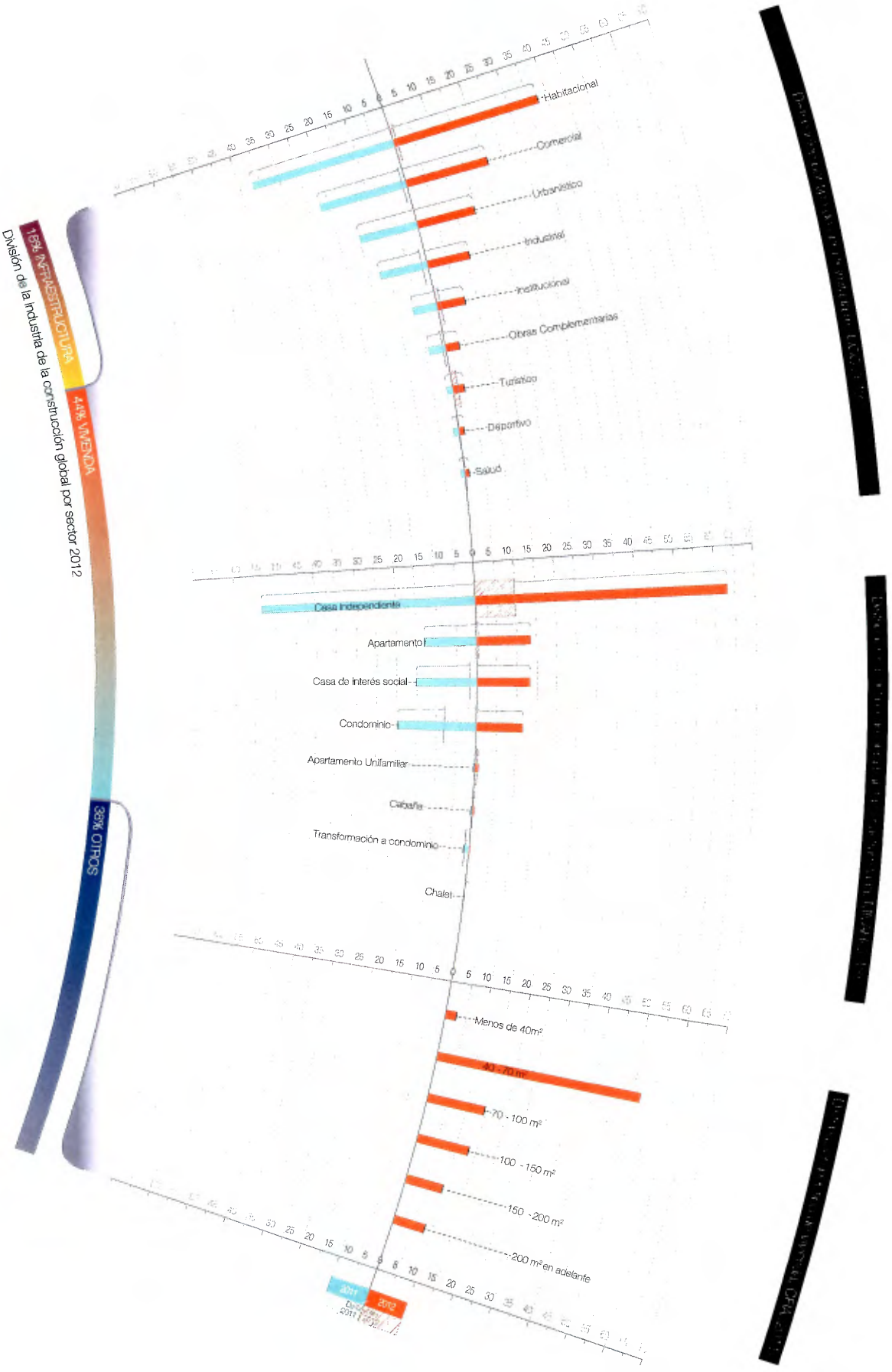
Distribución por tipo de obra habitacional tramitada m². MIVAH

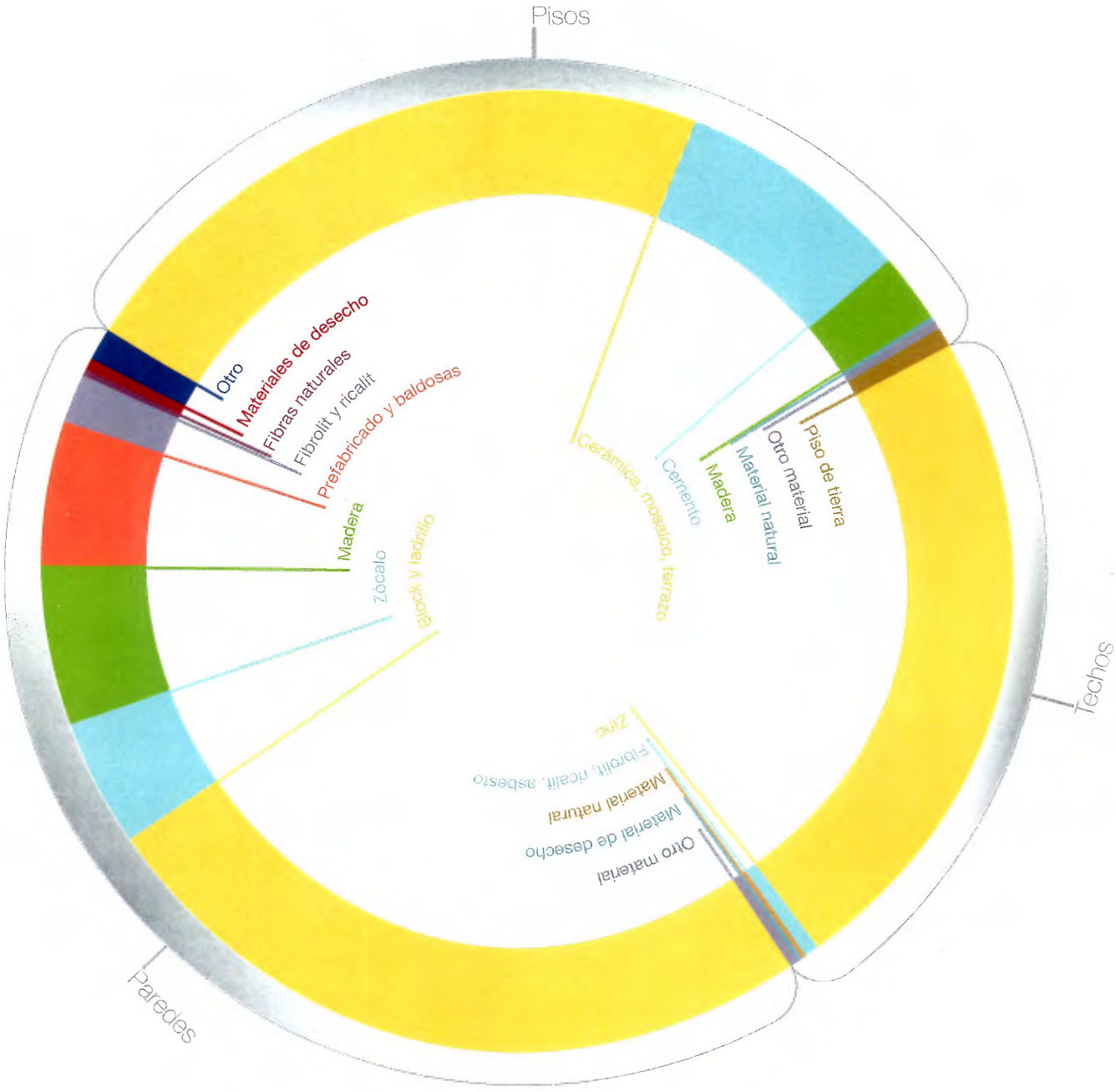
	2011	2012	2011
Casa Independiente	1 553 701	1 508 748	61.29%
Apartamento	332 458	367 409	13.11%
Casa de Interés social	325 841	427 912	12.86%
Condominio	284 541	554 438	11.22%
Ampliación de Unifamiliar	21 639	8 576	0.85%
Cabañas	11 545	10 315	0.46%
[illegible]	5 117	38 475	0.20%
Otras	337	271	0.01%
Total	2 535 179	2 916 144	100%

Distribución por tipo de vivienda m². CFIA (2011)

	Número de proyectos	Porcenta
[illegible]	544	2.75%
[illegible]	10 252	51.87%
[illegible]	2 891	14.63%
[illegible]	2 612	13.21%
[illegible]	1 869	9.46%
[illegible] en adelante	1596	8.08%
Total	19 764	100%

[illegible]


División de la industria de la construcción global por sector 2012
18% INFRAESTRUCTURA
44% VIVIENDA
38% OTROS
Habitacional
Comercial
Urbanístico
Industrial
Institucional
Obras Complementarias
Turístico
Deportivo
Salud
Casa independiente
Apartamento
Casa de interés social
Condominio
Apartamento Unifamiliar
Cabaña
Transformación a condominio
Chalet
Menos de 40m²
40 - 70 m²
70 - 100 m²
100 - 150 m²
150 - 200 m²
200 m² en adelante
2011
2012



De la cuna a la puerta
Cradle to Gate

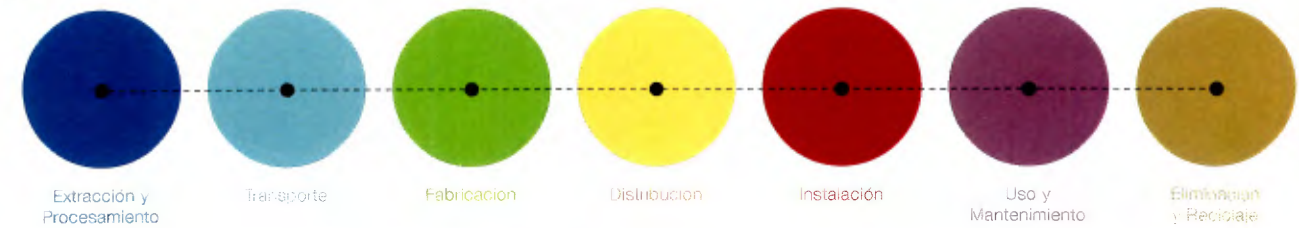


Gráfico 56. Energía gastada en materiales en paredes exteriores, pisos y techos (MJ/m2)
Gráfico 56. Energy for outside walls materials, floors and roofs (MJ/m2)

carbono de 0,57 hectáreas globales por persona en el 2010, lo que equivale a 1,7 toneladas de carbono por persona. (Banco Mundial, 2010).

Esta investigación abarcará las tres primeras fases del ciclo de vida de los materiales (ver gráfico 06), en lo que se define como un alcance "de la cuna a la puerta"; para disponer de bases de datos y de información que permitan guiar al sector de la construcción en la elección de materiales al considerar la variable de las emisiones de CO_2, cuánto aporta cada una de las fases y si se desarrollan en el ámbito nacional o internacional.

Dicha información será recolectada dentro de seis empresas diferentes con operación en territorio costarricense; lo que implica un análisis detallado de las líneas de producción de cada material, desde el punto de adquisición de las materias primas hasta que se obtiene el producto final que sale al mercado. Este aspecto toma gran valor, pues a través del estudio de los procesos involucrados en la fabricación de los productos que comercializan, se trabaja con información real y actual sobre el funcionamiento de la industria.

El contar con ejemplos de cálculo que permitan medir el comportamiento de un material, a la hora de proyectar y diseñar, facilitará la comparación y evaluación de diferentes diseños para edificios, y ayudará a definir una estrategia de diseño rentable y de menor impacto ambiental; permitiéndole al mismo tiempo la optimización de los procesos posteriores de materialización y operación. También se convierten en una base para futuras investigaciones que analicen materiales diferentes a los abordados, o hasta variar los alcances incluyendo diferentes fases del ciclo de vida.

Antecedentes

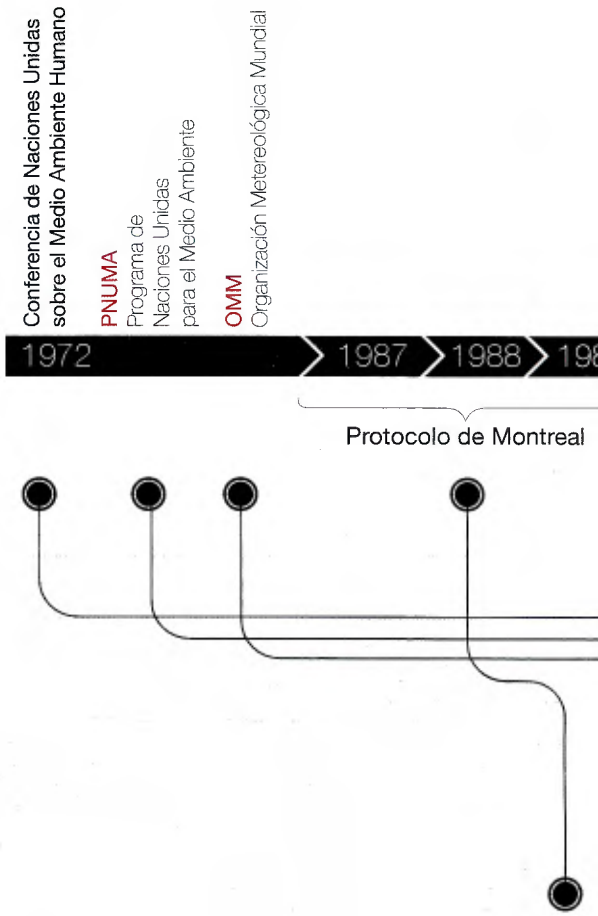
Ámbito internacional

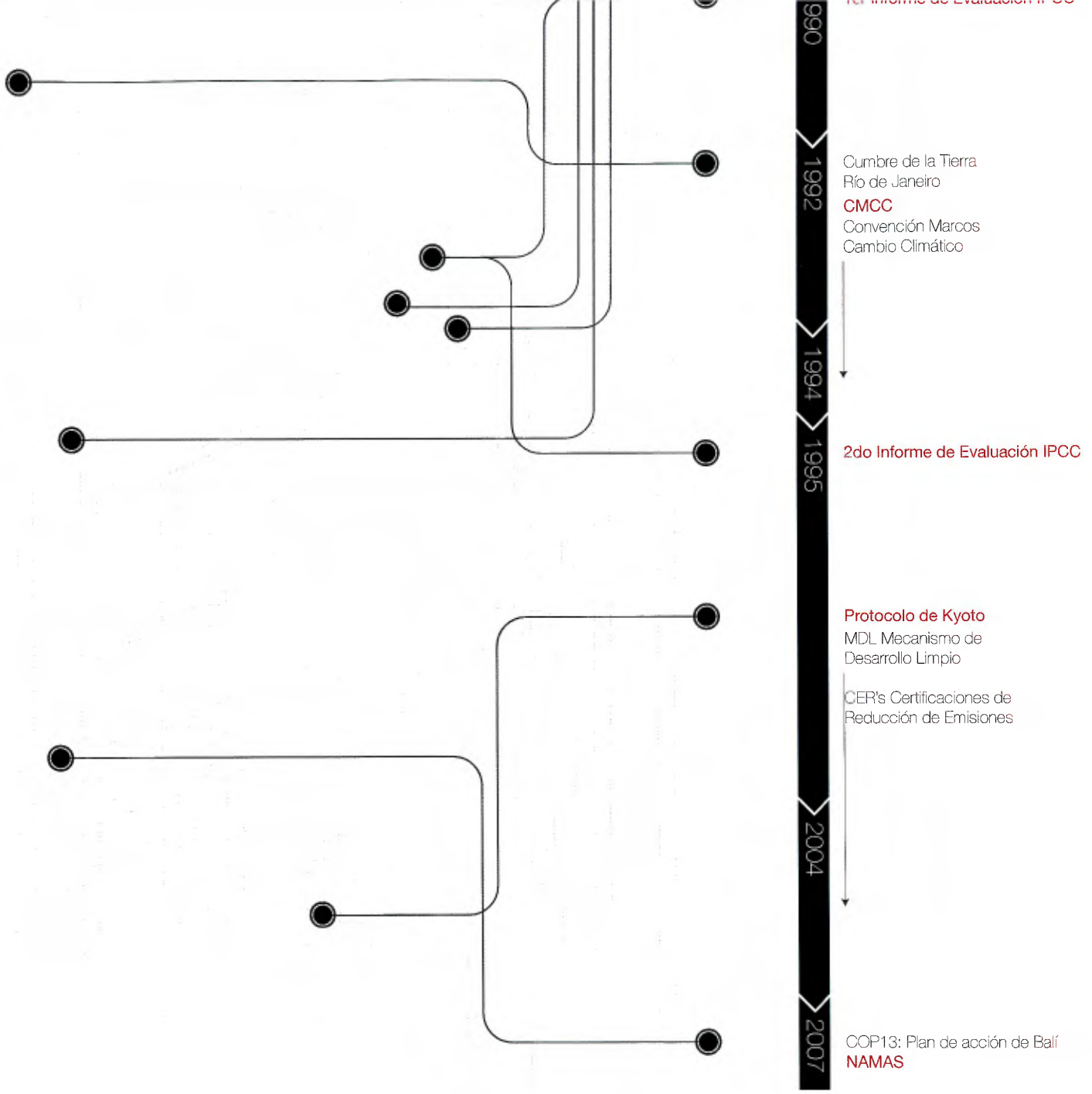
El tema de la degradación ambiental y la influencia del ser humano sobre esta, se viene discutiendo desde hace más de cuatro décadas aproximadamente. A partir de 1972, se inicia con una serie de manifestaciones de conciencia política ecológica con miras en prevenir y solucionar los problemas ambientales que ponían en peligro la sostenibilidad del planeta (ver gráfico 07).

Conforme se ha ido transformando el panorama mundial, también las evaluaciones que se hacen del mismo han modificado sus metas y programas, para ajustarse a la realidad con el objetivo de mantener la calidad de vida de los seres humanos. Ya para el año 2007, con el cuarto informe del IPCC se estimó que para el año 2020 los países desarrollados deben reducir la trayectoria esperada de sus emisiones de GEI en un 25% y un 40%, mientras que para los países en desarrollo la meta es entre un 15% y un 30%.

Pero más allá de proponer metas, es importante contar con herramientas para lograrlas. Los países desarrollados cuentan con los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), establecidos en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto, entonces utilizan la reducción de emisiones lograda a partir de la aplicación de estos, en el cumplimiento de las metas correspondientes; lo que les ha permitido emitir y vender Certificados de Reducción de Emisiones (CERs). Sin embargo, por sus características y cuestiones metodológicas, tanto los MDL como los CERs, no son accesibles para la capacidad financiera y tecnológica de los países en desarrollo.

Por eso, para motivar a los países en desarrollo, en el Plan de Acción de Bali (2007), la COP13 implementó las Acciones Nacionalmente Apropiadas de Mitigación (NAMAs, por sus siglas en inglés); que además de ser adecuadas a cada país deben ser medibles, notificables y verificables. Ya sean estructuradas como políticas, regulaciones o programas, la idea




1990
1992
Cumbre de la Tierra
Río de Janeiro
CMCC
Convención Marcos
Cambio Climático
1994
1995
2do Informe de Evaluación IPCC
Protocolo de Kyoto
MDL Mecanismo de
Desarrollo Limpio
CER's Certificaciones de
Reducción de Emisiones
2004
2007
COP13: Plan de acción de Balí
NAMAS

es que ayuden a los países en que se implementan a cumplir sus objetivos de reducir las emisiones GEI con respecto a sus niveles tendenciales.

Para la COP15 de Copenhague en 2009; Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Perú, realizaron por primera vez compromisos voluntarios en reducción de emisiones en forma de NAMAs; hicieron sus comunicaciones indicando cuales serían y si requerían de apoyo financiero externo para todas o algunas de ellas.

En enero del 2012, el Gobierno de Canadá comenzó una iniciativa como parte del Compromiso de Financiamiento Rápido de Canadá, invirtiendo 3,5 millones de dólares canadienses para respaldar el desarrollo de NAMAs en el sector residencial de tres países latinoamericanos: México, Perú y Costa Rica. Debido a que las construcciones residenciales contribuyen con un 18% de la huella global de gases de efecto invernadero, se busca que mediante el uso de tecnologías, materiales de construcción y diseños más eficientes; se pueda disminuir sustancialmente el consumo de energía relacionado con las viviendas

Y en noviembre de ese mismo año, en la COP 18 realizada en Doha, la CMNUCC inauguró un sistema de registro de ofertas. Los países en desarrollo registran allí las medidas de mitigación que se proponen implementar mientras que los países desarrollados exponen sus compromisos financieros.

Las NAMAs pueden ser registradas bajo 3 categorías:

- Acciones de mitigación para reconocimiento de la comunidad internacional que los países en desarrollo están dispuestos a implementar con recursos propios (ya sea de fuentes públicas, privadas o ambas).

- Acciones que se vislumbran con potencial para la reducción de emisiones y se solicita apoyo financiero para su estudio, diseño y formulación

- Acciones que ya están diseñadas por el país anfitrión, pero que para ser implementadas necesitan soporte económico externo.

Tanto para el segundo como el tercer tipo de acciones, el apoyo puede venir de países desarrollados, fondos privados, fondos multilaterales o bancos de desarrollo.

Sin embargo, no existen lineamientos básicos que determinen el alcance, modo de operación, aplicabilidad o elegibilidad de las NAMAs. Si bien esto da la flexibilidad requerida por los países en desarrollo para adelantar acciones que se ajustan a sus circunstancias nacionales, implica grandes retos en términos del nivel de incertidumbre respecto a la comparabilidad de esfuerzos a nivel internacional.

Ámbito nacional

El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), por medio del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC), es el punto focal ante la CMNUCC, el IPCC, y coordinador de la elaboración de los informes de país conocidos como Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC. Dichos estudios nacionales se realizan en tres etapas, vulnerabilidad, adaptación e implementación; para lo cual se desarrollan los siguientes componentes:

1) Un inventario nacional de las emisiones antropogénicas por fuentes y la absorción por sumideros de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal.

La última evaluación del inventario se realizó, utilizando las guías publicadas para estos fines por el IPCC, por un grupo de expertos en áreas como energía, procesos industriales, agricultura, uso de suelo y manejo de desechos sólidos, coordinados por el MINAET.
Se incluyen los siguientes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NOx) y otros hidrocarburos volátiles diferentes del metano (NMVOC, por sus siglas en inglés). Además, se evalúa la emisión de dióxido de azufre (SO_2),

partículas, hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Según el gráfico 08, elaborado a partir de datos obtenidos de la Segunda Comunicación Nacional, las principales fuentes de emisión en Costa Rica son:

- Combustión móvil: Transporte terrestre
- Emisiones de fermentación entérica en ganadería
- Emisiones de suelos agrícolas
- Emisiones de la disposición de desechos sólidos
- Industrias de manufactura y construcción
- Emisiones de combustión estacionaria
- Emisiones de la producción de cemento
- Otros sectores: Agricultura/Bosque/Pesca
- Emisiones de la producción de arroz
- Emisiones de la producción de ácido nítrico

2) Una descripción general de las acciones que se han adoptado o se prevén adoptar para aplicar la Convención.
En el Plan Nacional de Desarrollo PND 2007 – 2010, se posiciona con prioridad nacional e internacional la Agenda de Cambio Climático: absorción de carbono, reducción de los gases con efecto invernadero y adaptación al cambio climático.

Dentro de las iniciativas desarrolladas se cuenta con:
Plan Nacional de Cambio Climático: Busca maximizar la competitividad y minimizar el riesgo por los efectos del cambio climático en los diferentes sectores socioeconómicos; a través de la construcción de infraestructura física y tecnológica, de la consolidación de una visión de país y un mecanismo de coordinación interinstitucional, así como la modernización de los sistemas de investigación y pronósticos.

Desarrollo de mercados de carbono: Costa Rica emitió en 1996 un Certificado Negociable de Reducciones de Carbono por el servicio de fijación de ese gas que brindan los bosques. Por este concepto, el país le vendió a Noruega $2 millones; el país escandinavo proporcionó fondos para reforestación y protección de bosques de propiedad privada a través de la compra de estos certificados, y le pagó a Costa Rica un precio de $10 por tonelada de carbono fijado.

Marca C-Neutral: La Norma Nacional de Carbono Neutralidad, norma voluntaria INTE -12-01-06:2011, define la siguiente ecuación para la carbono neutralidad: $E(i) - R(i\text{-}1) - C(i\text{-}1) = 0$. En esta E significa emisiones totales; R, reducciones y C, compensaciones para un total de 0 emisiones. Los organismos verificadores/validadores que se encuentran actualmente autorizados son INTECO, EARTH y SCS Global Services.

La norma certifica procesos de gestión y no productos en sí, pues todavía no existe una norma específica para productos o servicios particulares. Los niveles de marca diferenciarían:

- Clase C: los que emiten y compensan por sistemas acreditados y reconocidos dentro del mercado oficial nacional o por sistemas internacionales sin acreditación u homologación nacional
- Clase B: los que inician la implementación de acciones de reducción y eficiencia
- Clase A: los que habiendo pasado por este proceso son más eficaces a través de mejores prácticas o encadenamientos globales.

La Norma Nacional de Carbono Neutralidad hace posible el desarrollo de un mercado doméstico de carbono en el cual las empresas pueden compensar las emisiones que no logren reducir por medio de la compra de Unidades Costarricenses de Compensación llamadas UCC. La reducción es prioritaria ante la compensación; es decir, que la compra de esas unidades por parte de empresas tiene lugar cuando estas ya realizaron todo a su alcance por reducir sus emisiones.

Dirección de Cambio Climático (DCC): Fue creada, mediante el decreto ejecutivo 35669, como una entidad adscrita al Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE). Su labor desde el Ministerio es coordinar, gestionar y formular la política pública de cambio climático, promoviendo la integración de una agenda interministerial. Actualmente cuenta con financiamiento de parte de: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD),

Cooperacion internacional Alemana (GIZ), Secretaría de la Convención sobre Cambio Climático (UNFCCC), Departamento de Estado de los Estados Unidos, Banco Mundial, Agencia Española de Cooperación Internacional, Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) y Forest Carbon Partnership Facility
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC): Es la base para la meta de Costa Rica de lograr la carbono neutralidad para el 2021. Para lograrlo, contempla los siguientes ejes estratégicos de trabajo en el marco nacional e internacional:

Mitigación de gases de efecto invernadero
Adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad de los principales sectores y regiones del país
Sistema de métricas precisas, confiables y medibles (MRV)
Desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología
Financiamiento
Sensibilización pública, creación de cultura y cambio de hábitos de consumo.

Los sectores claves para la definición de medidas de mitigación y adaptación dentro de la ENCC son los siguientes:

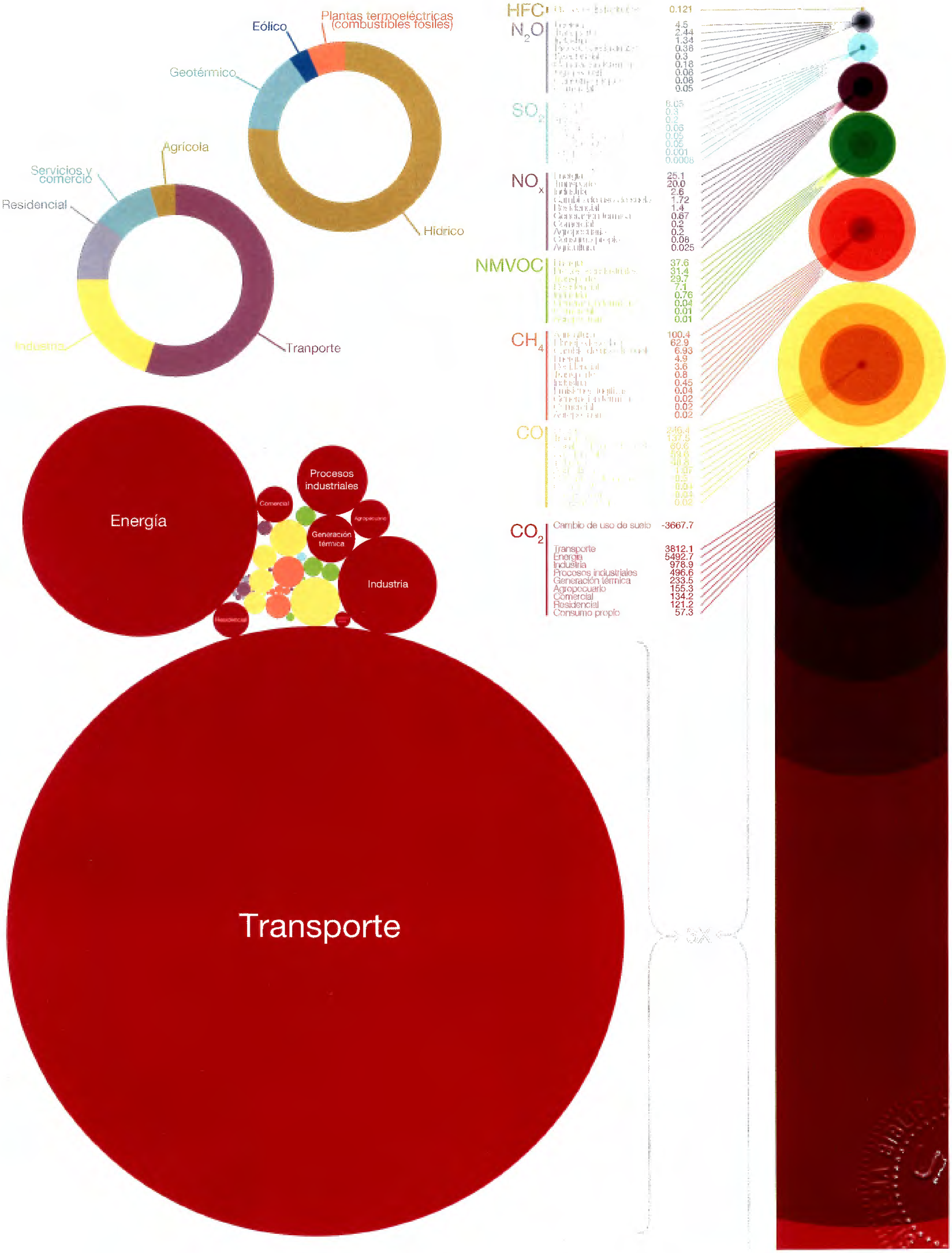
Mitigación: energía, transporte, agropecuario, industrial, residuos sólidos, turismo, hídrico, cambio de uso de suelo.

Adaptación: hídrico, energía, agropecuario, pesca y zonas costeras, salud, infraestructura, biodiversidad.

En lo que se refiere a infraestructura, entra el campo de acción para la construcción, dentro del cual se propuso en Mayo del 2013 el "NAMA para viviendas y ciudades bajas en emisión de carbono" por parte del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH); pues se visualiza que el desarrollo de este tipo de iniciativas en el sector posibilita una reducción del 15% de las emisiones país para el 2021.

Esta propuesta considera que como para el 2012 se tenían 3,6 millones de m2 en el mercado de la construcción y se proyectan 38,6 millones para el 2021, y sumado al hecho de que sólo con subsidios estatales se construyen 10 000 viviendas de interés social al año; el objetivo consiste en promover un desarrollo urbano compacto con edificaciones de baja emisión de carbono en su ciclo de vida completo.

Uno de los beneficios que busca conseguir el NAMA en el sector de la construcción, es reducir el factor de emisión y el carbono embebido en los materiales. El Sistema de Medición, Reporte y Verificación del NAMA (MRY System) propone que el arquitecto o profesional responsable que presenta un proyecto ante el CFIA, para ser aprobado debe aportar entre los requisitos un presupuesto detallado de CO_2, que incluya entre otros datos, los factores de emisión de los materiales a utilizar; como mecanismo para evidenciar cuánto aportan los diferentes elementos del proyecto a la huella de carbono del mismo.


Plantas termoeléctricas (combustibles fósiles)
Eólico
Geotérmico
Hídrico
Agrícola
Servicios y comercio
Residencial
Industria
Tranporte
Energía
Procesos industriales
Comercial
Agropecuario
Generación térmica
Industria
Residencial
Transporte
HFC
0.121
N_2O
4.5
2.44
1.34
0.38
0.3
0.18
0.08
0.08
0.05
SO_2
NO_x
Energía
Transporte
Industria
Cambio de uso de suelo
Residencial
Generación térmica
Comercial
Agropecuario
Consumo propio
Agricultura
25.1
20.0
2.6
1.72
1.4
0.67
0.2
0.2
0.08
0.025
NMVOC
37.6
31.4
29.7
7.1
0.76
0.04
0.01
0.01
CH_4
100.4
62.9
6.93
4.9
3.6
0.8
0.45
0.04
0.02
0.02
0.02
CO
CO_2
Cambio de uso de suelo -3667.7
Transporte 3812.1
Energía 5492.7
Industria 978.9
Procesos industriales 496.6
Generación térmica 233.5
Agropecuario 155.3
Comercial 134.2
Residencial 121.2
Consumo propio 57.3

Estado de la cuestión

Actualmente se han planteado numerosas propuestas metodológicas que pretenden obtener una medición de la huella de carbono, y se están desarrollando cada vez más programas tanto privados como públicos para la contabilización de GEI y la aplicación de estas metodologías. Sin embargo, la mayoría de investigaciones se han centrado principalmente en el estudio de las emisiones de carbono relacionadas a las actividades que desempeñan distintas entidades como organización.

Como esta investigación se centra específicamente en el cálculo de la huella de carbono de productos del sector construcción utilizados en el ámbito nacional, se seleccionan publicaciones con relación directa al tema; intentando elegir trabajos con visiones metodológicas, alcances y fuentes diferentes; dividido en dos ámbitos, el internacional y el nacional. Luego se estructuraron en temas y subtemas para obtener una relación comparativa del manejo de la información, que brinde pautas guía para aplicar en el desarrollo de la presente investigación.

Investigaciones internacionales (enfoque general: sector construcción)

Huella de carbono por producto / Enfoque: material de construcción.

La idea es analizar los trabajos a partir de los alcances propuestos: los procesos que incluyeron en la contabilización de emisiones, que tipo de datos manejaron y que metodologías usaron de referencia.

Los alcances de investigación son variados en los trabajos consultados, las investigaciones B y D se extendieron al análisis de múltiples factores que determinan el impacto ambiental de los materiales, mientras que el resto se enfocan únicamente a la valoración de las emisiones de GEI. En consecuencia, las fases del ciclo de vida estudiadas varían y pueden ir ya sea de la cuna a la puerta, al sitio de construcción o incluso de la cuna a la

Tabla 01. Investigaciones Internacionales: Huella de Carb

Publicación	Definición de producto	
INT. A "Energy and environmental impact analysis of double-glazed windows" Reino Unido (1996)	Una tipología de ventana producida en una fábrica en Noruega (de 9 diferentes): el diseño es el más popular y compone más del 50% de la producción.	Contabilización energía embeb ventana y sus (no se conta producto final).
INT. B "Environmental assessment of brick production in Greece" Grecia (2005)	Una tipología de ladrillo producido en una fábrica en Grecia (unidad funcional: una tonelada de dicho producto).	Contabilización clasificación e metodologías acidificación, smog de invier y residuos sólic
INT. C "Carbon footprint of coarse aggregate in Brazilian construction" Brasil (2014)	Brasil posee yacimientos abundantes de agregados del concreto. Se escogió el análisis de uno de sus agregados gruesos: el basalto (unidad funcional: un m^3 de dicho producto).	Contabilización e identificació procesos.
INT. D "Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles" Italia (2000)	Determinación por su relevancia en la economía italiana: los azulejos de cerámica (57% "monococida") y mármol. Cubren un 23% y un 18% de la producción mundial respectivamente (unidad funcional: un m^2 de dichos productos).	El análisis de la tumba) en cerámica y m críticos de d cabo una cor considerados: de la capa de acidificación; fotoquímico.
INT. E "Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport" Noruega (N.D)	Interés en estudios que evalúen la substitución de productos con alto requerimiento energético por productos basados en la madera: se estudian las vigas de madera laminada y de acero para un proyecto en específico (unidad funcional: 1 m^2 de techo).	Realizar un in y energía emb dichos produc substitución d costo, y analiz influencia en lo
INT. F "Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia" Australia (2013)	Evaluación de la HC de materiales como el cemento, el acero para refuerzo y el concreto por su influencia en la valoración del impacto ambiental de estos y de la construcción en general ya que son materiales de uso común.	Contabilización sistema de p (cemento, agr enfoque de la se compara construcción d típico de vivien
INT. G "Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions" Nueva Zelanda (2000)	Se considera que el uso de madera en la construcción posee ventajas en la reducción de emisiones de los materiales de construcción y tendría un impacto importante en la reducción de emisiones a nivel nacional.	Contabilización manufactura d de construcció diferentes tipos
INT. H "Assessment of Carbon Footprinting in the Wood Industry" Eslovenia / Noruega / Reino Unido (2014)	La madera es una materia prima renovable de múltiples aplicaciones y de gran importancia para el desarrollo sostenible. Se espera el incremento de su uso en la construcción residencial como material de carbono negativo (unidad funcional: 1 m^3).	Comparar el materiales de de la huella de bajo un enfoqu
INT. I "Embodied energy and carbon in construction materials" Reino Unido (2008)	La industria de la construcción requiere de la extracción de gran cantidad de materia prima y por lo tanto tiene un gran consumo energético y emisiones asociadas a esto.	El objetivo co confiable y abi y emisiones construcción (un enfoque de ilustra el uso de

Producto / Material de construcción.

	Procesos de contabilización	Tipo de datos principales	Suposiciones importantes	Métodos y herramientas internacionales
(cuna a la puerta) y la ducción de un tipo de mponentes materiales eños elementos del	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Procesamiento de madera y aluminio -Producción y tratamiento de la unidad de vidrio -Montaje, pintado -Otros analizados por separado: iluminación, calefacción, administración y necesidades técnicas del diseño.	-Primarios: energía utilizada para los procesos de manufactura internos de la fábrica (doble acercamiento: medición de potencia y tiempo promedios o asignación por mediciones de consumo eléctrico y datos de planta de producción final) -Secundarios: referencias bibliográficas sobre el consumo energético y material en procesamiento de materias primas	-Todos los tipos de ventanas consumen la misma cantidad de energía (diferencias negligentes) -Porcentajes de reciclo en materias primas -Prevalencia de sistema de producción energética para las diferentes materias primas provenientes del extranjero	-LCA
cuna a la tumba) y su de impacto según las (calentamiento global, ón, la formación de ón de smog de verano	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura del ladrillo -Empacado -Distribución -Uso y disposición final	-Primarios: datos de operación de la planta anuales (producción, consumo eléctrico y de combustibles) -Mediciones en sitio (balances de masa, desperdicios, consumo eléctrico y de combustibles por proceso, emisiones de GEI) -Secundarios: datos calculados a partir de referencias bibliográficas (emisiones del transporte, etc.)	-No se mencionan suposiciones en los procesos de manufactura (la mayoría son datos medidos de forma específica). -Las suposiciones se reducen a las etapas de uso y disposición final (tiempo de vida de un edificio, procesos de manejo de desperdicios, etc.)	-LCA -ISO 14042, 14040 -COPERT III
El (cuna a la puerta) tados críticos de los	-Extracción de la materia prima (basalto) -Transporte (de centros de extracción, a fábrica y hasta los consumidores) -Manufactura del producto final (trituración)	-Primarios: consumo de combustible de los equipos -Secundarios: factores de emisión de combustibles, referencias bibliográficas para determinar las emisiones de reacciones químicas específicas del proceso (explosivos), consumos eléctricos determinados por los datos técnicos de los equipos	-Se determinó un rango de radio de la piedra para el establecimiento de la unidad funcional -Se trabajó a partir de un promedio de extracción diaria y horas- máquina promedio diarias en las minas -La pérdida de potencia eléctrica -La matriz energética del país -La distancia promedio fábrica - centros consumidores	-IPCC (reporte 2007) -ISO/TS 14067:2013, 5.15.2013.
s ambientales (cuna a da de los azulejos de establecer los puntos del ciclo y llevar a ntre ambos. Impactos o global, agotamiento ad humana y acuática, creación de oxidante	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura del producto final -Empacado -Distribución -Uso y disposición final	-Primarios: balances de masa -Secundarios: consumos energéticos determinados por bases de datos nacionales y factores asociados (GWP, etc.)	-La matriz energética del país -La distancia recorrida para el desecho de los materiales de empaque y el centro de demolición y desecho de los azulejos -Las medidas y el peso promedio de los azulejos -El desperdicio es reintegrado al sistema -Se toma como base el estudio de las operaciones de las plantas en un determinado territorio -La determinación de proveedores principales -La vida útil de los azulejos	-LCA -ISO series 14040, 14041, 14042, 14043 -IPCC (factores GWP)
GEI (cuna a la tumba) e el ciclo de vida de os GEI evitados por la dos (por el otro) y su ctores tienen la mayor	-Adquisición de materias primas -Manufactura de los productos -Manejo de desperdicios (reciclaje final) *Los procesos de fijación de carbono de la madera no se incluyen.	-Primarios: proporción de materias primas, producción anual, consumo eléctrico anual, distancias de transporte, etc. -Secundarios: casi todos los datos son tomados a partir de referencias bibliográficas	-Las emisiones asociadas a la construcción, el uso y la demolición se consideran iguales para ambos materiales -Cantidad de material en 1 m² de techo -El reciclaje de desperdicios (producción energética a partir de la madera) -La proveniencia del acero (chatarra o mineral crudo) -La matriz energética del país -La vida útil del edificio	-Se utilizan métodos locales
misiones de GEI del bricadas de concreto ja y acero) con un le construcción. Luego ema convencional de el caso de un proyecto	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura del producto final -Transporte a sitio de construcción	-Primarios: intensidad de emisiones para un sector determinado del material en estudio presentado por el país, factores de emisión tomados de bases de datos locales -Secundarios: factores de emisión tomados de bases de datos internacionales, intensidad energética para los procesos de manufactura y transporte	-El edificio no ocupa el reemplazo de las paredes de concreto prefabricado a lo largo de la fase de uso -Las distancias de separación entre las plantas de producción de los materiales y el sitio de construcción -Las dosificaciones de las mezclas de concreto consideradas -El desperdicio se considera que es un 5 % para ambos (concreto y acero)	-HLCA (a hybrid life cycle assessment) -ISO 14040 y PAS 2050
isiones de GEI en la les de madera (y otros) puerta) promedio para ones.	-Almacenamiento de carbono del material -Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura en fábrica *Se consideran únicamente las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles	-Primarios: coeficientes de energía embebida de los materiales de construcción para diferentes tipos de edificaciones (los datos provienen a partir de bases de datos creadas en el país) -Secundarios:factor de emisión por unidad de energía	-La mayoría de las emisiones de CO_2 de la manufactura de los materiales provienen de la quema de combustibles fósiles -El 75% de la electricidad del país proviene de fuentes limpias y no emite carbono a la atmósfera -La duración del período de almacenamiento de carbono es igual a la vida del edificio	-No se mencionan
biental de diferentes n de madera a través no indicador ambiental a a la puerta.	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura y procesamiento -Transporte y distribución	-Secundarios: los datos utilizados son todos de origen secundario tomados de las bases de datos de las referencias consultados para los diferentes tipos de materiales de construcción de madera (consumo de electricidad, consumo de combustible, consumo de materias primas, emisiones por transporte, correcciones de "alocación" , emisiones directas, etc.)	Las suposiciones de los cálculos de la HC son las asumidas por las referencias consultadas	-ISO 14044 (análisis LCA) -Ecoinvent database 2.0 (inventarios de ciclo de vida) -SimaPro (2009) -IPCC 2001 GWP 100a V1.02 (metodología de cálculo) -PAS 2050 -ISO 14025 (comparabilidad del desempeño ambiental entre productos)
ar una base de datos o de energía embebida para materiales de ipalmente en RU) bajo da "cuna a sitio". Se en un estudio de casos.	-Adquisición de materias primas (extracción, producción y transporte) -Manufactura y procesamiento -Transporte y distribución	-Secundarios: la mayoría de datos se obtienen de un análisis estadístico y de inputs y outputs de procesos (si no se consiguen datos pertenecientes a las islas británicas se consideran promedios europeos o mundiales)	-La energía como materia prima se incluye sólo en los casos en que representa una pérdida permanante de recursos, como en el uso de combustibles fósiles -Se consideraron los efectos de la absorción del carbono pero no se integraron esos datos	-ISO 14040/44

tumba.

Con respecto a la fuente de los datos utilizados para el desarrollo de los cálculos, en muchos casos se contaba con la participación de empresas u organizaciones interesadas que ayudaron en la proporción de datos de carácter primario; o se contaba con el acceso a bases de datos nacionales sobre los sectores de producción del país. Sin embargo, en todos los casos se recurrió a fuentes de datos secundarias y al planteamiento de suposiciones para completar huecos de información.

La mayoría de las investigaciones consultaron las guías ISO para el establecimiento de los requisitos del análisis del ciclo de vida de los productos, así como las guías del PAS y el IPCC para la realización de los cálculos; por lo que las posiciona como referencias de consulta obligatoria para el desarrollo de esta temática Entre las bases de datos mencionadas con mayor frecuencia se encuentra el "Ecoinvent" y las publicaciones realizadas por los autores Buchanan y Honey, así como publicaciones y trabajos desarrollados en cada país.

Huella de carbono por producto / Enfoque: aplicación a un proyecto deconstrucción

Como esta investigación pretende realizar el cálculo de huella de carbono asociada a ciertos materiales de construcción de trascendencia en el mercado nacional, la idea es visualizar la aplicación de estos resultados a un proyecto de diseño. El abordaje de este tema se hace desde dos perspectivas, una es el análisis de trabajos e investigaciones relacionados con la aplicación de factores de impacto ambiental, como lo es la energía embebida o las emisiones de carbono equivalente, a proyectos de diseño o construcción; y la otra a partir de trabajos e investigaciones que indaguen sobre métodos de comparación de los factores ambientales, específicamente de la huella de carbono, de materiales de construcción y de los criterios necesarios para la toma de decisiones, la escogencia y la substitución de un material por otro.

Aplicación.

Es importante comprender cómo traducir las unidades de peso de CO_2e a unidades trabajadas cotidianamente en el campo de la construcción, para que la medición de la HC tenga un impacto real en los efectos ambientales que implican las edificaciones.

Las unidades funcionales utilizadas en las investigaciones consultadas consisten principalmente en el kilogramo, el metro cúbico o la unidad de producto en el caso de bloques. Las unidades de construcción dependen del método bajo el cual se aplican las unidades funcionales a los proyectos. En ciertos casos, se cuantifican directamente las cantidades de materiales totales para cada uno y se aplican directamente a las unidades funcionales. En otros, el alcance de la investigación se basa en la cuantificación del impacto de un sistema constructivo o bien, se utiliza este como unidad de transición a la huella de carbono total de un proyecto de mayor escala.

En muchos casos se realizaron consultas a guías de diseño y construcción nacionales o internacionales, para establecer los lineamientos de aplicación de algún material o sistema constructivo y las prácticas comunes. Asimismo, viendo que estas aplicaciones tienden a variar dependiendo de la manipulación de los materiales en el sitio, se toman en cuenta ciertas consideraciones o suposiciones a la hora de especificar las unidades de construcción.

Comparación, escogencia y substitución de los materiales.

La mayoría de las investigaciones concluyen que si bien la huella de carbono es uno de los indicadores más reales y difundidos, la visualización de este como un asunto aislado corresponde a un acercamiento parcial del panorama completo de la situación. Con esto quieren decir que si bien un material puede ser bajo en carbono durante los procesos asociados a su manufactura, este puede poseer características de comportamiento térmico diferentes y necesite del complemento de otro material para satisfacer una necesidad, por ejemplo. Por lo que implica la contabilización del carbono asociado a estos materiales complementarios o a gastos energéticos mayores durante las fases de ocupación del proyecto. Se resalta la importancia de una visualización general de todas las fases del ciclo de vida para el entendimiento del impacto global.

Tabla 02. Investigaciones Internacionales: Huella de Carbono de Producto/ Aplicación a un proyecto de construcción

Publicación	Definición de producto	Unidad Funcional	Consideraciones	Método de aplicación	Métodos y herramientas internacionales
[illegible]	La evaluación de la HC de materiales como el cemento, el acero para refuerzo y el concreto puede tener una gran influencia en la valoración del impacto ambiental de estos y de la construcción en general ya que son materiales de uso común.	Unidad funcional: m³ de concreto y kg de acero Unidad de construcción: varios tipos de paneles de pared prefabricados y el sistema convencional (marcos de concreto con mampostería de ladrillo y refuerzo de acero) con las especificaciones guiadas por las referencias consultadas	-Dimensionamiento no especificado en el proyecto estudiado -Estandarización del método constructivo (dimensiones de pared, los rangos para coordinar tamaños de cimiento, panel de pared y aperturas de ventana y puerta según metodologías consultadas -Los tipos de paneles de pared prefabricados -Uniformidad de cargas y de resistencia del concreto -Todos los pisos tienen la misma huella de carbono	Se desarrollo un modelo para establecer la línea de organización óptima con un número limitado de paneles de concreto de diferentes tipos establecidos. Se consideraron elementos de carga para asegurar una comparación adecuada. Se determinó la cantidad de concreto y acero para el sistema prefabricado y el convencional. Se calculo la hdc total de los sistemas a partir de la multiplicación de estos resultados y la hdc de las unidades funcionales. El resultado de la HDC del piso considerado se multiplicó por el número de pisos en el edificio.	- British Standard (BS 8110, 1985)
[illegible]	La industria de la construcción requiere de la extracción de gran cantidad de materia prima y por lo tanto tiene un gran consumo energético y emisiones asociadas a esto.	Unidad funcional: Las especificadas para cada uno de los materiales diferentes de la base de datos Unidad de construcción: las unidades de venta especificadas por los recibos.	No se tomaron consideraciones o suposiciones especiales ya que se tomaron datos directos de las entradas o "inputs" de un proyecto terminado. -No se consideran los espacios comunes en apartamentos colectivos ni las obras externas en otros tipos de construcciones ya que son muy específicas del sitio	La herramienta se probó en proyectos ya edificados a partir de las facturas obtenidas de la construcción de dichos proyectos en donde se especificaban las entradas de materiales que incluían desperdicio. Se utilizaron 14 estudios de caso de tipologías habitacionales típicas y con distintos grados de eficiencia para permitir una comparación a través de la huella de carbono.	-Hammond G. P. and Jones C. I. "Inventory of Carbon and Energy" (ICE), Beta Version V1.5
[illegible]	El sector construcción es uno de los mayores responsables en el consumo energético de India resultando en el mayor aporte de emisiones de CO_2. Minimizando el consumo de materiales convencionales por materiales alternativos puede aportar una reducción considerable.	Unidad funcional: unidad de ladrillo o bloque o m³ de material Unidad de construcción: sistemas típicos de construcción nacionales basados en referencias bibliográficas	-Separación de componentes estructurales y diseño de los sistemas constructivos *No se especifica la inclusión de los desperdicios asociados a cada sistema	Se calculó la energía embebida en los diferentes sistemas constructivos por m² de cada uno calculando la cantidad de material para un diseño típico del país o según las especificaciones de las referencias consultadas. Posteriormente se aplicaron estos resultados a 3 casos de estudio de proyectos completos, a excepción de las puertas y ventanas, y se calcularon los promedios de consumo energético por área por edificación típica.	-Se utilizan métodos locales
[illegible]	Se ha presentado gran interés por comparar la energía embebida a los materiales y la huella de carbono asociada a diferentes sistemas de construcción y materiales alternativos. Este estudio investiga el uso de un novedoso sistema modular de madera para analizar su contribución a la reducción de las emisiones de carbono.	Unidad funcional: la reportada por los manufactureros consultados (no se especifica) Unidad de construccion: kg totales de cada tipo de material en el estudio de caso	-El diseño de 3 escenarios diferentes de un mismo estudio de caso con variaciones en los sistemas constructivo -Se mantiene fuera del alcance la construcción de áreas de soporte o externas (calles, bodegas, etc.) y actividades asociadas a la administración (transporte de obreros, etc.) -Se excluyé en la contabilización los procesos de acabados -Los desperdicios de construcción se consideran a partir de referencias bibliográficas	Se investigó la energía embebida y la huella de carbono (craddle to site of construction) de los diferentes materiales asociados a un sistema de construcción modular de madera y dos sistemas tradicionales en su aplicación a un proyecto. Las dimensiones del proyecto fueron obtenidas a partir de planos arquitectónicos. Y se modelaron los escenarios para calcular las cantidades de material necesarias. A estos resultados se les aplicó directamente los factores de carbono equivalente y energía.	-ISO 14040
[illegible]	Como parte del creciente interés por considerar los impactos ambientales de las actividades constructivas, se realiza un estudio sobre los sistemas constructivos convencionales para muros en la vivienda de interés social en México, tomando como estudio de caso viviendas de la ciudad de Colima.	Unidad funcional: no se especifica Unidad de construcción: -Sistema a base de ladrillo de barro cocido -Sistema a base de tabicón sólido de cemento - Sistema a base de bloque hueco de cemento	-Las dimensiones de los sistemas al ser tan variadas, se determinaron las más utilizadas para el estudio. -No se consideran los refuerzos estructurales en acero ya que para los 3 sistemas son equivalentes, por lo que no afecta en su comparación.	Para seleccionar los sistemas constructivos de muros se recurrió a la base de datos de la Dirección General de Desarrollo Urbano del municipio de Colima, con el fin de conocer los materiales mayormente empleados. Los prototipos de vivienda se eligieron a partir de una previa selección de prototipos localizados en la ciudad de Colima con características lo más similares posibles para mantener igualdad de condiciones en todas las variables, dejando como único parámetro a modificar el tipo de muro. Todos los datos necesarios para los cálculos fueron tomados directamente a través de visitas y estudios de campo.	-Se utilizan métodos locales

En el estudio de los casos anteriores se observa que en la mayoría, los sistemas constructivos o materiales comparados entre sí, tienden a cumplir una misma función, ya sea con las características de cerramiento vertical, o como sistemas de acabados de piso. A la hora de comparar materiales o sistemas con distinta función, generalmente se realiza un estudio de caso de un proyecto completo equivalente para el estudio de cada uno, el cual se manipula con ajustes y substituciones variadas para visualizar el impacto de dichas acciones en la totalidad del proyecto.

En el único de los trabajos en el cual se comparan directamente los materiales de construcción, se realiza una aproximación multi-criterio que involucra un análisis FODA de factores ambientales, económicos, de las propiedades físicas del material, sus características y consideraciones constructivas, entre otros. También se consultan referencias bibliográficas que abarcan extensamente los abordajes comparativos de los materiales y sistemas de construcción.

Entre los factores de comparación mencionados con más frecuencia se encuentran la energía y carbono embebidos en la producción de los materiales, relación de costo por unidad de volumen, los porcentajes de CO_2 asociados a las fases del ciclo de vida de cada sistema, el grado de desperdicio y el potencial de reciclaje y los factores asociados a la hora de la construcción.

Investigaciones nacionales (enfoque general: huella de carbono)

Los autores Espíndola y Valderrama explican que en América Latina los esfuerzos por cuantificar la huella de carbono han sido pocos. Se han observado iniciativas especialmente en algunos productos de exportación, como estrategia preventiva a las posibles exigencias del mercado, pero no se ha encontrado una definición clara sobre el marco metodológico a utilizar ni bases de datos que especifiquen los factores de emisión y de conversión locales.

Debido a que ha sido un argumento poco trabajado en el país, se eligieron investigaciones bajo una perspectiva mucho más general, con el fin de visualizar que se ha dicho sobre el tema y cuáles han sido los alcances de dichas investigaciones.

Las investigaciones B y C consisten en trabajos no enfocados al

Tabla 03. Investigaciones Internacionales: Huella de Carb

Publicación	Categorías de Productos	Productos Com
INT. O "Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles"	1) Materiales de acabados de piso	Determinación por su economía Italiana: los azu (57% "monococida") y ma 23% y un 18% de la pri respectivamente (unidad de dichos productos).
INT. P "Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated ::cod instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport" Noruega	1) Materiales para estructura de cubierta	Interés en estudios substitución de prod requerimiento energétic basados en la madera: vigas de madera lamin (unidad: un proyecto en e funcional: 1 m2 de techo)
INT. Q "Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia" Australia (2013)	1) Sistemas constructivos de pared	La evaluación de la H como el cemento, el ace el concreto puede tener en la valoración del impa estos y de la construcci que son materiales de us
INT. R "Embodied energy of common and alternative building materials and technologies" India (2001)	1) Sistemas constructivos de pared (mampostería) 2) Sistemas constructivos de piso 3) Sistemas constructivos de techo	Se compara el uso convencionales con mate Aplicados en sistema típicos del país compues -materiales de mamposte -Materiales básicos: al acero, vidrio, etc.
INT. S "An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework" UK (2010)	1) Escenarios de un proyecto con variaciones en sus sistemas constructivos	Se estudian la energía materiales y la huella de a diferentes sistemas d materiales alternativos novedoso sistema mod en 3 escenarios distint proyecto (comparado co tradicionales).
INT. T "Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential" España (2010)	1) Sistemas constructivos de pared 2) Sistemas constructivos de piso 3) Sistemas constructivos de techo	La escogencia de ma contenido energético en altos niveles en las fase iniciales pero a su vez det a futuro en la fase de varios tipos de materiales LCA y bajo diferentes crit
INT. U Impacto Medioambiental de los Materiales de Construcción Escalante (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)	1) Materiales de construcción	El concreto es el comercializado en el eficiente en términos de económico que muchos Es importante conocer su impacto en el me cómo poder usarlo sustentabilidad.
INT V Huella de Carbono de Tres Sistemas Constructivos de Muro Usados en Viviendas de Interés Social (2013) Gómeza, Arvizu, Granados (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)	1) Sistemas constructivos de pared	Como parte del creci considerar los impactos las actividades construct estudio sobre los siste convencionales para mu de interés social en como estudio de caso ciudad de Colima.

Producto/ Comparación, escogencia y substitución de los materiales.

Objetivo y alcances	Categorías de factores de comparación	Factores de comparación	Método de comparación y visualización	Métodos y herramientas internacionales
El análisis de los impactos ambientales en el ciclo de vida de los azulejos de cerámica y mármol para establecer los puntos críticos de dichas fases del ciclo y llevar a cabo una comparación entre ambos.	1) Factores de impacto ambiental	Categorías presentadas por el "eco-indicator": -calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono -toxicidad humana y acuática -acidificación -nitrificación -creación de oxidante fotoquímico Otros: -Los diferentes GEI	Se realiza un gráfico comparativo en donde se comparan los resultados de las diferentes categorías de impacto de ambos productos (en porcentaje). Luego se suman los "puntajes" de ambos y se presentan en un gráfico para visualizar el resultado general. Luego se presentan los mismos resultados por la contribución de cada fase del ciclo de vida, y se presenta un gráfico con énfasis en los procesos productivos. En una tabla se comparan directamente las emisiones de cada GEI en total.	-El eco-indicator 95 y 99
Realizar un inventario de GEI (craddle to grave) y energía embebida durante el ciclo de vida de dichos productos, calcular los GEI evitados por la substitución de uno de los dos (por el otro) y su costo, y analizar cuales factores tienen la mayor influencia en los resultados.	1) Factores de impacto ambiental 2) Factores económicos	-Emisiones de GEI producidas durante el ciclo de vida (craddle to grave) en el escenario base (alcances y suposiciones) y otros escenarios. -El costo de los materiales -El costo de los impuestos por consumo de combustible -El desperdicio	Se comparan en una serie de tablas los resultados de GEI evitados por la substitución durante las diferentes fases del ciclo de vida y con base a diferentes escenarios (kg de CO_2 eq./m^2 de techo). En otra tabla se comparan los costos asociados a dicha substitución durante las mismas fases y escenarios. Luego, el costo máximo de substitución si el precio por tonelada evitada de GEI = precio impuesto de CO_2 en la gasolina). Se compara finalmente la cantidad de GHG evitados debido a la substitución por m^3 de consumo de madera aserrada con el fin de observar si los patrones anteriores se mantienen.	-No se mencionan
Contabilización de las emisiones de GEI del sistema de paredes prefabricadas de concreto (cemento, agregados, agua y acero) con un enfoque de la cuna al sitio de construcción. Luego se compara con el sistema convencional de construcción de paredes en el caso de un proyecto típico de vivienda.	1) Factores de impacto ambiental 2)Diseño o composición del sistema 3)Fases del ciclo de vida	-Emisiones de GEI producidas durante el ciclo de vida (cuna al sitio de construcción) - Aporte por parte o componente del sistema -Aporte de las emisiones de cada fase del ciclo de vida	Los resultados de la HDC de los sistemas se evaluaron en un mismo escenario (cargas uniformes e iguales, misma resistencia del concreto, etc.) Consideran elementos de carga para asegurar una comparación adecuada. Se analizan los porcentajes de reducción de GEI en la HDC de los sistemas debido a la substitución a través del resultado final.	-No se mencionan.
Contabilización de la energía embebida en los materiales (convencionales y alternativos) asociada a un ciclo de vida "craddle to site (of construction)" , para el estudio de su aplicación en diferentes casos y la identificación de puntos de ahorro de energía.	1) Factores de impacto ambiental	-Energía embebida a los materiales a lo largo del ciclo de vida (cuna al sitio de construcción)	Los resultados asociados a la energía embebida en los materiales se aplicaron a distintos sistemas constructivos típicos del país y luego estos se aplicaron a varios estudios de caso de proyectos típicos de edificaciones con el fin de calcular promedios de por metro cuadrado de energía embebida a los diferentes tipos de construcciones. Luego se compararon estos promedios directamente entre ellos y se discutieron los posibles puntos de ahorro.	-Se utilizan métodos locales
Cuantificar la energía y el carbono embebidos en el uso del sistema constructivo "MMC" con el fin de realizar una comparación con modelos tradicionales de construcción y calcular los potenciales ahorros nacionales de carbono a través de la expansión de dicho sistema.	1) Factores de impacto ambiental 2) Propiedades físicas del material 3)Factores asociados a la construcción del sistema 4)Fases del ciclo de vida	-La huella de carbono asociada a un ciclo de vida "craddle to construction" de una vivienda específica. - Efectos colaterales debido a comportamiento estructural de los sistemas que afectan la huella de carbono total -Desperdicios en construcción -La huella asociada a la manufactura de los materiales de los sistemas	Luego de calculados los resultados de carbono equivalente totales para cada material del estudio de caso, a partir de los 3 escenarios planteados, se calcularon los porcentajes de diferencia de la huella de carbono total para cada uno. Visto a que la casa estudiada es equivalente para los tres escenarios, este resultado se compara directamente. Se realizo una discusión FODA de los casos en estudio. Se constata que la madera crea un sistema más liviano y permite la reducción de materiales con alta HDC en las fundaciones de la casa.	-No se mencionan.
Realizar un estudio LCA para comparar los resultados de los materiales de uso común con materiales ecológicos utilizando tres categorías de impacto con el fin de profundizar en el entendimiento del desempeño ambiental de los materiales y ayudar en la elección de los mismos durante la fase de diseño.	1) Factores de impacto ambiental 2) Propiedades físicas del material	-densidad -conductividad térmica -demanda energética primaria -potencial de calentamiento global -demanda de agua *Los resultados se muestran para un kg de material	Se considera que metodologías que buscan generar un puntaje según criterios ecológicos como el "Eco-indicator 99" pueden ser subjetivas. Se realiza una aproximación multi-criterio de los materiales y se muestra en tablas las diferentes características del material, considerando sus propiedades físicas ya que estos se utilizan para cumplir con una necesidad y comportarse de forma determinada. Se considera que las propiedades se compensan cuando un elemento posee la misma función o no existe diferencia significativa entre los materiales.	-ISO 14040 e ISO 14044 -IPPC 2007 -Ecoinvent v2.0 database -SimaPro v7.1.8.
Estudiar los impactos ambientales de diversos materiales, para comparar y evaluar las ventajas y desventajas en el uso del concreto y los cementos alternativos.	1) Factores de impacto ambiental 2) Propiedades físicas del material	-energía y carbono embebidos en la producción de los materiales -relación de costo por unidad de volumen -ventajas constructivas -grado de reciclaje -resistencia (mPa)	Se procede a realizar una serie de gráficos y tablas en donde se presentan los diferentes tipos de criterios de comparación y evaluación de los distintos materiales con el fin de estudiar de forma objetiva las ventajas y desventajas del uso de los materiales mencionados. Se calculan y se presentan en dichas tablas coeficientes que exponen relaciones como el costo por unidad entre la resistencia de los materiales con el fin de generar valores numéricos que permitan efectuar comparaciones.	-Se utilizan métodos locales
Dimensionar y evaluar los impactos ambientales asociados a procedimientos y materiales en la edificación de muros para la vivienda de interés social para generar recomendaciones, acerca de la huella de carbono de cada sistema constructivo para la toma de decisiones en el diseño.	1) Factores de impacto ambiental 2) Factores económicos 3)Factores asociados a la construcción del sistema 4) Propiedades físicas del material	-porcentaje de CO2 asociado a las fases del ciclo de vida -porcentaje de CO2 asociado a los componentes de cada sistema -porcentaje de CO2 asociados a las fases del ciclo de vida de cada sistema	Se realizan pruebas de laboratorio para evaluar el desempeño térmico de cada sistema y calcularlas emisiones asociadas a las fases de ocupación de la vivienda. Se realizan una serie de gráficos en los cuales se comparan los factores especificados. Finalmente, se realizaron conclusiones y recomendaciones de diseño comparando de forma general los resultados obtenidos.	- ISO 14040 y 14044 - Ecoinvent -Software Stare System y SimaPro 7

aporte de la industria de la construcción sino en la evaluación del comportamiento y de las actividades de edificios e instituciones existentes. Mientras que la investigación A es un trabajo relacionado con el cálculo de la huella de carbono de productos, sin embargo, debido a la naturaleza del producto estudiado, esta investigación difiere enormemente en los procedimientos de cálculo y los factores metodológicos a considerar.

La investigación E es el único trabajo que muestra temáticas específicamente relacionadas con la presente investigación en el marco de la industria de la construcción y la huella de carbono asociada a materiales de construcción.

El autor menciona que "aunque se han hecho investigaciones en este tema aun no existe una guía que calcule, de manera aproximada, la cantidad de CO2e generado en la construcción de una obra civil, específicamente para Costa Rica, considerando condiciones climáticas, de transporte y de materiales utilizados". Entonces, se dedica a investigar y a realizar el cálculo de la huella de carbono generada por las actividades necesarias para la construcción de una nueva delegación policial en León XIII. Para cumplir con esta tarea, considera actividades como el transporte de mano de obra y desechos sólidos, la manufactura de materiales, el consumo de electricidad y de combustibles fósiles; todo determinado a partir de los términos y especificaciones de los planos constructivos del proyecto de dicha delegación. Así, se estipula la cantidad de emisiones producidas por cada actividad y se analiza el escenario y las compensaciones de un posible ente competente.

Basó su proyecto bajo la normativa ISO 14064 y GHG protocol. Asimismo especifica que el cálculo de la huella de carbono se realizó de manera indirecta (datos y factores de emisión) ya que no se contaban con actividades controladas para medición directa (con instrumentación) en el caso de la construcción.

Utilizó los factores de emisión del CNPE (Centro Nacional de Planificación Eléctrica) y el ENCC (Estrategia Nacional de Cambio Climático) para los datos de consumo de electricidad o algunos derivados del petróleo como gasolina, diesel, bunker y LPG. Del IMN tomó los datos sobre la producción de cemento, cal y vidrio. Holcim proporcionó los factores de emisión del clinker y el cemento. Arcelor Mittal ayudó con datos sobre el consumo necesario para producir acero (bunker, electricidad y diesel). Para el transporte de materiales consultó los datos de la Agencia del Medio Ambiente del Reino Unido y del organismo internacional Departamento de Asuntos de Medio Ambiente, Alimentación y Desarrollo Rural. Para otros materiales como agregados, ladrillos, madera, cobre, aluminio, polietileno, PVC, pintura, acero general, etc., consultó también los datos de estas organizaciones.

La investigación presente difiere en múltiples aspectos de este trabajo anteriormente citado, desde el planteamiento y objetivos de investigación, hasta los elementos metodológicos, la finalidad y la aplicación de los resultados:

-El lineamiento inicial de investigación corresponde al abordaje de la huella de carbono embebida en los materiales de construcción correspondiente a su fabricación, obtenida de datos de carácter primario brindados por empresas nacionales; con un enfoque "craddle to gate".

-La metodología principal de cálculo corresponde a la guía PAS 2050

-La aplicación de estos resultados busca guiar al profesional responsable en la escogencia de un material, en términos de implicaciones ambientales, para casos de estudio a futuro

-Se plantea la conceptualización de una herramienta de software que permita la inclusión de los resultados de la huella de carbono a un modelo tridimensional que despliegue una propuesta de diseño y los resultados totales de su impacto ambiental asociado a las emisiones de carbono equivalente, con el fin de generar una interface que permita a tiempo real, la inclusión de dicho factor en la toma de decisiones en cuanto a la elección de materiales

Tabla 04. Investigaciones nacionales / Enfoque general: huella de carbono

Título, fecha y autor	Tipo de investigación	Objetivo de investigación	Esquema de investigación	Obtención de datos principales	Métodos, guías, referencias y bases de datos
NAC. A Huella de Carbono en Cadenas Productivas de Café (coffea arabica L.) con Diferentes Estándares de Certificación en Costa Rica (Luna Azul; ISSN 1909-2474, 2012) Milena A. Segura Hernán J. Andrade (Universidad de Caldas, Colombia)	Producto	Estudiar el impacto en la producción de café con diferentes estándares de certificación sobre la huella de carbono en Costa Rica.	Se seleccionaron los estudios de caso con base a los diferentes sistemas de producción y de certificación. La cadena de producción de café se dividió en dos actividades principales: a nivel de finca y el procesamiento. Primero se realizó la estimación del almacenamiento de carbono de las plantas y las tasas de fijación en los sistemas de producción. Luego se estimaron las emisiones de GEI en el manejo de fincas y en el procesamiento de café.	Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se estimaron en nueve fincas y ocho empresas procesadoras del grano, tomando mediciones y datos específicos de dichas fuentes. Se realizaron entrevistas para hacer una reconstrucción de las actividades de manejo de cada sistema. En el caso de encontrar vacíos de información o contradicciones, se procedió a consultar a expertos en el tema. Se emplearon factores de emisión recomendados por el IPCC.	- IPCC -IMN y CATIE -Albrecht, A. & Kandji S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. -Andrade, H. J.; Marín, L. M.; Pachón, D. P. & Segura, M. A. Fijación de carbono en sistemas de producción de café (Coffea arabica L.) en el Líbano, Colombia.
NAC. B Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Tesis de posgrado, 2007) Leonardo Guerra Marcón (CATIE, Turrialba, C.R.)	Organización	Realizar una investigación sobre la construcción de la huella de carbono con el fin estudiar la HDC del CATIE y proponer lineamientos sistémicos para una estrategia hacia la carbono neutralidad.	Se comenzó por realizar una revisión extensiva sobre la literatura asociada a estos conceptos. Se determinó una lista de actividades que se consideran para la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero para un periodo de tiempo determinado. Se calculó la huella de carbono del CATIE con base a las referencias consultadas. Finalmente se generó un balance de los resultados y se establecieron los lineamientos para alcanzar la neutralidad de carbono del centro.	Los datos fueron directamente proporcionados por el centro CATIE y analizados a través de las guías y los factores recomendados por el IPCC.	- IPCC, Carbon Trust -"Atmosfair emissions calculator" (www.atmosfair.de) -Dménech, J. Sf. Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa. Centro argentino de estudios internacionales. Gijon. Argentina.
NAC. C La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 2012) Maureen Arguedas-Marín	Organización	Calcular las emisiones de las sedes del TEC con el fin de concluir en estrategias para mitigar sus emisiones (estimar preliminarmente el área requerida a ser reforestada para compensar estas emisiones por fijación de carbono equivalente) y convertirse en una institución de educación carbono neutral.	Se procedió a calcular las emisiones de GEI según las siguientes categorías: Fermentación entérica, gestión del estiércol, flotilla vehicular, viajes aéreos, gas LP institucional, planta de matanza, gasolina/diesel institucional y electricidad. Luego se proyectaron las emisiones para el periodo 2011-2021 y se calcularon las áreas a reforestar según tipos de especie para la compensación delas emisiones.	Los datos fueron directamente proporcionados por el TEC. Las fórmulas aplicadas, así como los factores de emisión seleccionados, fueron tomados de los lineamientos del IPCC (2006).	-IPCC -Cubero, J.; Rojas, S.; 1999. Fijación de carbono en plantaciones de Gmelina arborea, Tectona grandis y Bombacopsis quinata en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Heredia (Costa Rica) -Fernández, S. 2010. Infraestructura del Instituto Tecnológico de Costa Rica (entrevista).
NAC. D "Calculadora huella de carbono para edificaciones o viviendas" Ing. Ilana Campos Arq. Hubert Méndez e Ing. Manuel Salas (ICCYC / Afiliados Fudeu)	Metodología	Buscando disminuir la huella de carbono del sector construcción, se desarrolla la conceptualización de una calculadora de huella de carbono "on-line", para arquitectos, ingenieros, fabricantes de productos, contratistas, administradores de edificios y otros grupos para idear una estrategia de diseño rentable y ambientalmente sostenible.	Se desarrolló un marco de referencia para especificar la huella de carbono, (directa e indirecta), de los proyectos de construcción a través de un examen detallado del ciclo de vida del proyecto. Luego se realizó el diseño conceptual de la herramienta esquematizando todas las entradas y salidas que participan en la contabilización de la HDC a lo largo de dichas etapas.	Como se plantea en esta publicación únicamente la conceptualización de la herramienta, los datos se obtienen a partir de la consulta de investigaciones y metodologías internacionales consultadas. En cada parte de la conceptualización se indica cuales instituciones participan en la entrega de datos u otras fuentes que se considerarán.	-PAS 2050 -INTE 06-06-01-08, "Norma nacional de nomenclatura y codificación de productos, materiales y procesos de la construcción – Master Format".
NAC. E "Huella de carbono para la construcción de una nueva delegación policial en León XIII" (Tesis de licenciatura, 2012) Juan Pablo Castro Alpízar Universidad de Costa Rica	Producto	Investigar y realizar el cálculo de la huella de carbono generada por las actividades necesarias para la construcción de la nueva delegación policial en León XIII.	Se inició con el estudio de documentos relacionados con el tema de cálculo de la HDC, nacionales e internacionales. Luego procedió a realizar una programación de la construcción donde recolectaría información sobre los materiales y actividades a realizar para determinar los aportes a la HDC del proyecto. Finalmente, se estipula la cantidad de emisiones producidas por cada actividad y se analiza el escenario y las compensaciones de un posible ente competente.	Para la obtención de datos del proyecto realizó entrevistas con empresas de diseño de planos constructivos. El cálculo de la huella de carbono se realizo de manera indirecta (datos y factores de emisión recolectados de referencias bibliográficas) ya que no se contaban con actividades controladas para medición directa (con instrumentación) en el caso de la construcción.	-ISO 14064[illegible] - GHG protocol - CNPE (Centro Nacional de Planificación Eléctrica) -ENCC (Estrategia Nacional de Cambio Climático -IMN, Holcim, Arcelor Mittal -DEFRA

Alcances

Debido a que la presente investigación no tiene precedentes en el contexto nacional de la industria de producción de materiales de construcción, se pretende sembrar una base para futuras investigaciones en el tema, que permitan a los profesionales en el área de la construcción seguir visibilizando los procesos detrás de uno de los mercados con mayor impacto en el medio ambiente.

Para cumplir con esta meta se tienen tres principales alcances que marcan los límites del estudio a realizar. En primer lugar la adaptación de una herramienta metodológica a partir de los distintos estándares y metodologías internacionales disponibles. Tomando los aspectos más útiles y relevantes para la industria de la producción de materiales de construcción a nivel nacional se pretende hacer un cálculo del factor de emisión de CO_2e de los materiales seleccionados. Es importante mencionar, que dichos cálculos serán para producto y no para organización, y se definen dentro de los parámetros del alcance "de la cuna a la puerta", terminología que se profundiza posteriormente en la definición de conceptos del marco teórico.

El segundo alcance consiste en la traducción de dichos resultados, toneladas de CO_2e por tonelada de material analizado, a términos de la industria de la construcción. Esto implica definir la cantidad de CO_2e que queda embebido en las unidades más representativas que se manejan en el mercado constructivo a nivel nacional. La idea es que al presupuestar dichos elementos en términos de carbono, se pueda calcular más fácilmente las emisiones de un proyecto en las fases de diseño.

Finalmente, el tercer alcance está más relacionado con el profesional en materia de diseño. Debido a la naturaleza del proceso de creación, llega a ser muy complejo el cálculo de emisiones en tiempo real. Por lo que se sientan las bases de información necesaria para el futuro desarrollo de un software auxiliar de diseño, que pueda mostrar al arquitecto las emisiones embebidas de CO_2e de los materiales que utiliza, y que el diseñador pueda tomar decisiones más inmediatas en cuanto a la modificación de los materiales que utiliza en el producto que está creando.

Se parte de la premisa que la arquitectura pensada para construirse no consiste en un ejercicio meramente estético y funcional, sino que está estrechamente ligado a una serie de condicionantes técnicas que incluyen las abarcadas en la presente investigación. El objetivo del estudio y de estos alcances es poner al diseñador en contacto con los procesos de producción y con las emisiones asociadas a los materiales, que por lo general no son evidentes a simple vista; de forma que pueda considerar estos datos técnicos y los resultados de futuras investigaciones en el quehacer diario, y por ende se logre mayor conciencia de cómo llega a impactar al ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Estimar el factor de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) para materiales de construcción en la industria costarricense, con el fin de establecer parámetros acordes a la realidad nacional

Objetivos específicos

Realizar un estudio de metodologías relacionadas con la obtención de factor de emisión, para seleccionar la más pertinente a la investigación.

Definir los materiales de estudio de la presente investigación, para que esta refleje la situación actual del sector construcción en el contexto nacional.

Calcular los factores de emisión de los materiales seleccionados, para evaluar el impacto en emisiones GEI de los procesos necesarios para obtener el producto.

Asignar las emisiones GEI equivalentes al producto en el mercado costarricense de cada material analizado, para facilitar la visualización de la huella de carbono de las unidades constructivas más comunes en el país.

Capítulo II

- Marco Teórico

Cambio climático

Para entender este fenómeno es necesario comprender cómo se comportan los rayos solares que llegan al planeta Tierra. Como explica Barros (2005) en su libro El cambio climático global, la energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética proveniente del Sol es en parte reflejada hacia el espacio exterior por superficies sólida o líquida (cuerpos de agua), las nubes y la propia atmósfera; y otra parte, la mayoría, es retenida en el planeta, ya que la atmósfera, que es transparente a la radiación solar, no lo es a la radiación terrestre.

El agua, el dióxido de carbono, el metano, y el óxido nitroso son componentes naturales de la atmósfera. Estos gases tienen la propiedad de absorber parte de la radiación que sale por la ventana de radiación. De modo que, cuando su concentración aumenta, la radiación saliente al espacio exterior es menor, y por lo tanto, la temperatura que adquiere el planeta aumenta.

Este proceso, se ha dado de forma natural por millones de años sin embargo la acelerada actividad industrial de los últimos siglos lo han vuelto una amenaza para la vida humana. Según Rockstrom, Sachs, Ochman y Schmidt-Traub (2013) en su ensayo de investigación científica Sustainable Development and Planetary Boundaries, el planeta cuenta con una serie de límites en distintos ejes que no pueden ser excedidos sin causar grandes consecuencias que ponen en riesgo la vida moderna. En los gráficos 09 y 10 se observa como los ámbitos de pérdida de biodiversidad, cambio climático y la interferencia humana con el ciclo del nitrógeno, han excedido los límites de la zona segura representada en verde.

La concentración de GEI en la atmósfera ha sufrido un gran aumento desde el inicio de la revolución industrial. Para el año 2012 el nivel de CO_2 en la atmósfera era 40% mayor que en el siglo XIX pasando de 280ppm a 430ppm. Las emisiones han tenido un porcentaje de crecimiento anual de un 2,5% anual desde 1950 y se espera que sin un cambio en el modelo de desarrollo actual se alcance 550ppm CO2e para 2035, pasando a un crecimiento anual de 4,5% por año y en constante aceleración.

Nicholas Stern (2007) en su publicación The Economics of climate Change, califica el fenómeno como una crisis con un impacto persistente a largo plazo cuyas consecuencias se vuelven exponenciales con el paso del tiempo. Según Stern (2007) si se continua con un modelo de crecimiento y desarrollo actual (en inglés Bussiness as Usual) la temperatura de la Tierra podría aumentar hasta 5° centígrados para finales del siglo XXI.

Gran parte de esta problemática se debe a que la generación de los GEI está estrechamente relacionada con el crecimiento económico mundial; por lo que se ha vuelto una ardua tarea la mitigación de dichos efectos. Históricamente América del Norte y Europa han producido alrededor-r del 70% de las emisiones de GEI desde 1850 (Rockstrom et all, 2013); sin embargo el crecimiento de los países en vías de desarrollo desata una discusión en torno a las expectativas de emisiones consecuencia de la equiparación en el ritmo y estilo de vida con los países desarrollados.

De los grandes temas de discusión es la producción de energía, la cual depende en gran medida de combustibles fósiles, principales generadores de gases de efecto invernadero. Consecuentemente las industrias y el transporte de materias contribuyen en conjunto en gran medida con la huella carbono mundial.

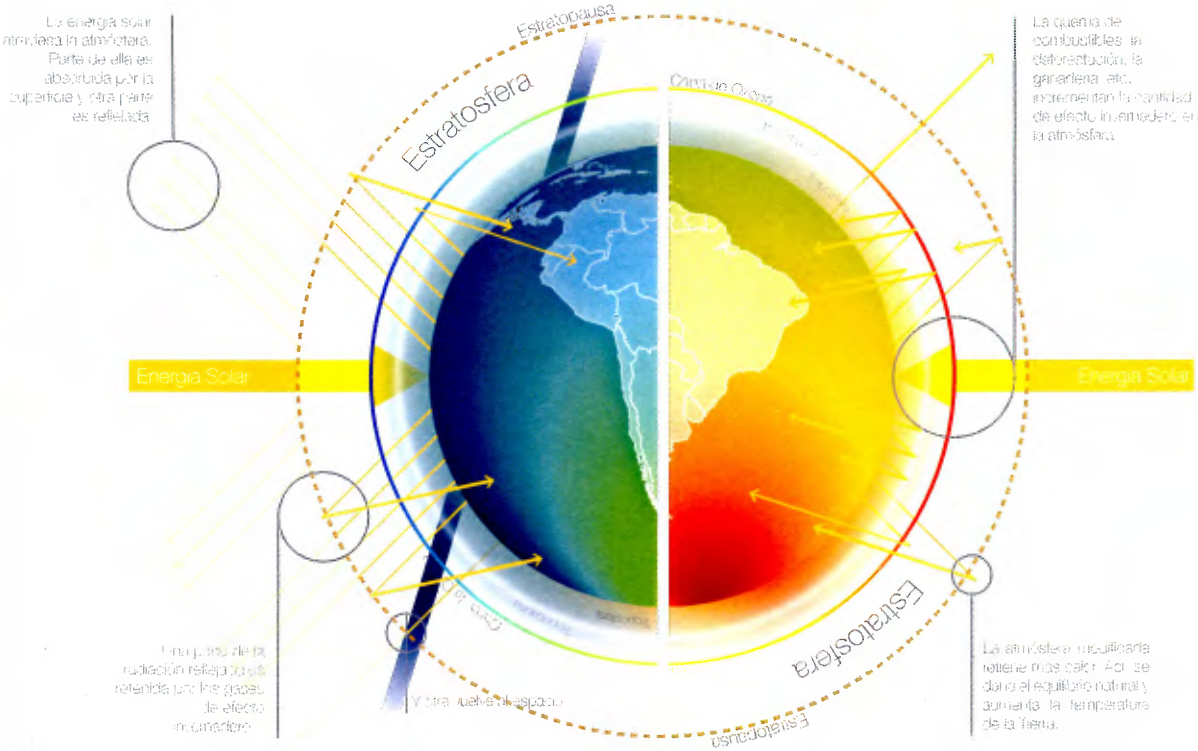
Una forma de manejar la incertidumbre del futuro, es por medio de la visualización de escenarios, para los cuales se utiliza la relación directa entre los aspectos del desarrollo socioeconómico y las emisiones GEI producto del mismo. En el gráfico 12, se observa como la variación en el clima afecta aspectos diversos como la obtención de materias primas, el uso de suelo, el nivel

El Efecto Invernadero

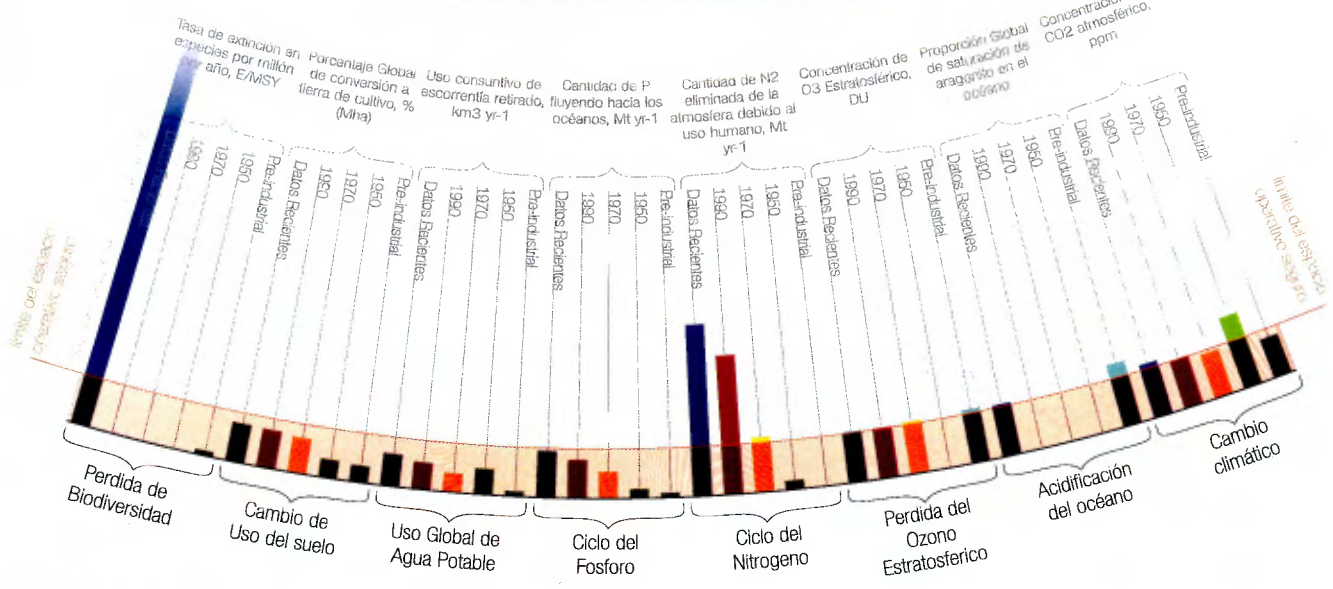
Es el calentamiento natural de la Tierra. Los gases de efecto invernadero, presentes en la atmósfera, retienen parte del calor del Sol y mantienen una temperatura apta para la vida.

Calentamiento Global

Es el incremento a largo plazo de la temperatura promedio de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades del hombre.

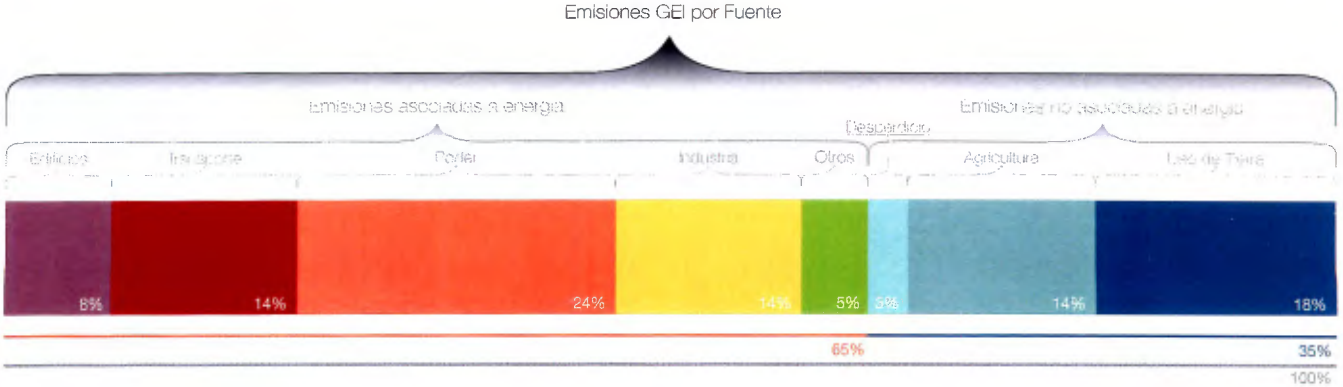


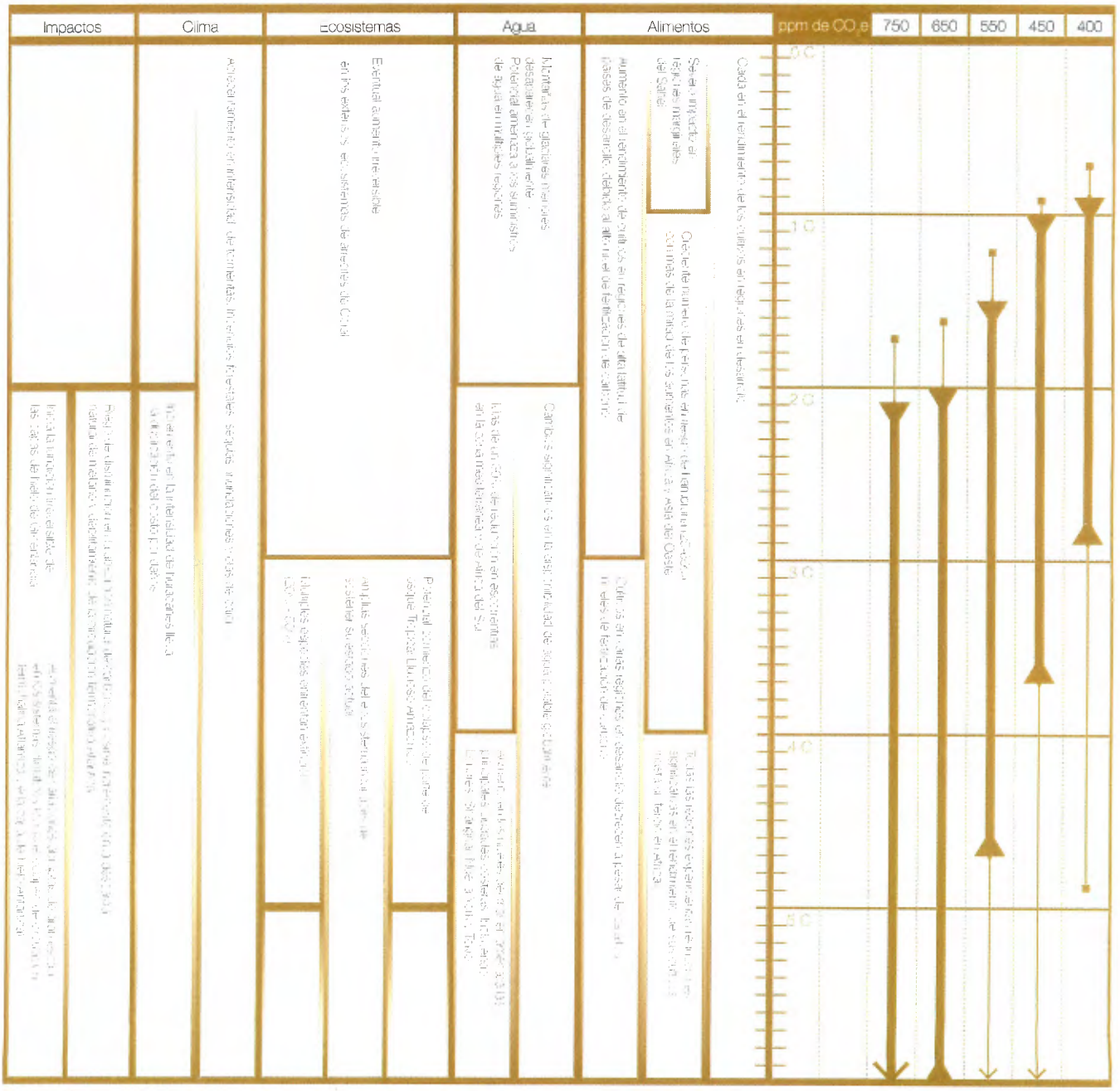
Limites Operativos



Creado por Fuente Especial, Basado en: Exploring the Safe Operating Space for Humanity

Traducción y adaptación al español por Fuente: http://www.concienciaeco.com/2010/04/08/que-es-el-efecto-invernadero/


Emisiones GEI por Fuente
Emisiones asociadas a energía
Emisiones no asociadas a energía
Desperdicios
Edificios
Transporte
Poder
Industria
Otros
Agricultura
Uso de Tierra
8%
14%
24%
14%
5%
3%
14%
18%
65%
35%
100%


Impactos
Clima
Ecosistemas
Agua
Alimentos
ppm de CO2e
750
650
550
450
400
0 C
1 C
2 C
3 C
4 C
5 C

de los mares y la habitabilidad de distintas regiones del mundo.

Sin embargo la innegable relación no implica una situación sin salida. Las políticas aplicadas por los gobiernos y mercados pueden llevar a generar cambios sin detener por completo el desarrollo económico global. La adquisición de responsabilidad de acciones por parte de las diferentes industrias y mercados así como una transparencia en sus actividades puede tener un impacto positivo en la estabilización climática.

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

El IPCC define los GEI en el apartado de Glosario de su publicación Cambio Climático 2001: Grupo de Trabajo I – Las bases científicas, como los gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes; propiedad que causa el efecto invernadero. Los principales GEI son :

- El vapor de agua, el más abundante y funciona como un gas que actúa en retroalimentación con el clima, a mayor temperatura de la atmósfera, más vapor, más nubes y más precipitaciones.

- El dióxido de carbono (CO_2, se libera en procesos naturales como la respiración y en erupciones volcánicas y a través de actividades humanas como la deforestación, cambio en el uso de suelos y la quema de combustibles fósiles.

- El metano, un gas hidrocarburo que tiene origen natural y resultado de actividades humanas, que incluyen la descomposición de rellenos sanitarios, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo de desechos de ganado y animales de producción. Es un gas más activo que el dióxido de carbono, aunque menos abundante.

- El óxido nitroso se produce principalmente a través del uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la quema de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa.

- Los clorofluorocarbones (CFCs) son compuestos sintéticos de origen industrial que fueron utilizados en varias aplicaciones (propelentes de aerosoles, refrigeración, espumas), ahora ampliamente regulados en su producción y liberación a la atmósfera para evitar la destrucción de la capa de ozono.

Huella de Carbono (HC)

El concepto de Huella de Carbono nace como un subconjunto del concepto de Huella Ecológica (HE); esta última es "el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida."

La HE se mide en hectáreas globales por persona. Según la página de internet del MINAE (ww.minae.go.cr/index.php/actualidad/anuncios/38-campana-limpia-tu-huella; consultada en enero 2015) en Costa Rica cada habitante necesita cerca de 1,8 hectáreas globales para mantener el nivel de consumo, pero el país solo puede ofrecer cerca de 1,6 hectáreas globales. Esto quiere decir que el costarricense promedio consume y contamina un 12% más de lo que el país le permite.

La huella de carbono mide la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto (Ihobe, 2009). La HC se mide en masa de CO_2 equivalente. Dicho término se debe a que se toman en cuenta todos los GEI, y se convierten los resultados individuales de cada gas a su equivalencia en CO_2; debido a que es la partícula con menor capacidad para atrapar los rayos infrarrojos.

Para los alcances de la presente investigación, es de suma importancia marcar claramente la diferencia entre una HC de Organización y una HC de producto

HC de Organización: Se genera un inventario de las emisiones de GEI de una organización a lo largo de un año o periodo determinado. Estándares más utilizados: GHG Protocol e ISO 14064-1:2012

HC de Producto Se analizan todas las emisiones de GEI realizadas durante el Ciclo de Vida del producto o servicio Estándares más utilizados: PAS 2050:2011, ISO/TS 14067:2013 (con el apoyo de ISO 14040 e ISO 14044)

En las organizaciones se diferencian tres tipos de emisiones y los Inventarios de Emisiones de GEI deben contener como mínimo las emisiones de Alcance 1 y Alcance 2.

- Alcance 1 (Emisiones Directas): los GEI emitidos de forma directa por la organización. Pueden ser por el uso de combustibles fósiles en maquinaria o vehículos propios de la organización, por pérdidas de gases refrigerantes, o por reacciones químicas durante los procesos productivos de la organización.

- Alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía): los GEI emitidos por el productor de la energía requerida por la organización.

- Alcance 3 (Otras Emisiones Indirectas): Son las atribuibles a los productos y servicios adquiridos por la organización, que a su vez habrán generado emisiones previamente para ser producidos.

Dentro del Inventario de Emisiones de una organización también se deben contabilizar por separado las absorciones de CO_2 si se deben directamente a la actividad de la organización. La compensación de emisiones no es una absorción de CO_2, por lo que no se incluyen dentro del inventario, sino que se realiza un informe aparte.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Es una herramienta metodológica que "se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos." (ver gráfico 13)

Se distinguen cuatro fases en un estudio de ACV:

- 1-Definición de Objetivos y Alcance.
- 2- Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).
- 3- Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).
- 4- Interpretación.

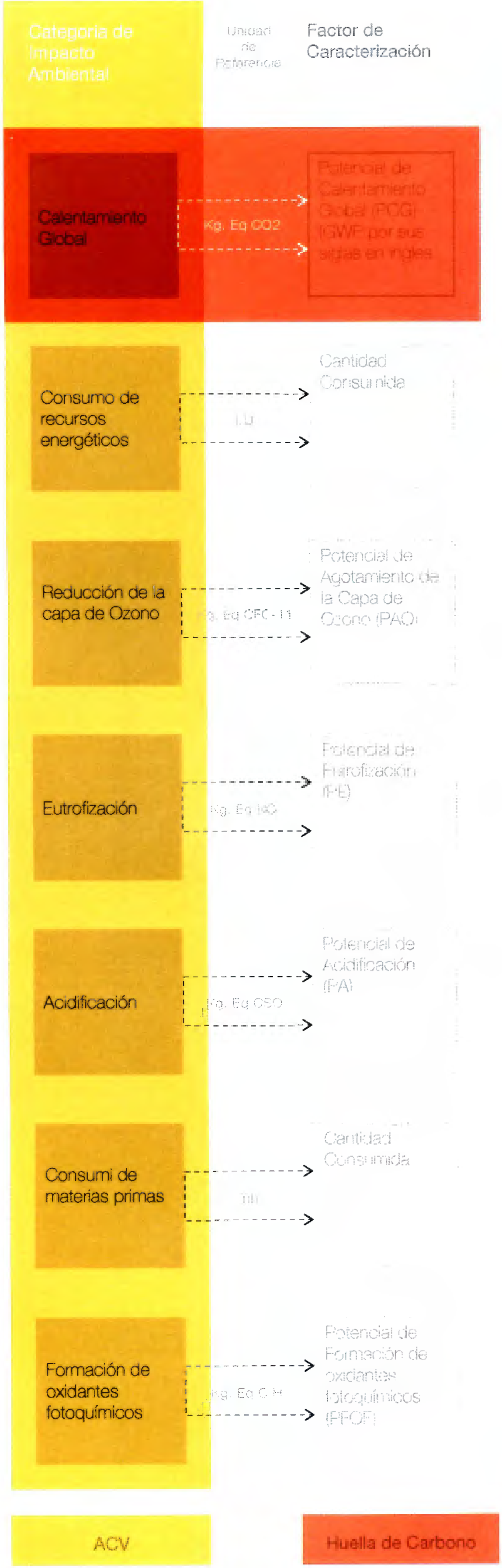
Las entradas (inputs) son los recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc; necesarios para cada proceso o fase del sistema. Y las salidas (outputs) obedecen a las emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se obtienen en cada proceso o fase del sistema.

Dependiendo del rango de entradas/salidas que contemple el ACV, puede tener diferentes alcances. (ver gráfco 14)

- "De la cuna a la tumba": Incluye la extracción de materias primas y el procesado de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto y finalmente su reciclaje y/o la gestión final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades intermedias entre las fases del ciclo de vida también se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente.

- "De la cuna a la puerta": El alcance del sistema se limita desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el marcado, a la salida de la planta de fabricación.

- "De la puerta a la puerta": Sólo se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema productivo (procesos de fabricación).



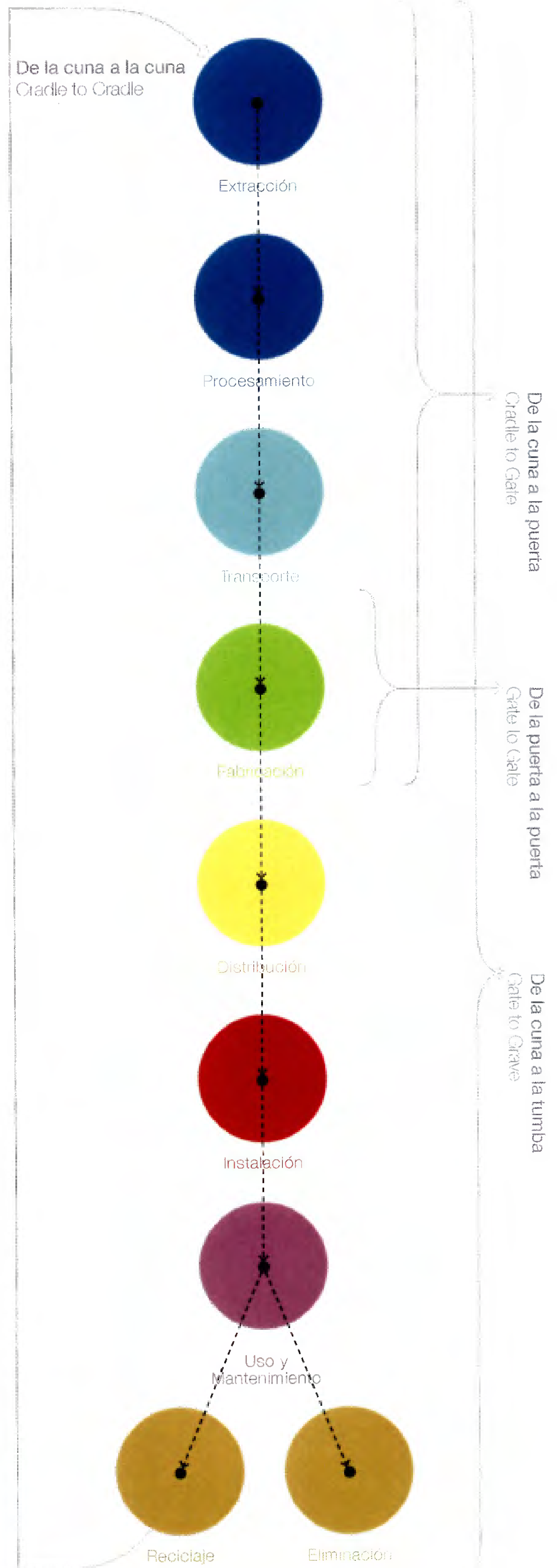


Gráfico 13. Comparación de categorías de impacto ambiental que considera el ACV y la HC. Fuente: Inhobe (2009) Análisis del ciclo de vida y Huella de Carbono.
Gráfico 14. Tipos de alcances que se pueden tener en ACV. Fuente: Ihobe (2009) Análisis del ciclo de vida y Huella de Carbono.

Capítulo III

- Metodología

Metodología

Fases de la metodología general de la investigación

El presente documento se encuentra estructurado en cuatro secciones con sus respectivos capítulos, que representan las etapas de la investigación determinadas por los objetivos del proyecto.

Como se observa en el gráfico 15, en la primera sección se desarrolla una base referencial-técnica para facilitar la lectura del documento, en la segunda se presentan los criterios utilizados para seleccionar materiales de estudio, la sección tres presenta el proceso llevado con las empresas junto con el cálculo de los factores de emisión de los materiales y finalmente, la cuarta sección reúne los factores de emisión calculados y los adapta al quehacer arquitectónico.

Fase Metodológica 1: Definición de metodologías de cálculo

Al ser una investigación que implica cálculos, cuyos resultados puedan ser utilizados como referencia para aplicaciones posteriores, se hace necesario consultar cuáles metodologías son reconocidas internacionalmente. Por el desarrollo que tiene el tema actualmente, existen una gran cantidad y variedad de propuestas para el cálculo de factores de emisión, con diferentes niveles de granularidad.

El hecho de que el presente trabajo se enfoque en factores de emisión por producto, delimita el campo de investigación; pues relaciona el tema directamente con el ciclo de vida. Por lo tanto se consultaron:

-" LIFE CYCLE ASSESMENT ISO 14000" (LCA)
-"PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services" (PAS 2050)
-"GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard" (GHG Protocol)

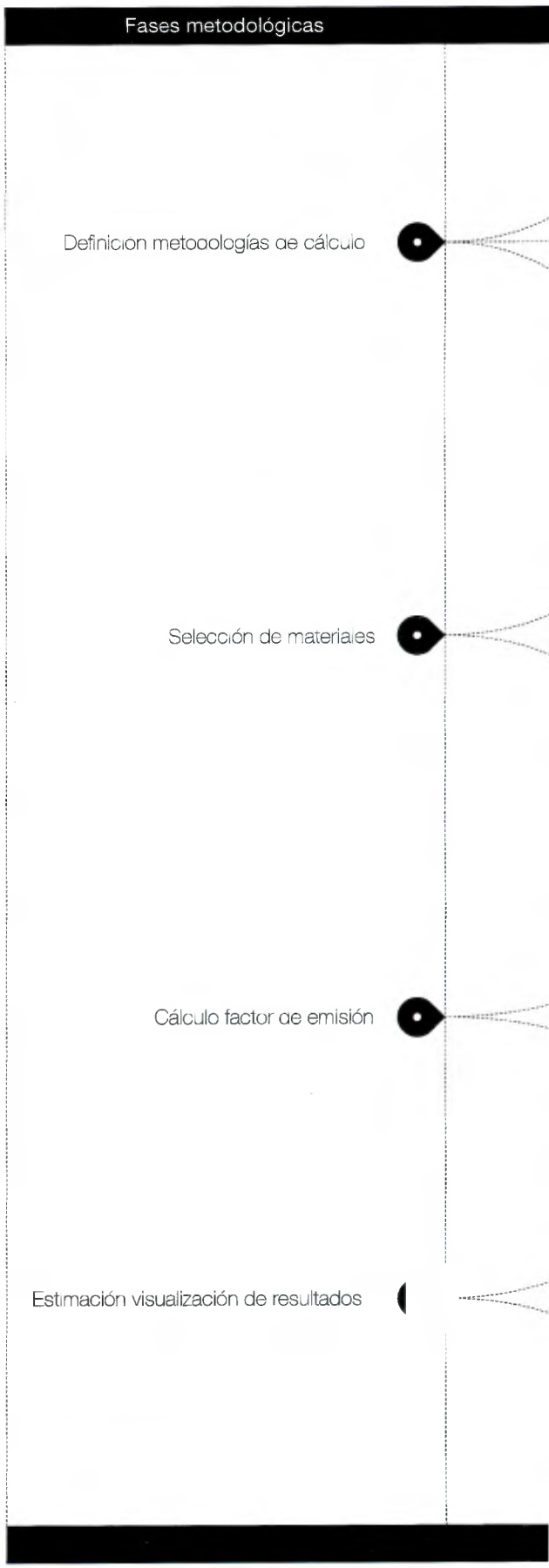


Gráfico 15. Diagramación metodológica. Elaboración propia.

A pesar de la gran variedad de alcances de los ISO 14 000, se incluyen en el análisis por ser la base para el desarrollo de las otras metodologías. El PAS 2050 y el GHG Protocol, al reunir características comunes en su estructuración, se convierten en una guía de cálculo conjunta para organizar la información en esta investigación. Por ejemplo, establecen lineamientos sobre cuáles datos deben ser recopilados, cómo deben analizarse durante el proceso de cálculo, bajo que unidades deben estandarizarse, entre otros.

Además, el GHG Protocol cuenta con especificaciones para la publicación de los procesos de inventariado. Este formato no es tomado al pie de la letra debido a la naturaleza comercial del mismo, por lo que se adapta a la función académica.

Fase Metodológica 2: Selección de materiales

Los materiales de construcción para esta investigación se seleccionaron por medio de un estudio cuantitativo de su uso en el contexto nacional, a partir de dos criterios principales: prevalencia en el mercado y disponibilidad de información.

Es de suma importancia la consistencia con ambos criterios de selección, ya que algunos materiales representativos en el territorio nacional no poseen datos accesibles; a la vez que materiales con suficientes datos, en algunas ocasiones no resultan ser tan representativos.

Como primer filtro se identificó la tipología constructiva de mayor desarrollo en Costa Rica a partir de datos de fuentes institucionales, CCC y el CFIA, respecto a las construcciones más tramitadas.

Después se definen los materiales más comunes utilizados en dicha tipología de acuerdo al análisis realizado a los rubros establecidos por el Censo 2011 del INEC y el "Manual de valores base unitarios por tipología constructiva" del Ministerio de Hacienda

Además, se revisaron los reglamentos que rigen el campo de la construcción en el país, para definir no sólo los materiales, sino también las características adecuadas para su posible utilización.

A partir de una selección preliminar, se contactan empresas productoras de materiales de construcción para basar la investigación en datos reales sobre la industria nacional. Se verifica que la información a la que el equipo investigador va a tener acceso sea la requerida para obtener resultados acordes a la rigurosidad que exige la investigación, para después lograr establecer las alianzas estratégicas que formalizan la participación de las empresas en el proyecto.

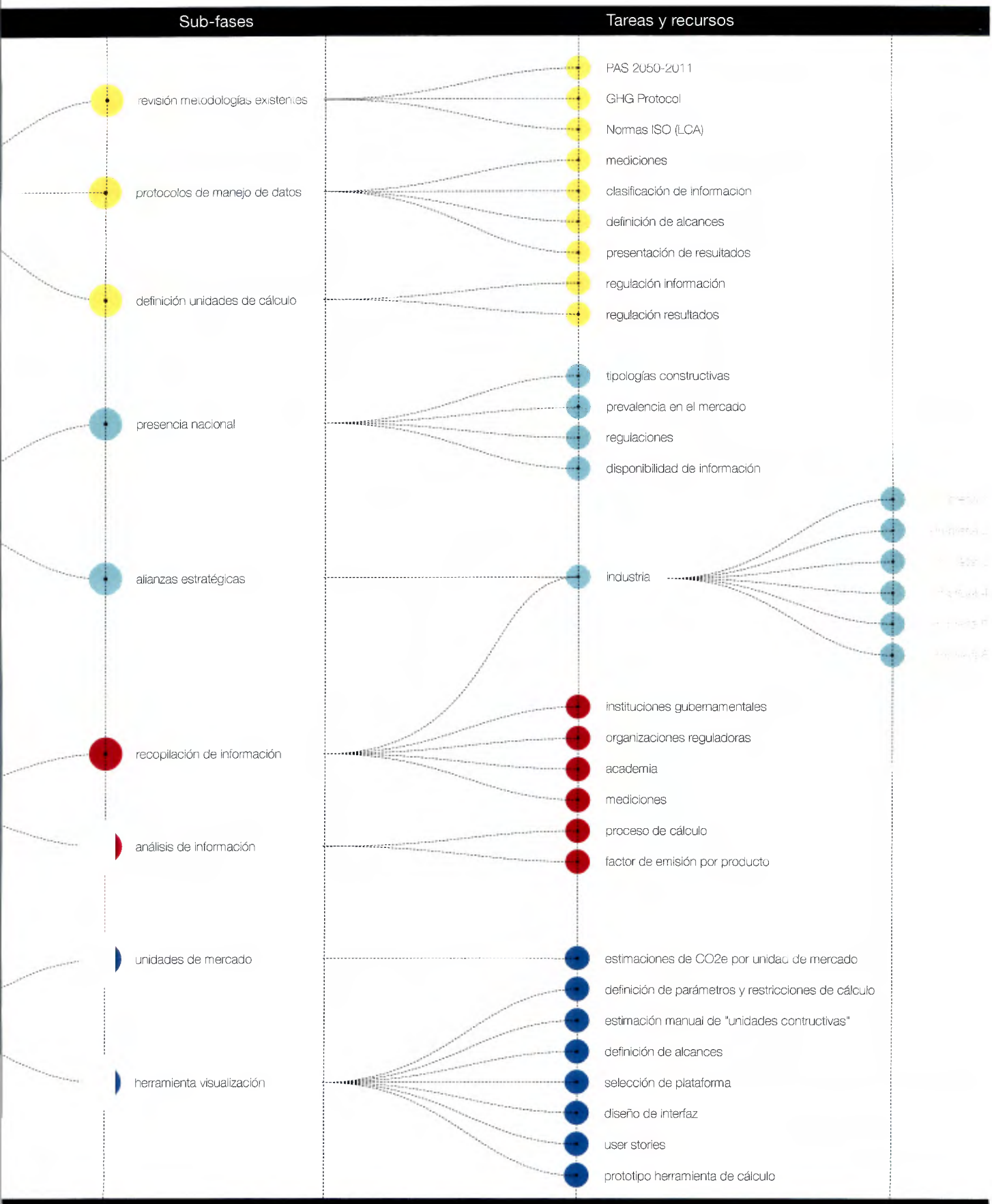
Fase Metodológica 3: Cálculo de factor de emisión

Esta fase se inicia con la definición del alcance del análisis del ciclo de vida, para saber cuáles son los procesos que se van a estudiar. Se pauta un alcance de la "cuna a la puerta" para el cálculo del factor de emisión de materiales de construcción.

Se continúa con la recopilación de información, pues se buscan datos y factores asociados al país que retroalimenten el proceso de investigación. Así como investigaciones nacionales previamente realizadas por instituciones gubernamentales (ICE, IMN, RECOPE, entre otros).

También se depende de la disponibilidad de tiempo de las industrias productoras para la recolección de datos. Durante este proceso con las empresas, se encuentran varios tipos de información accesible:

- Información disponible en archivos, procesada para su utilización directa.
- Información que debe ser procesada, promediada o extrapolada a partir de archivos de producción, registros contables o facturas.
- Datos puntuales y específicos brindados directamente


Sub-fases
Tareas y recursos
revisión metodologías existentes
protocolos de manejo de datos
definición unidades de cálculo
presencia nacional
alianzas estratégicas
recopilación de información
análisis de información
unidades de mercado
herramienta visualización
PAS 2050-2011
GHG Protocol
Normas ISO (LCA)
mediciones
clasificación de información
definición de alcances
presentación de resultados
regulación información
regulación resultados
tipologías constructivas
prevalencia en el mercado
regulaciones
disponibilidad de información
industria
instituciones gubernamentales
organizaciones reguladoras
academia
mediciones
proceso de cálculo
factor de emisión por producto
estimaciones de CO2e por unidad de mercado
definición de parámetros y restricciones de cálculo
estimación manual de "unidades contructivas"
definición de alcances
selección de plataforma
diseño de interfaz
user stories
prototipo herramienta de cálculo

por el personal encargado.

- Datos que deben ser obtenidos mediante mediciones en el sitio (tiempos de procesos o de peso de ciertos productos).

Posteriormente, la clasificación y almacenamiento de lo obtenido es de gran importancia para validar resultados. Al realizar tablas y esquemas se pueden visualizar los datos disponibles, si provienen de fuentes primarias o secundarias, así como los procesos necesarios para obtener el dato exacto para el inventario; lo que implica priorizar la información recolectada con base en las pautas encontradas en la revisión de estudios afines.

Se elabora un mapeo de los procesos para identificar cuáles son los involucrados en la fabricación del material. Luego se diseña una hoja de cálculo para estructurar las entradas y salidas de información, así como la ubicación de los supuestos que puedan ser fácilmente reemplazados en un futuro cuando se cuente con un dato más apropiado, para cada uno de los materiales

Para la publicación del resultado del factor de emisión como tal, se utilizan las categorías de reporte enumeradas por el GHG Protocol. Se adecúa para el presente trabajo debido a su carácter académico y dejando por fuera algunos aspectos que no aplican para el tipo de inventario craddle to gate.

El principal motivo por el cual se utiliza un estándar para esta sección, se debe a la validación posterior de los factores de emisión obtenidos. Estos consisten algunos de los primeros factores de emisión por producto en el país en el campo de la construcción, por lo que es de suma importancia que futuros profesionales en el área tenga el acceso adecuado a la información.

Entonces para cada material se tiene un apartado que contiene:

- Información general: Definición de la unidad funcional, fecha del inventario, unidades de análisis, tipo de inventario y condiciones específicas del producto estudiado.

- Delimitación del sistema: Diagramas de producción con todos los procesos atribuibles, las etapas de fabricación, entradas y salidas de material, entradas y salidas de energía y en caso de ser necesario el método utilizado para calcular el impacto del cambio en el uso del suelo.

- Adjudicación de emisiones: Se describen, en caso de que existan, todos los procesos de adjudicación como proceso de reciclaje, reutilización o absorción, de ser necesarios se incluyen los diagramas de dichos procesos.

- Recolección de datos: Una descripción detallada del estado y las fuentes de todos los datos obtenidos en la empresa, y todos los procesos realizados para obtener los datos utilizados en el cálculo.

- Incertidumbre: Se da una aclaración de las fuentes utilizadas así como todos los supuestos realizados durante el proceso de inventario.

- Resultados de inventario: En esta parte se incluye un resumen del proceso de cálculo y todos los resultados dependientes de las diferentes decisiones tomadas en el proceso. De igual forma se incluyen todos los diagramas correspondientes a la división de fuentes de GEI por cada una de las unidades funcionales.

Fase Metodológica 4: Comunicación de Resultados

Como esta investigación es de índole arquitectónica, se busca utilizar un lenguaje reconocible y aplicable en el proceso de diseño; y también que en general los resultados puedan ser manejados de manera más tangible y accesible a lo largo del proceso constructivo.

Se parte con la asignación de las emisiones de CO_2e correspondientes a unidades de mercado que utilizan las empresas, y con las que deben de trabajar los profesionales del campo. De esta manera el cálculo para un acercamiento a la huella de carbono de un proyecto, puede hacerse paralelo a algo tan cotidiano como el cálculo de un presupuesto, al contabilizar la cantidad de unidades de producto necesarias.

Sin embargo, esto generalmente implica que el diseño está casi definido; sin dejar de lado lo engorroso que puede volverse ajustar los cálculos cada vez que se necesite hacer una modificación.

Por lo que se desea buscar la manera de obtener el dato del impacto directo que representan las decisiones de diseño, cómo poder visualizar en tiempo real los cambios que se deciden hacer a los componentes de la edificación.

Se plantea entonces generar una herramienta digital de visualización, aprovechando el uso que se le da actualmente al software para estos fines. Aunque su ejecución como tal ya entra en el campo de otro tipo de profesionales, por ejemplo programadores; parte del desarrollo de los objetivos de este trabajo, es sentar las bases del manejo de la información para su utilización.

Con el análisis de reglamentaciones y tipologías constructivas, se definen parámetros y restricciones para la combinación de los materiales a la hora de constituirse en un sistema constructivo, para que el cálculo de las emisiones sea consecuente con las prácticas que se dan en la realidad.

Además, se definen una serie de "user stories", término utilizado en el ámbito de la programación para referirse a la especificación de requisitos por parte de los potenciales usuarios del software; con el objetivo de plantear qué información, su presentación y ubicación posibles en el diseño de la interfaz en una plataforma determinada.

Para que se logre visualizar realmente la utilidad de la herramienta, se trabaja en un prototipo donde se muestran las diferentes intenciones y alcances planteados para la misma.

Referencias metodológicas para el cálculo de la huella de carbono de un producto y/o servicio

Se han tomado como referencia tres principales metodologías internacionales:

-" LIFE CYCLE ASSESMENT ISO 14000" (LCA)
-"PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services" (PAS 2050)
-"GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard" (GHG Protocol)

A través del análisis se encontraron ciertas similitudes entre las distintas metodologías; en la tabla 06 se comparan las fases que contempla cada una. En el caso del PAS y del GHG Protocol, al ser derivadas del Life Cycle Assessment, se puede evidenciar una relación directa entre las fases.

A continuación se explican las fases de cada metodología. Como ya se recalcó anteriormente, algunos aspectos pueden parecer repetitivos por la similitud que guardan entre sí los estándares, pero se referencian por separado con el fin de mostrar con claridad el enfoque y los parámetros de los diferentes documentos analizados.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El análisis de ciclo de vida es un proceso que se utiliza para realizar evaluaciones acerca de las cargas ambientales de diversos procesos de productos, y permite cuantificar el uso de recursos y energías, para conocer los impactos que este genera al ambiente.
La certificación ISO para al Análisis de ciclo de vida de un producto comprende varias fases, cubiertas por diferentes normativas

ISO 14040 Definición objetivos así como los alcances y límites del sistema.

Tabla 05. Tabla comparativa metodologías de análisis de ciclo de vida

METODOLOGÍAS DE ESTUDIO	GHG Product Standard	PAS	IPCC
	World Resources Institute World Business Council for Sustainable Development	BSI British Standards Carbon Trust Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs)	Organización Meteorológica Mundial (WMO) Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP)
Creado	2011	2008	2011
	Dióxido de carbono (CO_2)	Dióxido de carbono (CO_2)	Dióxido de carbono (CO_2)
	Metano (CH_4)	Metano (CH_4)	Metano (CH_4)
	Óxido de nitrógeno (N_2O)	Óxido nitroso (N20)	Óxido nitroso (N_20)
	Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Hidrofluorocarbonos (HFC)	Hidrofluorocarbonos (HFC)
	Perfluorocarbonos (PFCs)	Perfluorocarbonos (PFC)	Perfluorocarbonos (PFC)
	Hexafluoruro de azufre (SF_6)	Hexafluoruro de azufre (SF_6)	Hexafluoruro de azufre (SF_6)
		Trifluoruro de nitrógeno (NF_3)	Trifluoruro de nitrógeno (NF_3)
		Trifluorometilpentafluoruro de azufre (SF_5CF_3)	Trifluorometilpentafluoruro de azufre (SF_5CF_3)
		Éteres halogenados	Éteres halogenados
		Otros halocarbonos no cubiertos por el Protocolo de Montreal	Otros halocarbonos no cubiertos por el Protocolo de Montreal

Tabla 06. Tabla comparativa metodologías de análisis de ciclo de vida

Fases en el ISO ACV	Pasos PAS 2050	Pasos GHG Product Standard
Definición de meta y alcance	Alcances	Metas y objetivos
	Descripción de Unidad Funcional	Principios
	Elaboración del mapa del ciclo de vida	Fundamentos de la estimación del ciclo de vida
	Definición de los Limites del sistema de estudio	Definición de Alcance
Análisis de inventario	Priorización de las actividades de recolección de datos	Delimitación
	Recolección de datos	Recolección de datos y evaluación de calidad
	Diseño de un plan de recolección de datos	Asignación y adjudicación de emisiones
Evaluación de impacto	Calculo de Huella	Calculo de resultados del inventario
Interpretación	Incertidumbre	Incertidumbre
	Seguimiento del rendimiento	Seguimiento del rendimiento
	Reporte	Reporte
Reporte y evaluación crítica	Evaluación	Evaluación
	Reporte	Reporte

ISO 14041 ICV inventario de ciclo de vida. Recopilación de entradas y salidas dentro del ciclo de vida de producto.
ISO 14042 EICV. Evaluación de impactos en el ciclo de vida.
ISO 14043 Interpretación de impactos en base a objetivos marcados inicialmente.
ISO 14044 Requisitos y directrices a partir de la evaluación

En ciertos casos, el aplicar el análisis de ciclo de vida a algunos productos puede resultar en una complejidad considerable, pues dependiendo de los límites fijados, el sistema puede llegar a tener extensos proceso. También requiere niveles de información sumamente puntuales sobre materiales y sus procesos, que no siempre pueden estar disponibles.

El análisis de ciclo de vida mediante las normativas ISO, suele ser utilizado principalmente a nivel de organización, haciendo notorio la implicación de amplios recursos materiales y humanos para poder aplicar dicha herramienta.

De igual manera las normativas ISO ofrecen una guía específica y amplia acerca de las diversas fases a tomar en cuenta a nivel metodológico con respecto al análisis de ciclo de vida.

ISO 14040

Normativa básica para todo ACV de un producto manufacturado pues ofrece una visión general de la práctica, aplicaciones y limitaciones de análisis de ciclo de vida. Puntualiza principios, estructura un rango de usuarios potenciales, que ayudan a determinar el tema de estudio y los motivos que conducen a realizar un análisis de ciclo de vida.

Un concepto relevante dentro de la fase de objetivos y alcance, es la definición de la unidad funcional, que se usa para hacer una descripción de la función principal del sistema que se va a analizar. Esto debido a que un análisis de ciclo de vida no puede ser utilizado para comparar dos productos distintos. Los productos que aplican para un ACV deben ser hechos para realizar la misma función.

"En el caso de los sistemas agrícolas, por ejemplo, la principal función es la producción de alimentos En estos casos, normalmente se considera como unidad funcional un kilo de producto fresco. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático" (Austley 1997)

La definición de la unidad funcional permite generar una delimitación dentro de un ACV, estableciendo que procesos unitarios del sistema serán analizados. Dichos límites del sistema también pueden ser definidos por factores extra, como aplicaciones previstas del estudio, diferentes hipótesis planteadas o diversos criterios de exclusión, por ejemplo limitaciones económicas, destinatario previsto, entre otros.
El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias (CEPIS) define cuáles límites se deben incluir en el ACV.

Secuencia de producción general (craddle to gate)
Operaciones de transporte
Producción y uso de combustibles
Generación de energía (electricidad y calor)
Eliminación general de residuos
Fabricación del embalaje de transporte

ISO 14041 Análisis del inventario del ciclo de Vida (ICV)

El análisis del ICV, corresponde a la cuantificación de consumos y emisiones relevantes que se producen en el ciclo de vida de un producto.

Se cuantifican todos los efectos ambientales adversos que se pueden asociar a la unidad funcional definida en la fase anterior. Esto determina la Carga Ambiental, que se define como las entradas o salidas de materia o energía de un sistema que conllevarán a un impacto ambiental negativo. Es un concepto amplio y general e incluye diversos tipos de impactos tales como emisiones de gases contaminantes, afluentes de agua, residuos sólidos, radiación, contaminación sónica, olor entre otros. La determinación de la carga ambiental está definida dentro de los límites establecidos en la fase anterior, de esta manera se descartan los impactos que queden fuera de la

delimitación.

En el caso de que el sistema genere varios productos o subproductos, el inventario de ciclo de vida asigna los flujos de materia, energía y emisiones, que estén asociadas s cada producto o subproducto.

ISO14042: EICV. Evaluación de impactos del Ciclo de Vida

Se realiza a partir de resultados obtenidos durante la fase anterior y se enfoca en el diseño o rediseño de los productos, bajo el criterio de que los recursos energéticos y materiales son limitados. La ISO 14042 brinda una base sólida para que las organizaciones tomen decisiones adecuadas sobre lanzar un producto o para la modificación del mismo, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental.

ISO 14043: Interpretación de resultados

En esta fase se combinan los resultados obtenidos en la fase de inventario y en la de evaluación de impacto. Los resultados obtenidos en esta fase pueden ser asimilados a manera de conclusiones y recomendaciones. Se determina en qué fase del ciclo de vida de producto se producen las principales cargas ambientales, por lo que permite ser puntual en que partes del sistema debe mejorarse. Si se está buscando una comparación entre diferentes productos, esta fase permite determinar cual representa un mejor comportamiento ambiental.

PAS 2050:2011

El documento "Publicly Available Specification 2050: 2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services" surge de la colaboración de BSI (British Standards), Carbon Trust y Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs). En esta investigación se utilize la revision 2011 específicamente. Provee guías de uso y estándares de medición fácilmente transferibles, pues está estructurado como una metodología escalonada y lineal, que define los siguientes pasos:

Definición de Alcance

Es vital que el producto analizado esté debidamente identificado desde un inicio. Esta unidad de análisis o ´unidad funcional´ es definida con claridad y desglosada en sus componentes

Para pasar a elaborar el mapa del ciclo de vida del producto, a través de un proceso de lluvia de ideas dirigido a reconocer todos los flujos de materia y energía que afecten a la ´unidad de análisis´. El mapa debe de circunscribir todo el ciclo de vida de la ´unidad de análisis´ aun cuando la investigación se centre únicamente en una sección del proceso.

Debe de incluir:

- Descripción de las actividades
- Ubicación geográfica de los inputs
- Entradas de materiales y de energía
- Externalidades
- Transporte entre sitios de trabajo
- Almacenamiento

Con estas entradas de información se puede documentar el límite del sistema de estudio en términos de un desglose la las actividades y procesos incluidos en cada etapa del ciclo de vida junto con cuales emisiones de GEI y salidas se han de incluir. Además se debe aclarar cuales actividades y procesos quedan excluidos del estudio.

El PAS 2050 en sus cláusulas 6.2 permite dos estándares de investigación:

-De la Cuna a la Puerta (´Craddle to Gate'). Incluye todos los procesos del ciclo de vida desde la extracción de la materia prima hasta el punto que deja la organización que realiza el estudio, considerando también manufactura, transporte y almacenamiento.

- De la Cuna a la Tumba (´Craddle to Grave'). Contiene el cálculo de todo el ciclo de vida de un producto desde la extracción de materias primas hasta el desecho posterior a su uso.

Recolección de Datos

Los datos de la actividad son cantidades de inputs y outputs de un proceso, (materias primas, energía, emisiones de gases, desechos sólidos o líquidos, subproductos e inclusive transporte) típicamente descritos para una unidad de producción en un año de producción específico. Los datos de actividad pueden provenir de:

Fuentes Primarias - Información específica a la actividad investigada, recolectada internamente para aquellos procesos pertenecientes a, y, operados por, la organización que este aplicando el PAS 2050.
Fuentes Secundarias – Datos aproximados o medias, información sobre actividades generales, provenientes de fuentes relacionadas, mas no específicas del proceso. Se han de utilizar cuando, no se pueda asegura una fuente primaria, sea esto por alcance, priorización o disponibilidad.

De acuerdo a la Cláusula 7.3 y 7.6 del PAS 2050:2011; el plan de recolección de datos debe de:

- Identificar los objetivos que requieran de fuentes de información primaria
- Reconocer las instancias donde el uso de fuentes primarias no es factible
- Destacar las áreas donde se recurrirá al uso de fuentes secundarias.
- Delinear los datos que deben de provenir preferiblemente de fuentes secundarias (Factores de emisión, estándares internacionales, etc.)

El PAS 2050:2011 permite la exclusión de secciones del proceso que contribuyan en pequeña medida a la huella total a ser calculada, siempre y cuando la suma total de las secciones excluidas no añadan más de un 5% de la huella total (PAS 2050:2011 clausula 6.3.b). o, la exclusión de materias primas que porcentualmente constituyan menos de un 1% de la masa seca de la 'Unidad funcional' (PAS 2050' Guide 2011, p. 10).

Cálculo de huella
Se inicia el proceso de cálculo con un mapeo de todos los flujos asociados a la producción de la unidad funcional estudiada; y se desglosan las cantidades asociadas a cada etapa del flujo usando como base el mapa del ciclo de vida del producto. Esto se puede realizar en el mismo mapa o utilizando un programa de procesamiento de datos en hojas de cálculo.

Todos los flujos muestran las entradas y salidas en función de la unidad funcional.
Considerando que los datos de actividad tienden a obtenerse de múltiples fuentes y a menudo en variedad de unidades de medida, paralelo al mapeo de flujos, se deben unificar las disparidades en tipos de unidades llevándolas todas a un solo sistema de medida.

En concordancia con el PAS 2050:2011, la huella de carbono es calculada según la siguiente fórmula:
Datos de actividad (kg/ Litros/ kWh, etc) X Factor de emisión (kg de CO_2e por kg/ Litros/ kWh, etc)

Donde "Datos de Actividad" se interpreta como cualquier parte cuantificable del proceso, y "Factor de Emisión" como el valor de conversión asociado en términos de kilogramos de dióxido de carbono equivalente por unidad de actividad.

Una irregularidad del proceso de cálculo del ciclo de vida de un producto es el uso de supuestos, como valores temporales que marcan la posición de futuras mediciones más precisas. Algunos ejemplos son estándares internacionales no validados localmente, referencias a productos afines al no encontrar los directamente relacionados, valores generales de transporte, factores de emisión generalizados y datos calculados por terceros.

El objetivo de utilizar supuestos es acercarse a la media sin entorpecer el cálculo total de la huella de carbono, por lo que se consideran los dos extremos conjugables, el caso conservador y el peor escenario.

Se aplican únicamente cuando no se puede asegurar información

de primera mano y su uso es debidamente documentado dentro de las tablas de procesamiento de datos y el plan de recolección de datos.

Interpretación de resultados

Según la cláusula 10 del PAS2050:2011, no se establecen requerimientos específicos para la comunicación de los resultados.
Sin embargo, sí se enfatiza en el hecho de que se debe hacer un registro exhaustivo y lo más transparente posible sobre todo lo concerniente a la recolección y manejo de la información a lo largo del proceso. Esto para dejar claro todas las entradas y salidas de datos, así como la utilización de supuestos, para una posterior evaluación de calidad de los mismos.
También se sugiere que al obtener los resultados se tenga referencia de cuánto aporta cada uno de los componentes analizados, para identificar las zonas de mayor afectación a la huella de carbono y plantear medidas acordes para reducir eficientemente las emisiones.

GHG Protocol Product Life Cycle Accounting

El Greenhouse Gas Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard nace como una iniciativa de World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development en el 2011. Las fases que componen el GHG Protocol se describen a continuación.

Principios, fundamentos de la estimación del ciclo de vida y definición de alcance

Durante estas fases la empresa u organización tiene la obligación de definir si está dispuesta y es capaz de desarrollar una investigación de este tipo. Se debe concretar el tipo de inventario que se va a realizar y el producto por calcular. De igual manera se tiene que tener muy claros los requisitos y los fundamentos del protocolo.

La definición de alcance y las unidades de análisis se dan también en esta etapa de planteamiento. Por alcance se entiende el tipo de análisis que se quiere realizar ya que las empresas tienen la opción de calcular las emisiones de producto, de servicio y de organización.

Las unidades de análisis corresponden al rendimiento, función y características del producto de estudio. Suelen ayudar a identificar la vida útil y la calidad del producto por evaluar y es de gran importancia a la hora de hacer un análisis de ciclo de vida completo.

Delimitación

La delimitación evalúa y concreta las fases del ciclo de vida de un producto que se va a estudiar, ya sea "cradle to grave" o "cradle to gate, y con esto los procesos que entran en las estimaciones.

Es pertinente realizar diagramas de procesos en esta fase y marcar claramente en que partes existen entradas energéticas o de material. También evaluar las transformaciones del producto y el transporte utilizado para su procesamiento.

Si se trata de un análisis del tipo "cradle to gate" es importante que los investigadores reporten la cantidad de carbono contenido en el producto estudiado, debido a que la mayoría de los productos que se analizan con este tipo de inventario entran como "productos externos" para otros procesos de inventariado.

Recolección de datos y evaluación de calidad

Para la recolección de datos se vuelve de gran importancia la rigurosidad en la clasificación, documentación, manejo de estándares y procesamiento de la información.

Los datos obtenidos pueden ser de fuentes primarias o secundarias y esto se debe esclarecer en la documentación. Los datos primarios se definen como datos específicos del proceso estudiado, por ejemplo emisiones directas de un proceso A obtenidas por una medición de CO_2e o la cantidad

de litros de diésel que utiliza el proceso A.

Los datos secundarios corresponden a datos no específicos del proceso estudiado pero que sin embargo permiten una aproximación al dato real. Estos pueden ser la base para un cálculo realizado posteriormente por el investigador o bien un dato externo de un proceso similar o estándar que permita rellenar un dato faltante en el inventario.

A su vez el protocolo permite extrapolar datos de otras bases de datos o fuentes. Un ejemplo de esto sería utilizar la actividad financiera y las tarifas eléctricas del proveedor para asociar una cantidad de kWh a determinado producto. De igual forma bases de datos similares pueden permitir la extrapolación de un dato determinado para completar un inventario realizado.

Asignación y adjudicación de emisiones

Durante el proceso de delimitación y recolección de datos las empresas se encontrarán con diferentes casos que ameritan la adjudicación de emisiones a otros productos. La mayoría de estas excepciones se dan por casos de co-productos que se utilizan para la formación de otros productos.

Para mantener la rigurosidad del inventario es de gran importancia que las empresas subdividan el proceso lo más detalladamente posible. De esta manera las remociones y adjudicaciones no estarán afectando la veracidad de los datos finales.

La adjudicación también se puede utilizar en aquellos inventarios que tengan procesos de reciclaje y absorción siempre y cuando estén claramente identificados como parte de la formación del producto de estudio.

Incertidumbre

El protocolo brinda procesos sistemáticos para calificar y cuantificar la incertidumbre correspondiente a los procesos de cálculo y estimación en un inventario de producto. La determinación de la incertidumbre y los puntos débiles orientarán a los investigadores y empresas a encontrar los pasos necesarios para mejorar los inventarios.

Además brinda una clasificación de las posibles incertidumbres en el proceso; incertidumbre de parámetro, incertidumbre de escenario e incertidumbre de modelo. Estas categorías auxilian al investigador a encontrar las debilidades durante la toma de sus decisiones y a corregir errores.

Cálculo de resultados del inventario

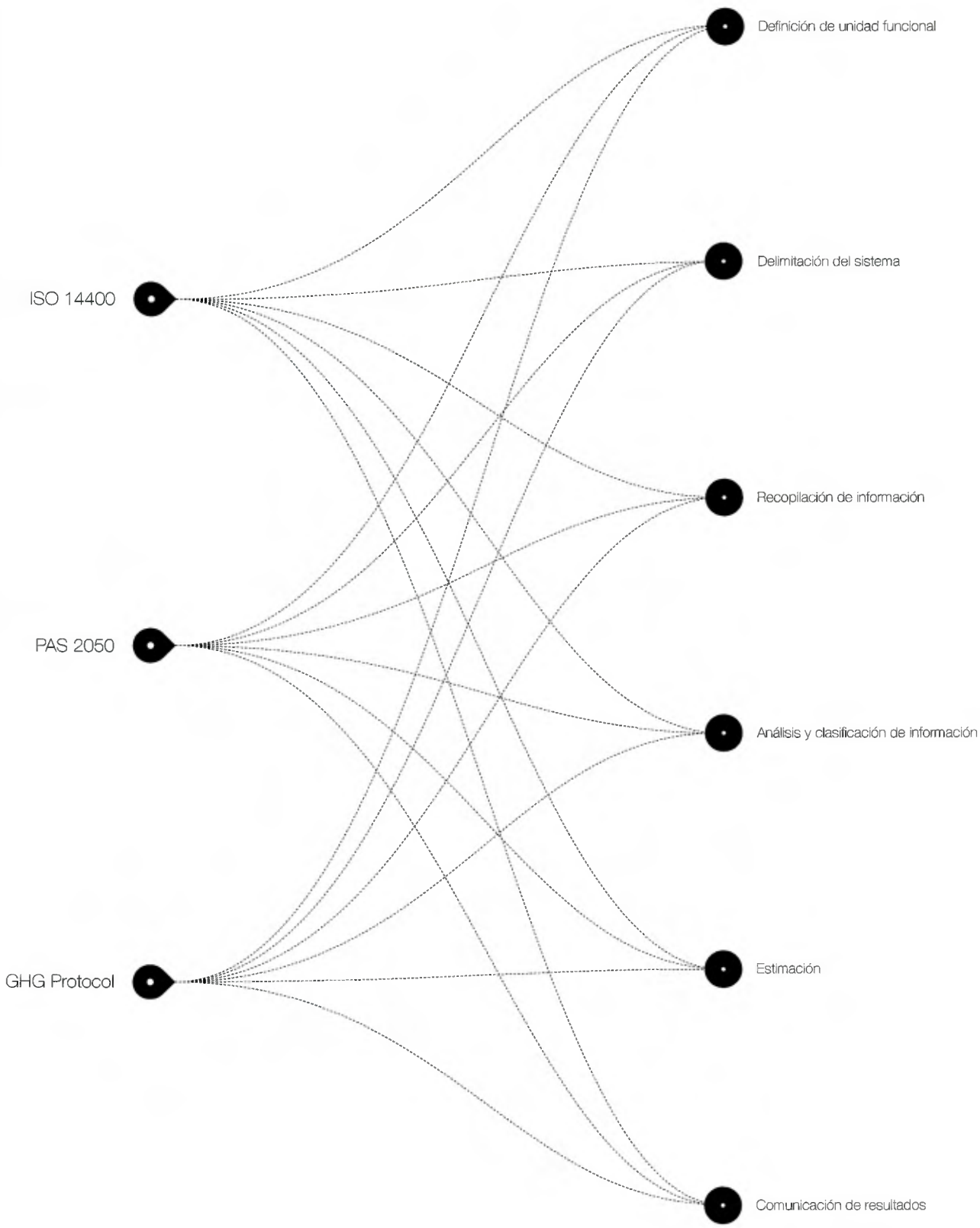
El GHG no se extiende demasiado en la descripción de los procesos de cálculo para un inventario. Permite la utilización de factores de emisión y potenciales de calentamiento global estándar. Sin embargo especifica que el resultado final debe ser reportado en CO_2e y que el potencial de calentamiento global debe aplicar a 100 años.

En adición a estas pautas el protocolo pide el reporte de porcentaje de los resultados por etapa del ciclo de vida. También se solicita el reporte de la separación de carbono biogénico del resto así como los impactos del uso de suelo cuando aplique.

Evaluación y reporte

Previo al reporte de resultados es de gran importancia la evaluación por parte de un partido independiente a la investigación. Esta evaluación puede ser realizada por dos tipos de agentes externos. Un partido de primer grado que puede ser de la misma organización, sin relación a la investigación realizada o un tercero completamente independiente a la organización.

Como se ha mencionado con anterioridad el GHG Protocol está especialmente enfocado en el formato del reporte de resultados. Enumera una lista de requisitos que permiten a los lectores y evaluadores una lectura fácil de cada una de las fases anteriormente descritas.


ISO 14400
PAS 2050
GHG Protocol
Definición de unidad funcional
Delimitación del sistema
Recopilación de información
Análisis y clasificación de información
Estimación
Comunicación de resultados

Capítulo IV

- Selección de Materiales de Estudio

Criterios de Selección de Materiales

El primer criterio que se tomó para la escogencia de los materiales que se incluirían en la presente investigación corresponde a la tipología constructiva de mayor desarrollo en territorio nacional.

Como segundo criterio se decidió ir a los documentos que rigen, desde una perspectiva reglamentaria, la utilización de los materiales en obras con fines habitacionales. De esta manera se hizo un análisis de las principales reglamentaciones para la construcción en Costa Rica.

Finalmente se hizo una revisión de los costos de utilización de un material u otro a partir del Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda, ya que el factor económico es una variable determinante al momento de seleccionar la materialidad de las construcciones.

Análisis de tipologías constructivas

Se revisaron los indicadores de la construcción en Costa Rica del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos para los períodos 2011 y 2012. Dichos datos arrojaron que la tipología de mayor desarrollo en el territorio nacional, es habitacional seguido por el uso comercial.

Por este resultado se decide ahondar en los proyectos habitacionales para delimitar los materiales que serán incluidos; siendo el grupo investigador consciente de que profundizar en materiales para vivienda no es sinónimo de excluir la utilización de estos en otras tipologías constructivas.

Análisis de reglamentaciones

Código Sísmico de Costa Rica 2010

Debido a la cantidad de fallas tectónicas que recorren Costa Rica, el país se encuentra expuesto permanentemente a movimientos sísmicos, lo que requiere concientización acerca de las prevenciones que se deben tener para evitar catástrofes mayores cuando estos fenómenos se dan. Situación que se ve reflejada en la evolución que han tenido los códigos y reglamentos, al adecuar el uso de materiales y sistemas constructivos bajo dicha premisa.

Los códigos sísmicos recogen, sintetizan y ordenan conjuntos de normas y prácticas del diseño sismo resistente, producto del conocimiento científico, la praxis tecnológica, la experiencia de terremotos pasados y el sentido común. Orientan y guían al profesional responsable en procura de las edificaciones y otras obras civiles que se diseñen y construyan, de acuerdo con sus lineamientos, garanticen la vida de sus ocupantes.

Además incluyen las investigaciones que se realizan internacionalmente sobre el comportamiento de materiales, sobre los detalles y las técnicas constructivas, las cuales se unen a las investigaciones analíticas y experimentales que se dan en Costa Rica, que arrojan resultados muy relacionados a la práctica constructiva del país.

Se realizó una revisión de este documento con el fin de visualizar las posibilidades de utilización de uno u otro material de construcción.

De la sección 3 se extraen los requisitos para dimensionamiento y detalle de edificaciones, para concreto estructural, sus generalidades y refuerzos; así como para la construcción de elementos en madera. También se establecen las normas y requisitos necesarios para poder utilizar elementos prefabricados en la obra. El hecho de que se haga hincapié en las especificaciones para estos materiales, los posiciona como tema de interés para esta investigación.

Se profundizó en la revisión de la sección 5, que incluye el capítulo de vivienda, cuyo propósito es establecer criterios generales para el diseño estructural y la construcción de viviendas

unifamiliares, independientes estructuralmente, de uno y dos pisos. Fue revisado y ajustado para proporcionar elementos guía a los profesionales no especialistas en estructuras que vayan a utilizar el diseño simplificado, a partir de una serie de detalles estandarizados sin que sea necesario realizar un cálculo estructural específico.

Este procedimiento aplica únicamente a los sistemas y materiales constructivos de la siguiente tabla.

Reglamento de Construcciones

A partir del capítulo XXI expone una serie de normas y especificaciones acerca de los materiales constructivos y sus respectivas aplicaciones dentro de los componentes de una edificación, en muchos casos se hace referencia al diseño a partir de la normativa vigente en el código Sísmico de Costa Rica.

Sin embargo, para la finalidad de la presente investigación, la revisión del Reglamento de Construcciones se centra en el capítulo XXIII denominado "Materiales de Construcción", en el cual se establecen las normas que rigen para los materiales más comúnmente usados en la construcción de edificios. Se especifican el acero, alambre para refuerzos de concreto, concreto pre esforzado, alambres para concreto pre y post tensado, agregados para concreto, morteros de cemento, bloques para albañilería tanto de concreto como de arcilla cocida y cementos.

Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda.

Con la información de este documento, se pretende visualizar y comparar los precios de las diferentes tipologías constructivas; con el fin de identificar una tendencia en la utilización de un material u otro desde el aspecto económico.

Para cada una de las tipologías constructivas presenta una clasificación basada en la predominancia de un material, para luego analizar sub categorías como precio por metro cuadrado, la vida útil estimada, otros materiales utilizados y acabados de cada una de las viviendas.

Los componentes de la edificación que se estiman como variables comparables son:

- Estructura: Describe la materialidad de los componentes principales de la estructura primaria.
- Paredes: Brinda una descripción de los materiales utilizados en los cerramientos de pared.
- Cubierta: Describe los componentes de la cubierta tanto estructurales como de cerramiento y elementos adicionales como canoas y bajantes.
- Cielos: Determina o no la existencia de cielos y se describe la materialidad de estos.
- Pisos: Detalla la materialidad o bien los acabados que se brindan.
- Baños: Denota los acabados y calidades de los cuartos de baño.
- Otros: en este apartado se describen los acabados de las puertas, muebles de cocina, marcos de ventana, entre otros.

A continuación se presenta la clasificación que brinda el Manual a las diferentes tipologías de vivienda posibles, se brinda el costo en función de los materiales seleccionados, así como una serie de generalidades asociadas a cada caso.

Tabla 07. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Concreto

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Características
	¢ 190 000	40 años	Estructura de mampostería integral y prefabricada. Paredes externas de bloques de concreto y baldosas, internas de cerramiento liviano a un forro. Techos de láminas onduladas de hg con cerchas de perfil metálico. Sin cielos ni canoas. Acabados básicos. Marcos de madera o aluminio.
	¢ 240 000	40 años	Estructura de concreto, mampostería integral, prefabricado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto, fibrocemento o baldosas prefabricadas, paredes internes con cerramiento liviano. Techo de lámina de hg. Ondulada con cerchas de perfiles metálicos. Cielo de laminas de fibrocemento o similar. Piso de terrazo, cerámico o similar. Marcos de madera o aluminio.
	¢ 300 000	50 años	Estructura de concreto, mampostería integral, prefabricado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto, fibrocemento o baldosas prefabricadas, cerramientos livianos a doble forro. Cielos de tablilla PVC, láminas de fibrocemento, gypsum o similar. Piso de terrazo, cerámico o similar. Ventanas con marcos de aluminio.
	¢ 340 000	60 años	Estructura de concreto, mampostería integral, prefabricado, paneles estructurales con poliestireno o perfiles metálicos. Paredes incluyen bloques de concreto, paneles de poliestireno, fibrocemento o baldosas prefabricadas. Internas livianas como fibrocemento. Cielos de fibrocemento, tablilla PVC y Gypsum. Cubierta presenta cerchas de perfiles metálicos, con láminas onduladas de hg canoas y bajantes. Pisos de terrazo, cerámica y porcelanato. Ventanas con marcos de aluminio.
	¢ 385 000	60 años	Estructura de concreto, mampostería integral, prefabricado, paneles con poliestireno o perfiles metálicos. Paredes en bloques de concreto, baldosas prefabricadas o paneles estructurales con poliestireno, dens glass, durock, gypsum , plystone o plyrock. Cerchas de perfiles metálicos, láminas esmaltadas galvanizadas. Con bajantes y canoas. Cielos de tablilla PVC, láminas de fibrocemento , Gypsum o similar. Pisos de madera laminada, cerámica o porcelanato. Ventanas con marcos de aluminio, bronce o similar, vidrios color humo, bronce o similar.
	¢ 425 000	60 años	Estructura con columnas y vigas en concreto armado, panales estructurales de poliestireno. Paredes de bloques de concreto o paneles de poliestireno. Sectores en vidrio, dens glass, gypsum, plystone o plyrock. Cubierta con cerchas de perfiles metálicos, teja de barro, asfáltica o similar. Cielos en tablilla PVC, paneles de gypsum o similar, tablilla de madera. Pisos de cerámica , madera laminada o porcelanato Ventanas con marco de aluminio. Closets m de madera.
	¢ 540 000	60 años	Estructura con columnas y vigas de concreto armado, panales estructurales de poliestireno. Paredes pueden incluir bloques de concreto, en algunos sectores cerramientos livianos. Cerchas de perfiles metálicos, teja de barro o láminas onduladas de hierro galvanizado, teja asfáltica o similar. Cielos en tablilla de PVC, áreas de artesonados con tablilla de madera o gypsum. Pisos de cerámica, madera laminada, porcelanato o similar. Amplios ventanales con marcos de aluminio anodizado, PVC o madera. Closets de madera.
	¢ 710 000	70 años	Estructura columnas y vigas de concreto armado. Paredes en bloques de concreto o ladrillo, componentes livianos. Cubierta con cerchas de hierro, lámina pizarra, teja de barro con láminas onduladas de hierro esmaltado, teja asfáltica o similar. Cielos de gypsum, artesonados en tablilla de madera, ladrillo o concreto. Pisos de porcelanato y cerámica. Amplios ventanales con marco de aluminio anodizado color bronce, PVC o madera. Closets de madera.
	¢ 1 200 000	70 años	Estructura con columnas y vigas de concreto armado. Paredes de bloques de concreto. Cerramientos livianos en algunos sectores. Amplios ventanales de piso a cielo. Cubiertas con cerchas de hierro. Teja de barro, lámina de hierro esmaltado ondulado. Amplios ventanales y puertas de vidrio con marcos de aluminio anodizado o de madera.
	¢ 1 400 000	70 años	Estructura con columnas y vigas de concreto armado colado en sitio. Paredes de bloques de concreto y ladrillo. Cerramientos livianos en algunos sitios y amplios ventanales. Cubierta con cerchas de hierro, losas de cubierta, algunas con recubrimiento vegetal, teja de barro y láminas onduladas de hierro esmaltado. Cielos artesonados en madera, paneles de yeso, cemento y fibra de vidrio. Bóvedas de ladrillo o concreto colado. Pisos de mármol, porcelanatos, cerámicas. Amplios ventanales y puertas de vidrio con marcos de madera y aluminio anodizado con diferentes acabados.

Tabla 08. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Muro Seco

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Características
	¢ 200 000	40 años	Estructura de perfiles de acero galvanizado. Paredes interiores y exteriores de láminas de fibrocemento, plystone, plyrock (mismos materiales para los cielos) Cerchas de perfiles metálicos. Techo de lámina ondulada de hierro galvanizado. Pisos de loseta de vynil, cerámica o similar.

Tabla 09. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Vidrio

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Características
	¢ 1 300 000	70 años	Columnas y vigas de concreto armado. Paredes de bloques de vidrio en muros cortina, piel de vidrio o suspendidos. Paños de concreto colado, ladrillo, algunos sectores en densglass, plystone o plyrock. Cerchas y artesonados en madera o perfiles de hierro. Láminas de hierro rectangular, esmaltado o similar. Cielos con estructuras de acero expuesto con paneles de gypsum, áreas de ladrillo o concreto colado. Pisos de mármol, porcelanatos, cerámicas y/o madera

Tabla 10. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Madera

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Generalidades
VMD1	¢ 230 000	40 años	Estructura en bloques de concreto, madera. Un solo forro de tabla o fibrocemento. Paredes exteriores de madera, en algunos casos laterales forradas con láminas de hierro galvanizado o internas de fibrocemento a un forro. Cielos de madera en tablones o aglomerada, Cubierta con cerchas de madera o perfiles metálicos, láminas onduladas de hierro galvanizado a un forro. Con pisos de tablón semiduro, cascote o mosaico. Marcos de madera.
VMD2	¢ 340 000	50 años	Madera en columnas, cadenillos y soleras. Doble forro en tablilla biselada, algunas áreas con fibrocemento a doble forro. Cerchas de madera o perfil metálico. Cubierta de láminas de hierro galvanizado. Cielos en PVC o madera. Piso de tabloncillo o contrapiso de concreto con terrazo. Guarniciones en ventanas y puertas con maderas.
VMD3	¢ 500 000	60 años	Madera en columnas, cadenillos y soleras. Paredes con doble forro de tablilla o fibrocemento. Cerchas de madera o perfil metálico. Teja de hierro galvanizado. Cielos artesonados en tablilla o PVC. Pisos de madera tipo tabloncillo, terrazo, loseta de barro, mosaico, cerámica rustica o similar. Ventanas, clósets y rodapies con marcos de madera. Barandas de madera en corredores y balcones.
VMD4	¢ 770 000	70 años	Madera en columnas, cadenillos y soleras. Paredes a doble forro de tablilla. Cerchas de madera o perfiles metálicos. Teja de barro. Cielos artesonados en tablilla o PVC. Pisos de cerámica, tabloncillo o parquet. Amplios ventanales con marcos de madera.

Tabla 11. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Bambú

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Generalidades
VBD1	¢ 115 000	40 años	Estructura de bambú, zócalo de bloques de concreto, entramado de bambú con estructura de madera. Paredes de bambú recubierto con mortero. Cerchas de bambú, cubierta de láminas onduladas de hierro galvanizado. Pisos de concreto lujado o cerámica. Ventanas con marcos de madera o bambú.

Tabla 12. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Viviendas de Cabañas

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Generalidades
CAD1	¢ 220 000	40 años	Columnas y vigas de madera. Paredes de madera en tablones o tucas. Cerchas de madera con láminas estructurales acanaladas. Cielos de tablilla. Pisos de cerámica o tablones de madera. Ventanales con marco de de madera.
CAD2	¢ 300 000	50 años	Columnas y vigas de madera. Paredes de madera en tablones o tucas. Algunas paredes de concreto. Cerchas de madera con láminas estructurales acanaladas. Pisos de cerámica o tablones de madera. Amplios ventanales con marcos de madera.

Tabla 13. Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda / Edificios de apartamentos

Tipología	Precio / m²	Vida Útil	Generalidades
AFD1	¢ 320 000	50 años	Columnas y vigas en concreto armado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto. Paredes internas de madera o densglass. Cerchas de perfiles metálicos, láminas onduladas de hierro galvanizado. Viguetas de techo expuestas o cielos de fibrocemento, plystone o plyrock. Pisos de terracín o cerámica. Ventanas con marcos de madera o aluminio.
AFD2	¢ 430 000	60 años	Columnas y vigas de concreto o perfiles metálicos. Paredes en bloques de concreto, densglass, gypsum o similares. Cerchas de perfiles metálicos. Láminas onduladas de hierro galvanizado. Viguetas de techo expuestas o cielos de gypsum, densglass o similares. Pisos de terrazo o cerámica.
AFD3	¢ 520 000	60 años	Columnas y vigas de concreto armado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto, fibrocemento o similares. Cerchas de perfiles metálicos y cubierta de lámina ondulada de hierro galvanizado. Cielos de concreto lanzado o viguetas expuestas. Pisos de cerámica, alfombra, laminados o similares. Marcos de puertas de madera, ventanas con marcos de aluminio, vidrios color ronce, humo o similar.
AFD4	¢ 565 000	60 años	Columnas y vigas de concreto armado o perfiles metálicos. Predes de bloques de concreto o gypsum, enchapes de piedra o maderas. Cerchas de perfiles metálicos, techos de teja de barro o similar. Cielos de concreto lanzado o viguetas expuestas, paneles de gypsum, tablilla o artesonado en algunos sectores, láminas de fibrocemento o similares. Amplios ventanales con marcos de aluminio o madera, vidrios color bronce, humo o similar.
AFD5	¢ 700 000	70 años	Columnas y vigas de concreto armado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto y gypsum. Cerchas de perfiles metálicos. Cubierta de teja de barro, láminas acrílicas. Cielos de concreto lanzado, gypsum, fibrocemento o similares y artesonados de madera. Pios de cerámica o porcelanatos y alfombra. Amplios ventanales con marcos de aluminio y vidrios color bronce.
AFD6	¢ 80 000	70 años	Columnas y vigas de concreto armado o perfiles metálicos. Paredes de bloques de concreto o ladrillo, bloques de vidrio templado y laminado en muros cortina o suspendidos y enmarcados. Sectores densglass, gypsum o similares. Cerchas de perfiles metálicos, losas de concreto en cubiertas, tejas de barro o similares. Cielos de gypsum, tablilla o artesonado. Láminas de fibrocemento o similares. Pisos de mármol, sectores de alfombra o laminados.

El procesamiento de estos datos se dio con el fin de encontrar los materiales que más se repetían en las distintas tipologías, para extrapolar esas tendencias y tener un panorama más claro de los materiales cuya utilización se propone de manera más constante en la construcción costarricense (ver gráfico 17).
Se determinó que el aumento en costos se da básicamente por un tema de acabados, por ejemplo en el caso del uso de vidrio para las ventanas, este se contempla desde la tipología de menor costo hasta la más cara, sin embargo se dan variaciones en los acabados que se le dan.

También se logró visualizar materiales que son usados en diferentes tipologías independientemente de variaciones en el costo final.; los bloques de concreto son una constante, se tienen viviendas de madera y bambú pero que igualmente presentan zócalos de bloques de concreto.

Tras definir los posibles materiales que se incluirían en el presente documento, se prosiguió a invitar empresas líderes en la producción de los mismos. Se le solicitó a cada una la información necesaria para cumplir con los objetivos y alcances de la investigación. De esta forma se seleccionaron finalmente la gama de materiales participantes.
En el caso de los materiales para cerramiento de cubierta, el equipo investigador consideró pertinente incluir en el estudio lámina de hierro galvanizado, sin embargo las empresas que fueron invitadas a participar, rechazaron esta iniciativa por diversas razones.

Por lo tanto, se decidió trabajar con los siguientes materiales:

- Bloques de Concreto: Brinda posibilidades de uso estructural en sistemas de mampostería integral, así como su utilización en cerramientos de paredes. Igualmente implica un alto porcentaje de la construcción residencial costarricense.

- Varilla de Acero: Se selecciona este material por su amplia utilización como elemento de refuerzo en sistemas de cimentación y sistemas estructurales de mampostería integral, así como estructuras prefabricadas pretensadas y post tensadas.

- Baldosas y columnas prefabricadas: Representa un sistema constructivo que por su bajo costo respecto de otros sistemas se vuelve muy atractivo en el mercado constructivo. De igual forma representa un sistema que involucra componentes estructurales primarios así como componentes de cerramiento.

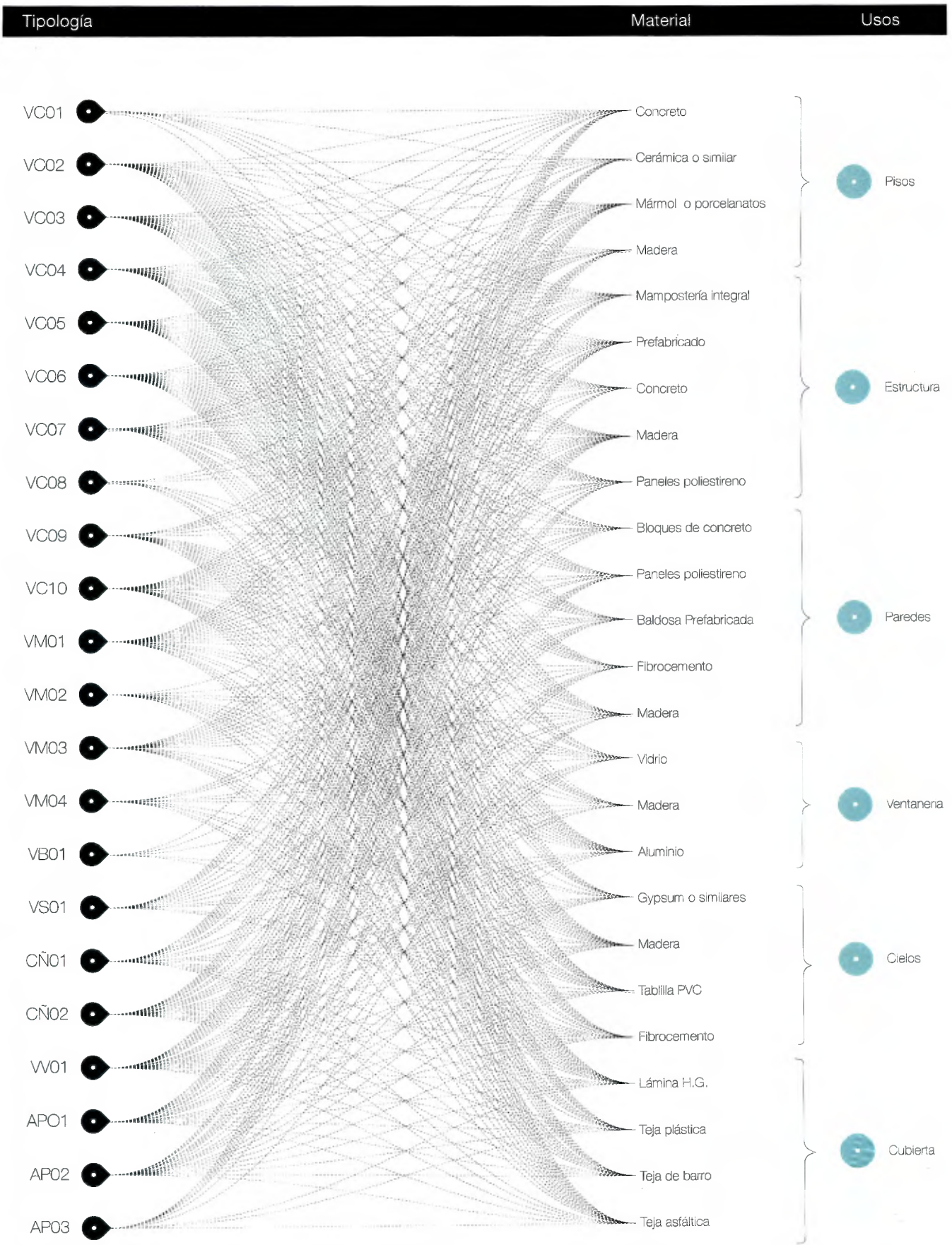
- Fibrocemento: Se incluye como elemento representativo de los materiales llamados "livianos". Se considera este material también por la versatilidad que presenta para ser utilizado como cerramiento de pared o en cielos.

- Madera sólida de construcción: Se selecciona este tipo de madera aserrada y cepillada por las diversas posibilidades que presenta para ser utilizada ya sea como cerramiento en forma de tablones o tablilla, como estructura primaria a través de vigas y columnas o bien estructura de cerramientos livianos, sistemas de marquetería de puertas y ventanas, y utilización en cerchas como soportes de cubierta.

- Madera laminada: Se decide trabajar con madera laminada ya que ofrece mayores posibilidades como elementos estructurales primarios en forma de vigas y columnas.

- Vidrio: Por sus propiedades cualificadoras del espacio al dejar pasar la luz y ser visualmente permeable se convierte en un material de uso común en la industria constructiva en forma de cerramiento.

- Aluminio: Representa un alto porcentaje de los sistemas de marcos para ventana.


Tipología
Material
Usos
VC01
VC02
VC03
VC04
VC05
VC06
VC07
VC08
VC09
VC10
VM01
VM02
VM03
VM04
VB01
VS01
CÑ01
CÑ02
VV01
APO1
AP02
AP03
Concreto
Cerámica o similar
Mármol o porcelanatos
Madera
Mampostería integral
Prefabricado
Concreto
Madera
Paneles poliestireno
Bloques de concreto
Paneles poliestireno
Baldosa Prefabricada
Fibrocemento
Madera
Vidrio
Madera
Aluminio
Gypsum o similares
Madera
Tablilla PVC
Fibrocemento
Lámina H.G.
Teja plástica
Teja de barro
Teja asfáltica
Pisos
Estructura
Paredes
Ventanería
Cielos
Cubierta

Capítulo V

Reportes por Unidad Funcional

- Acero
- Aluminio
- Baldosas Concreto Prefabricado
- Bloques Concreto Prefabricado
- Columnas Concreto Prefabricado
- Lámina de Fibrocemento
- Madera Cultivada para Construcción
- Madera Laminada
- Vidrio

Introducción de reporte de factores de emisión

En el presente capítulo se procede a estructurar los resúmenes del proceso de cálculo de los factores de emisión por unidad funcional de material.

Se decide separar el contenido en secciones por cada material con el fin de que el lector o el usuario tenga la posibilidad de estudiar cada producto de forma individual. Es importante mencionar que si bien existen observaciones o premisas que se repiten en cada una de estas secciones, la información es organizada de tal forma que cada una pueda entenderse sin la necesidad de estudiar la otra, lo que permite mayor facilidad al lector en el acceso a información específica.

Debido a las diferencias notables entre los diferentes procesos de producción, una estructura de comunicación común resulta necesaria para la unificación de la información. Además, con el fin de respetar los requisitos de las metodologías internacionales estudiadas, este capítulo fue basado en las exigencias determinadas por el "GHG protocol" para la comunicación de reportes de factores de emisión.

De esta forma, se disponen a través de las secciones, una serie de apartados que exponen de forma general la información obtenida y las decisiones tomadas en torno a los procesos de cálculo. Se presentan los procesos de producción, las suposiciones y la incertidumbre generada por los cálculos entre otros puntos importantes, así como un resumen de los resultados obtenidos según las distintas categorías de proveniencia de las emisiones.

Si bien estos reportes permiten la homogenización en el estudio de los procesos de fabricación, cada uno presenta los ajustes o adecuaciones necesarias para la especificación de las particularidades determinadas en el análisis de cada material. Un ejemplo de ello consiste en el uso de distintas unidades funcionales.

Ahora bien, la generación de reportes de información independientes presenta otra ventaja. Cada reporte queda sujeto a cambios para mejorar la veracidad de sus datos, ya que en todos los casos se maneja cierto porcentaje de error en la estimación de los factores de emisión en relación a la especificidad de los datos manejados u otorgados por la empresa participante.

Por lo tanto, si en un futuro la empresa permite el acceso a un nuevo dato de información actualizado, este puede agregarse o intercambiarse con mayor facilidad en la investigación.

En el gráfico 18 se muestra a que sistema constructivo pertenecen los productos estudidados. Sin embargo, el orden de los reportes es alfabético por la inicial del material: acero, aluminio, baldosa, bloque, columna, fibrocemento, madera de construcción, madera laminada y vidrio).

Varilla de acero deformada #3

Información General

Definición de unidad funcional

De los múltiples usos del acero en la construcción nacional, la formación de estructura y de muros de cerramiento mediante el uso de bloques de concreto y varillas, es la más prevalente; por eso el enfoque de la investigación del acero en la presente investigación se limita a la producción nacional de varillas.

Para determinar la unidad funcional se analizó la producción anual por unidad para el periodo enero 2013 a enero 2014. La unidad funcional escogida es una varilla número 3 de 6.4 kg de peso y 6 metros de largo.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de varilla #3 producida. Las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo

Fecha del inventario

Los datos recopilados para el inventario corresponden a un período de 12 meses comprendidos entre enero 2013 y diciembre 2013. Esta información fue provista por la empresa y suplementada con visitas al sitio por parte del equipo de trabajo.

Delimitación del sistema

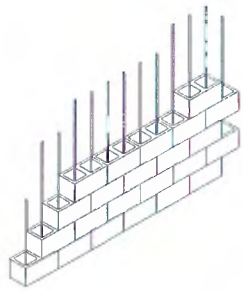
El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace trazado del ciclo de vida de la varilla #3 (Ver gráfico 19).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros y, exceptuando el transporte terrestre de los lingotes, fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se ahonda es dichos procesos a detalle.

Gráfico 19. Ciclo de Vida Usado. Elaboración Propia

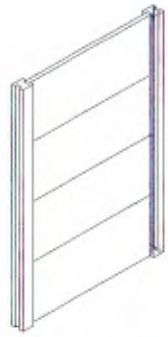
mampostería integral

- Bloques 12x20x40
- Varilla de acero deformada #3



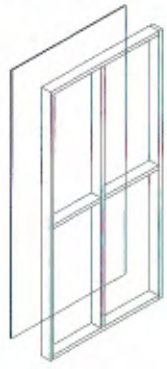
sistema prefabricado

- Baldosas 6cm 1,5m x 0,63mm
- Columnas 12cm 3,15m



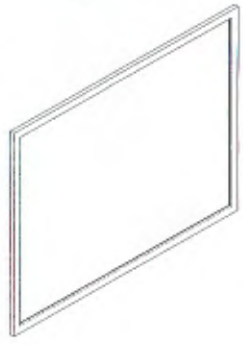
cerramiento liviano

- Fibrocemento (múltiples variedades)
- Madera para construcción



ventanería

- Vidrio 6 mm de espesor
- Aluminio



marcos estructurales

- Madera laminada y de construcción

procesos en planta

Composición

La varilla #3 proviene de una materia prima única (lingote de acero) sin aditivos y de una fuente única (Trinidad y Tobago) entonces el desglose de composición es simplificado a:

- Materiales contenidos en la varilla terminada. lingote de acero.

- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: diesel, búnker y agua.

Proceso de Planta y cálculo asociado

El proceso de producción de la varilla #3 se divide varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Extracción y producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos individuales de materia prima dentro de la fábrica.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 20) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

-El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con el dato de los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción (consumos y tiempos fueron provistos por la empresa) y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Producción y transporte de materias primas

- Lingote de acero: son producidos por terceros fuera de suelo nacional, por lo que las emisiones asociadas a su proceso de producción, son calculadas por medio del factor de emisión de acero obtenido de la base de datos del ICE de la universidad de BATH en el Reino Unido.

Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor de tonelada por kilómetro y el transporte del puerto a la bodega mediante locomotora. Este último se calcula por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido por el INCOFER y se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico.

- Diésel: se obtiene directamente de RECOPE y es transportado en una cisterna desde la sede en Limón hasta la planta de producción.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

Procesos de línea de producción.

- Almacenamiento: los lingotes de acero son descargados del tren de carga de INCOFER directamente a la bodega de almacenamiento mediante el uso de un puente-grúa, allí son almacenados hasta el momento en el que se inicie el proceso de formación. Haciendo uso del mismo puente grúa, son introducidos en un cargador que los deposita en una cinta transportadora camino al horno galopante. Todos los motores involucrados en esta fase funcionan por medio de energía

eléctrica.

- Horno Galopante: los lingotes inician el proceso dentro del horno galopante en la sección de precalentamiento, se les desplaza paulatinamente en un sistema de rodillos hacia la sección de calentamiento y por último a la sección de igualación. Cuando cada lingote alcanza la temperatura nominal para su formación, es expulsado del horno hacia el descascarillador.

EL horno galopante utiliza diesel en sus operaciones diarias e inicia su combustión usando bunker. Las emisiones asociadas al proceso de combustión dentro del horno se separan en litros de diesel por tonelada de varilla y en litros de bunker por tonelada de varilla, y se multiplican en cada caso por el factor de emisión que brinda el IMN. El resto de motores y bombas, funcionan por medio de energía eléctrica.

- Tren de Laminación: fuera del horno y sobre el sistema de desplazamiento a base de rodillos, el lingote caliente inicia el proceso de desbaste en el descascarillador. Este utiliza agua presurizada por una serie de bombas eléctricas para separar la cascarilla del lingote caliente.

El lingote desbastado se mueve sobre el sistema de rodillos hacia el Primer Tren Intermedio. Está formado por 8 rodillos de formación y suplementado por bombas de lubricación y bombas de enfriamiento. Sus rodillos se mueven por motores eléctricos que pasan el lingote del primer al segundo tren intermedio.

El segundo tren intermedio consta de 8 rodillos alternadamente orientados que depuran la formación de las varillas. También se complementa el proceso con bombas, ventiladores de enfriamiento y bombas de lubricación.

El sistema de transporte a base de rodillos mueve las varillas del segundo tren intermedio hacia el acabador que con 4 rodillos concluye el proceso de formación de la varilla, y mueve las varillas terminadas hacia la mesa de enfriamiento.

Las bombas en esta sección se presurizan por medio de tres compresores eléctricos y todos los motores involucrados en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

- Evacuación: en la cama de enfriamiento, que usa un sistema de bombas hidráulicas eléctricas, a las varillas se les bajara de temperatura mientras se les mueve a la sección de evacuación.

Cuando las varillas alcanzan la temperatura nominal para su corte, se depositan por medio de la cama de enfriamiento en un sistema de transporte a base de rodillos, que las alimenta a una cortadora en frío para darles su extensión final de 6 metros.

De ser necesario por motivos de calidad, se introduce la varilla en una enderezadora ya integrada a la línea de embalaje; la cual se incluyó en la presente investigación para cálculo final de huella de carbono. Todos los motores involucrados en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

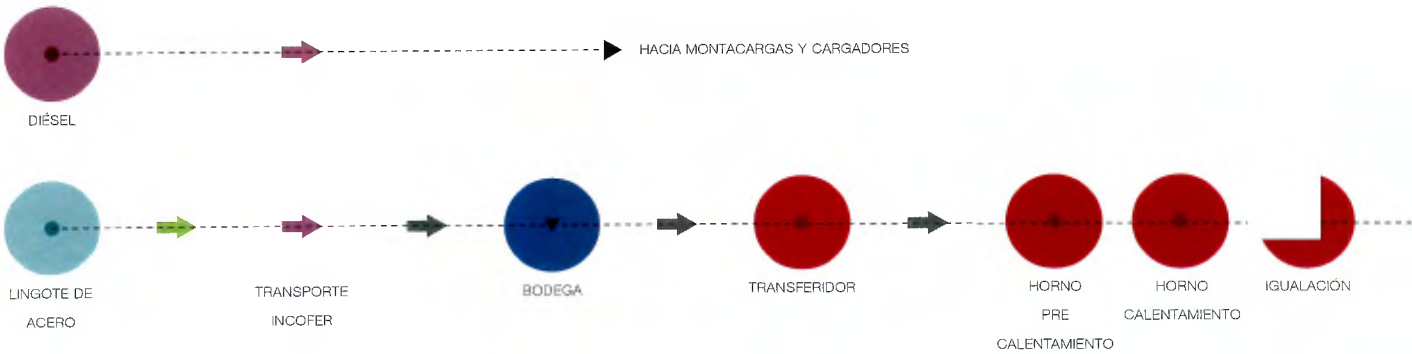
Las varillas terminadas se transfieren a una apiladora donde se atan y rotulan en paquetes, y por medio de un puente-grúa eléctrico, se depositan en los camiones que las transportaran fuera de la planta.

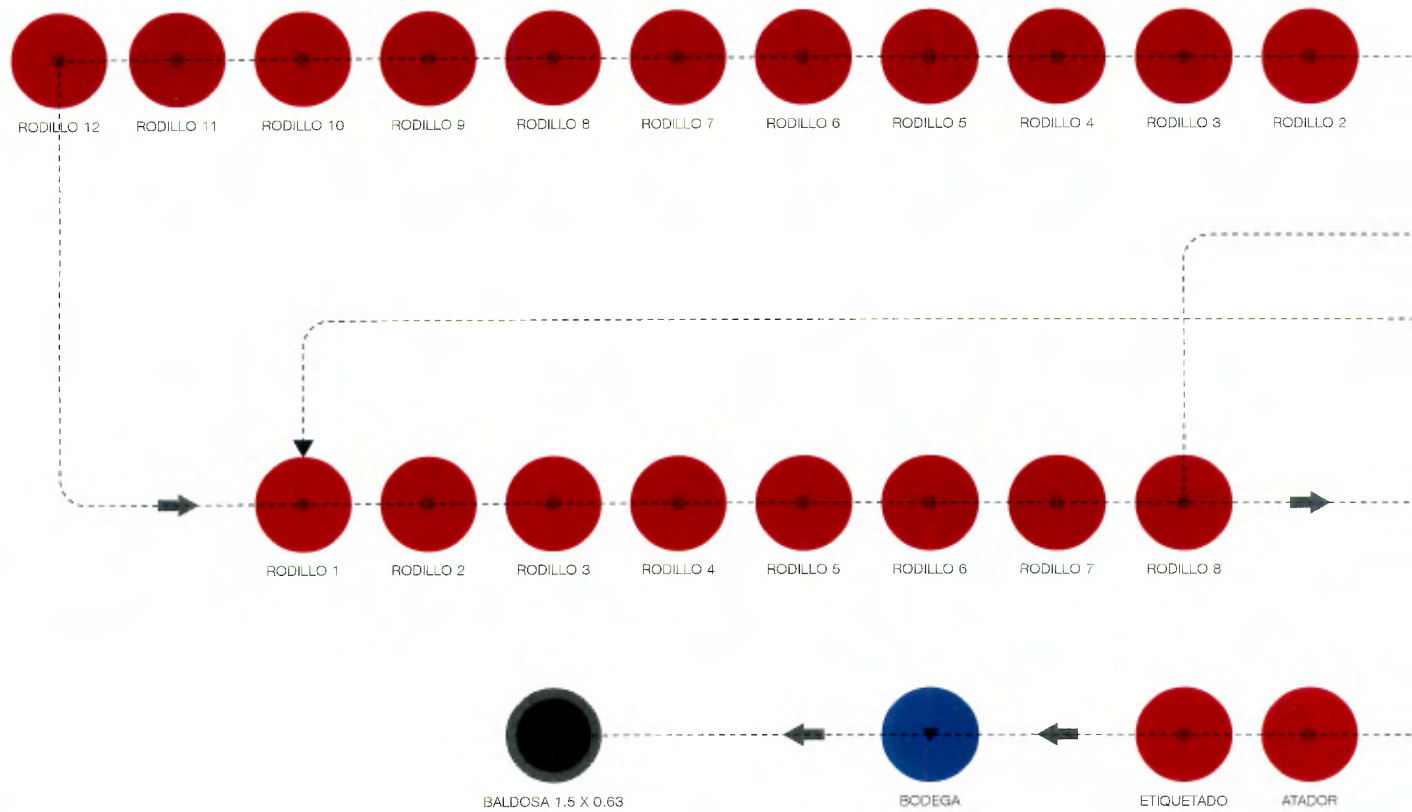
- Planta de Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI): el agua cargada de cascarilla es captada por un sistema de filtración que separa la cascarilla para su posterior uso y mueve las aguas residuales a una planta de tratamiento en sitio para su decantación y eventual reinyección al sistema de bombeo

La planta de tratamiento consta de un sistema de captación asistido por bombas, un decantador o "ciclón", un pozo de cascarilla, una sección de lavado, separación de agua sucia, soplante y dos circuitos (cerrado y abierto) que realimentan las aguas tratadas al sistema. Todos los procesos en esta etapa funcionan con energía eléctrica

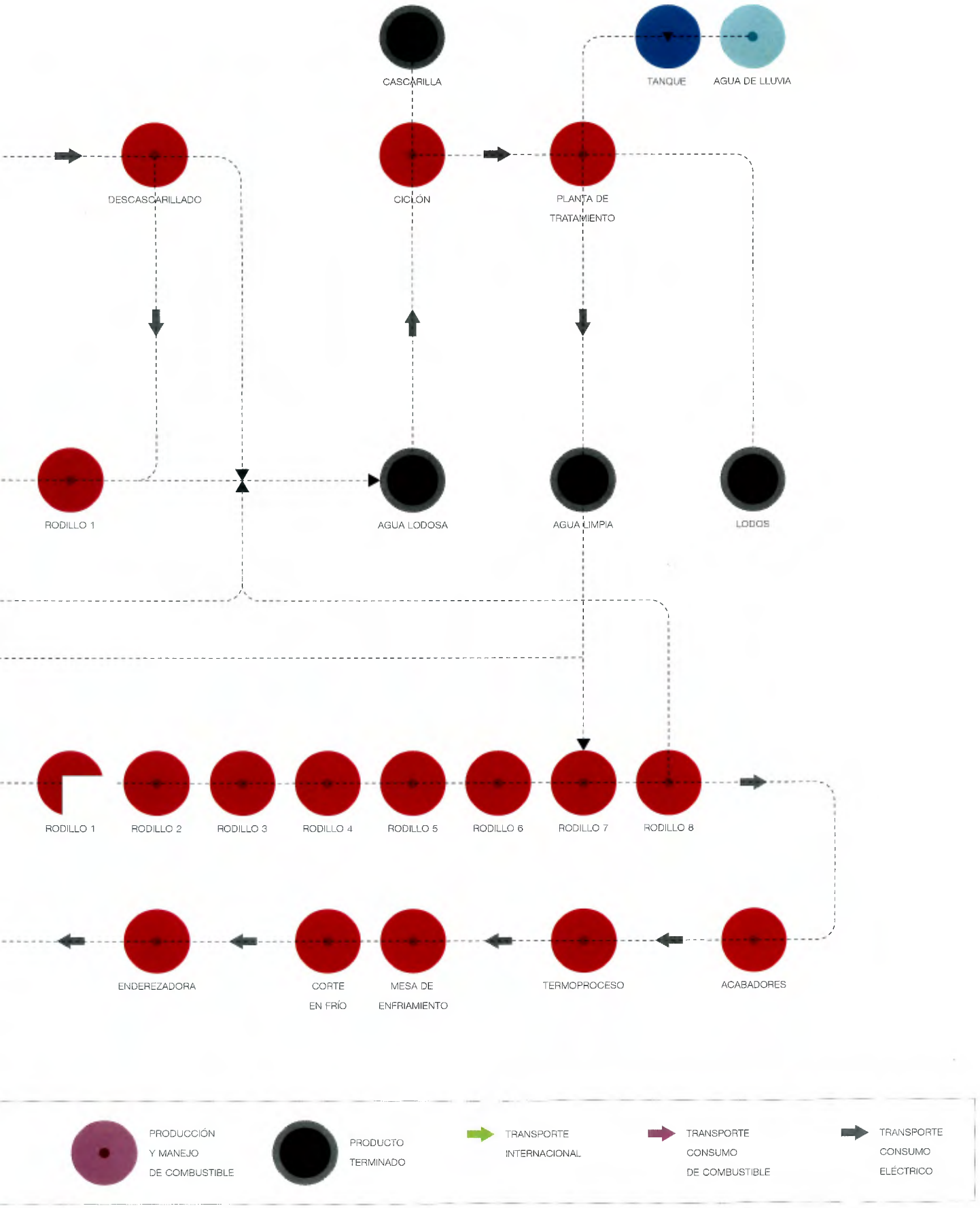
Adjudicación de emisiones

El único producto residual del proceso de manufactura de las varillas de acero es la cascarilla, y dado que la cascarilla es el insumo de otro proceso industrial, no es tratada como desecho


DIÉSEL
HACIA MONTACARGAS Y CARGADORES
LINGOTE DE ACERO
TRANSPORTE INCOFER
BODEGA
TRANSFERIDOR
HORNO PRE CALENTAMIENTO
HORNO CALENTAMIENTO
IGUALACIÓN


RODILLO 12
RODILLO 11
RODILLO 10
RODILLO 9
RODILLO 8
RODILLO 7
RODILLO 6
RODILLO 5
RODILLO 4
RODILLO 3
RODILLO 2
RODILLO 1
RODILLO 2
RODILLO 3
RODILLO 4
RODILLO 5
RODILLO 6
RODILLO 7
RODILLO 8
BALDOSA 1.5 X 0.63
BODEGA
ETIQUETADO
ATADOR

SIMBOLOGÍA
PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS
OPERACIÓN
ALMACENAMIENTO
ESPERA
FLUJO DE MATERIA


CASCARILLA
TANQUE
AGUA DE LLUVIA
DESCASCARILLADO
CICLÓN
PLANTA DE TRATAMIENTO
RODILLO 1
AGUA LODOSA
AGUA LIMPIA
LODOS
RODILLO 1
RODILLO 2
RODILLO 3
RODILLO 4
RODILLO 5
RODILLO 6
RODILLO 7
RODILLO 8
ENDEREZADORA
CORTE EN FRÍO
MESA DE ENFRIAMIENTO
TERMOPROCESO
ACABADORES
PRODUCCIÓN Y MANEJO DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO TERMINADO
TRANSPORTE INTERNACIONAL
TRANSPORTE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
TRANSPORTE CONSUMO ELÉCTRICO

para los propósitos de la presente investigación.
Adicionalmente, en ninguno de los procesos estudiados se observa absorción de CO_2e, por lo que todas las emisiones contabilizadas durante este inventario serán asociadas a la producción de la varilla #3.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.
Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. Se asumió que el agua usada dentro del sistema proviene de captación de la precipitación en sitio y que el diferencial de pérdida proviene de agua de pozo. Esto se extrapoló del semáforo ambiental provisto por la empresa donde se adjudican 0.16 m^3/ton de producto terminado para el 2013.

2. El uso de la enderezadora se asignó para toda la producción de varilla puesto que no se contó con datos de su ocurrencia. Esto agrega un 0.86% al factor de emisión dentro de la fábrica.

3. El diésel y bunker asociados a la producción de una tonelada de varilla se calcularon a través de los porcentajes de producción.

4. Debido a la falta de información específica por parte de INCOFER respecto a la capacidad de los vagones de carga, se asumieron pesos totales basados en la producción anual.

5. Se identificaron instancias donde la información de producción diaria y los tiempos de producción diaria diferían en términos de total de producto terminado, dado que esto ocurrió en menos de un 1% de las ocasiones, se le atribuyó a la desviación estándar.

6. La nomenclatura en las bases de datos provistas por la empresa para distintos productos no muestran un alto nivel de consistencia, en ocasiones recurriendo a apelativos anecdóticos. Como esto no afecta la separación de los datos de la varilla #3, se abordó el cálculo agregando los valores dispares en una sola categoría de cálculo y sustrayéndola del cálculo total.

7. La escogencia de la unidad funcional se determinó tras un análisis del modelo más producido con corroboración por parte de la empresa, no se realizó un análisis de ventas por parte del investigador.

8. Debido a la falta de datos exactos por parte de INCOFER respecto a la distancia total de la ruta férrea entre el

Tabla 14. Bases de datos de empresa productora de Varilla #3.

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Datos mensuales de producción de varilla. Enero 2013-Diciembre 2013	Empresa productora de Varilla	Primario	Suma por producto.	Determinación de Unidad funcional.
			Suma de peso de producción.	Cantidad en toneladas de varilla #3 producida en el periodo Enero 2013-Diciembre 2013.
Datos diarios de producción de Varilla. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Varilla	Primario	División peso entre producción y promedio.	Peso promedio de varilla #3
			Promedio y porcentaje por unidad funcional.	Cantidad de Bunker asociada a la producción de una tonelada de varilla.
				Cantidad de diésel asociada a la producción de una tonelada de varilla.
		Primario	Promedio y porcentaje por componente.	Variación mensual de producción y promedio anual de producción de Varilla #3
Datos diarios de tiempo de producción de Varilla. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Varilla	Primario	División y promedio.	Tiempo promedio de uso por maquina por unidad funcional.
		Primario	Promedio.	Tiempo promedio de formación de Varilla #3
Levantamiento de cargas 2013	Empresa productora de Varilla	Primario	Adjudicación por máquina.	Cantidad de electricidad asociada por maquina a la producción de una Tonelada de Varilla #3
Detalle producción y cascarilla 2013	Empresa productora de Varilla	Primario	Suma y porcentaje.	Rendimiento de Lingote y toneladas de lingote por Tonelada de varilla terminada.
Semáforo Ambiental	Empresa productora de Varilla	Primario	Suma y porcentaje.	Definición de picos y valles de consumo eléctrico para el cálculo de promedios

Tabla 15. Factores de emisión

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Factor de emisión Lingote de Acero	Base de Datos Universidad de Bath	Secundario	Innecesario	Steel General Steel - World Typical - World 39% Recy
Factor de emisión Bunker	Base de Datos Instituto Meteorológico Nacional	Primario	Innecesario	Factor de emisión Bunker
Factor de emisión diésel	Base de Datos Instituto Meteorológico Nacional	Primario	Innecesario	Factor de emisión diésel
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos Instituto Costarricense de Electricidad	Primario	Innecesario	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica

Tabla 16. Otros datos

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Densidad diésel	RECOPE	Primario	Innecesario	Densidad diésel
Densidad Bunker	RECOPE	Primario	Innecesario	Densidad Bunker
Transportes terrestres	Factores de rendimiento por kilómetro INCOFER	Secundario	Innecesario	Transportes terrestres Tren
Transportes marítimos	Factores de emisión por tonelada por kilómetro LIPASTO	Secundario	Innecesario	Transportes marítimos

puerto de carga en Moin y la empresa, se realizó un rastreo de la ruta mediante Google Earth.

9. Las distancias de transportes terrestres y marítimos han sido asumidas según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

10. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

11. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de varilla #3, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

- Producción de materias primas.
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Planta
- Combustible.

Tabla 17. Resultados / Materias Primas

Producción de Materias	Co_2e / ton producto	Porcentaje
Lingote de Acero	2,04629	88,92%

Tabla 18. Resultados / Transporte Internacional

Transporte Internacional	Co_2e / ton producto	Porcentaje
Lingote de Acero	0,0760	3,30%

Tabla 19. Resultados / Transporte Nacional

Transporte Nacional	Co_2e / ton producto	Porcentaje
Total	0,03718	1,62%
Lingote de Acero	0,03717	1,62%
Combustible Diésel	0,00001	0,00%

Tabla 20. Resultadoso / Línea de Producción

Línea de Producción	Co_2e / ton producto	Porcentaje
Total	0,0362437	1,57%
Horno Galopante	**0,0035384**	**0,15%**
Aire Combustión	0,00144871	0,06%
Cámara	0,00001399	0,00%
Sótano	0,00032166	0,01%
Celdas F.P.	0,00003206	0,00%
Central Hidráulica 01	0,00078749	0,03%
Circuito Bunker	0,00003298	0,00%
Resistencias	0,00084904	0,04%
Camino de Rodillos Horno	0,00005247	0,00%
Tren de Laminación	**0,02475824**	**1,08%**
Desbaste	0,00406919	0,18%
I Intermedio	0,00288296	0,13%
II Intermedio	0,00227712	0,10%
Acabador	0,00214041	0,09%
Lubricación	0,00131662	0,06%
Compresores	0,00388484	0,17%
Auxiliares CC Tren	0,00347554	0,15%
Camino de Rodillos Tren	0,00395612	0,17%
Auxiliares CA Tren	0,00075544	0,03%
Evacuación	**0,00366634**	**0,16%**
Auxiliares CA Evacuación	0,00255272	0,11%
Camino de Rodillos Evacuación	0,00111363	0,05%
PTAI	**0,00428072**	**0,19%**
Pozo Cascarilla	0,00000107	0,00%
Decantación	0,00170632	0,07%
Circuito Abierto	0,00043987	0,02%
Lavado	0,00057939	0,03%
Agua Sucia	0,00000725	0,00%
Soplante	0,00154506	0,07%
Circuito Cerrado	0,00000176	0,00%

Tabla 21. Resultados / Combustible y Energía

Línea de Producción	Co_2e / ton producto	Porcentaje
Total	0,10528	4,57%
Combustible Diesel	0,00031	0.01%
Combustible Bunker	0,10497	4,56%

factor de emisión
varilla #3

2,301 ton CO2e/ton

Aluminio (Perfiles para ventanería)

Información general

Definición de unidad funcional

El aluminio tiene una variedad de aplicaciones en el área de la construcción, pero para efectos de la presente investigación, se estudia su utilización en los sistemas de ventanería. Para la selección del tipo de perfil que se va a analizar, se parte con la referencia de que el tipo de sistema de ventanería más vendido en el país, utiliza 7 perfiles diferentes. Todos cuentan con el mismo largo de producción, pero para lo referente a metros cuadrados de perfil y el peso, se trabaja con el valor obtenido de promediar las siete variaciones.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de perfil producido; y todas las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo

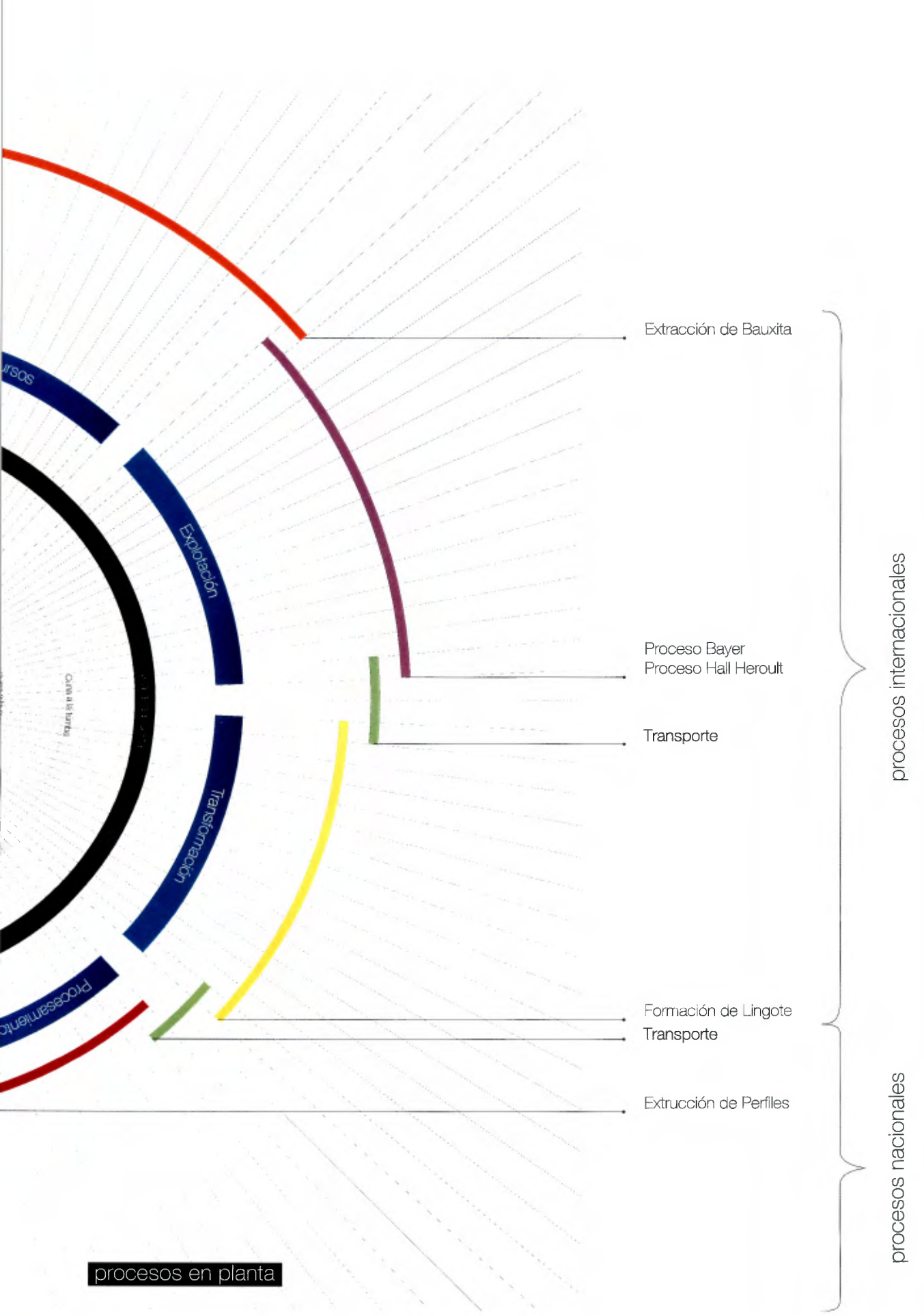
Fecha del inventario

El proceso de recolección de información con la empresa se desarrolló de Mayo a Diciembre del 2014. En este período se realizaron visitas a la planta para el estudio de los procedimientos, recolección de datos, mediciones de tiempo en sitio, consultas y entrevistas varias.

Mientras que la información provista por la empresa, a partir de sus registros, para el cálculo del inventario, abarca de Mayo a Octubre del 2014.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida del aluminio (Ver gráfico 22).



procesos en planta

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, y fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 23, los componentes del perfil de aluminio se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en el producto terminado: barra de aluminio y los químicos del proceso de anodizado (detergente alcalino, soda caústica, aditivo 1, ácido sulfúrico, ácido nítrico, sulfato de estaño, aditivo 2 y sales de níquel).

- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: gas LPG, queroseno, diesel y agua.

Proceso de Planta y cálculo asociado

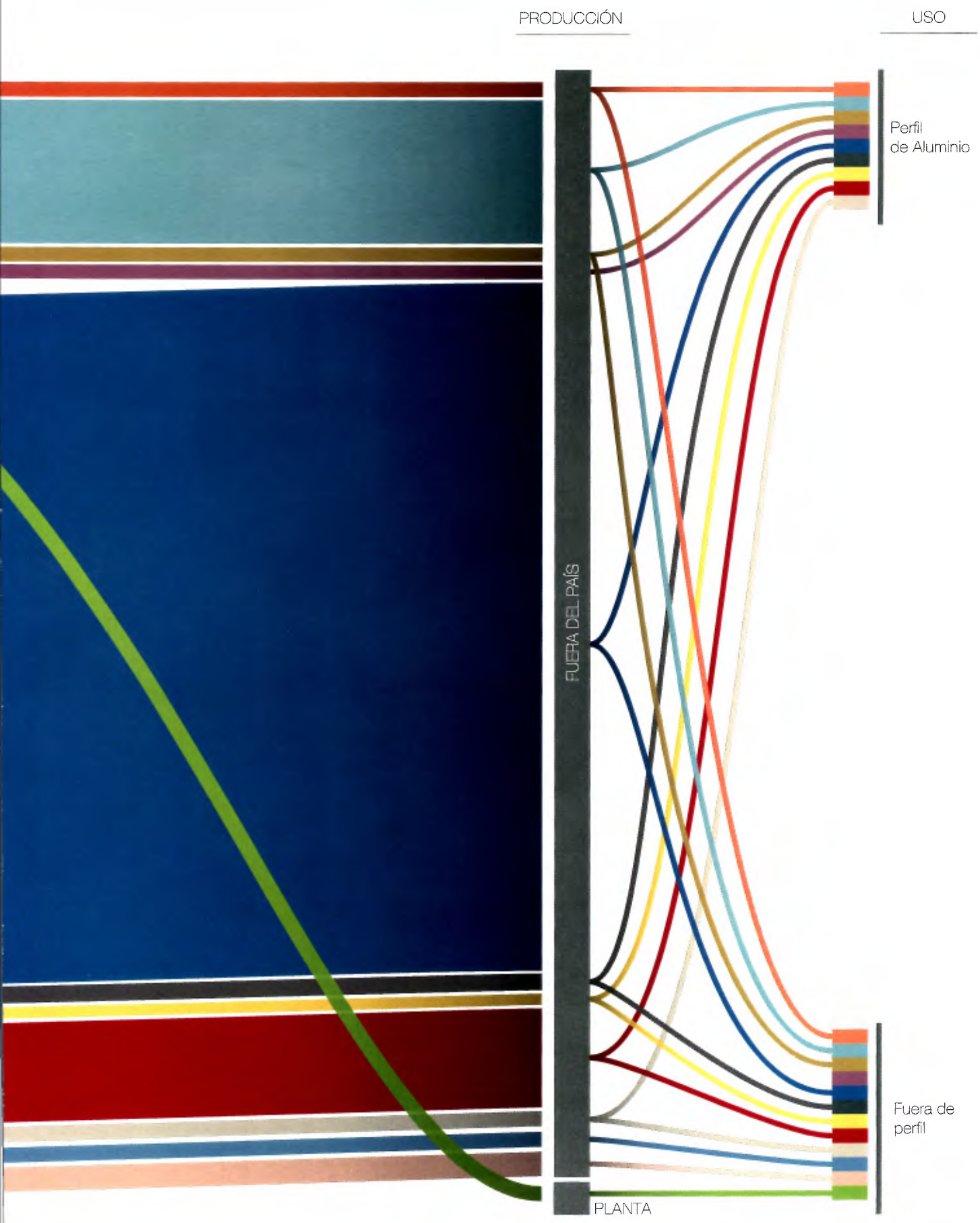
El proceso de producción del aluminio se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Extracción y producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 24) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se


PRODUCCIÓN
USO
FUERA DEL PAÍS
PLANTA
Perfil
de Aluminio
Fuera de
perfil

calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

-El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con el dato de los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción (consumos y tiempos fueron provistos por la empresa y se asignan al porcentaje que representan los perfiles estudiados dentro del total de la producción) y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad. Todas las máquinas involucradas en el proceso funcionan con electricidad.

-Algunos procesos requieren, además de la electricidad, el consumo de combustibles. El cálculo de las emisiones correspondientes se hace con el dato de los litros asociados a una tonelada de producción (consumos fueron provistos por la empresa y se asignan al porcentaje que representan los perfiles estudiados dentro del total de la producción) y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Meteorológico Nacional.

Producción y transporte de materias primas

- Barras de aluminio: Son importadas, por lo que su proceso de formación es contabilizado con un factor de emisión de una base de datos internacional (ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido). Se calcula el transporte marítimo y el traslado en contenedor de puerto a fábrica y el transporte en montacargas que las coloca en la tarima donde se inicia el proceso de producción

- Detergente alcalino: Se consigue de un proveedor en territorio nacional, por lo que se calcula el transporte de fábrica a fábrica, así como el consumo del montacargas para las operaciones de descarga y pesaje. Sin embargo, no se obtuvo el valor del factor de emisión correspondiente a la producción, ni en bases de datos internacionales, debido a la especificidad del producto.

- Soda caústica: Se consigue de un proveedor en territorio nacional, por lo que se calcula el transporte de fábrica a fábrica. Cómo es depositada mediante la pipa de transporte directamente en el lugar de almacenamiento (del que luego es bombeada para integrarse al proceso de producción) no se calcula ningún otro tipo de transporte interno. El factor de emisión correspondiente a su producción se obtuvo de una base de datos internacional (Consejo de la ciudad de Winnipeg, 2012).

- Ácido sulfúrico: Se consigue de un proveedor en territorio nacional, por lo que se calcula el transporte de fábrica a fábrica, así como el consumo del montacargas para las operaciones de descarga y pesaje. El factor de emisión correspondiente a su producción se obtuvo de una base de datos internacional (Consejo de la ciudad de Winnipeg, 2012).

- Ácido nítrico: Se consigue de un proveedor en territorio nacional, por lo que se calcula el transporte de fábrica a fábrica, así como el consumo del montacargas para las operaciones de descarga y pesaje. El factor de emisión correspondiente a su producción se obtuvo de una base de datos internacional (Consejo de la ciudad de Winnipeg, 2012).

- Aditivo 1, aditivo 2, sulfato de estaño y sales de níquel: Estos cuatro elementos son importados, por lo que se calcula el transporte marítimo y el traslado en contenedor de puerto a fábrica; así como el consumo del montacargas para las operaciones de descarga y pesaje. Sin embargo, no se obtuvo el valor del factor de emisión correspondiente a la producción de cada uno de ellos, ni en bases de datos internacionales, debido a la especificidad del producto.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

Proceso de línea de producción

- Como se observa en el diagrama X, la barra de aluminio es sometida al calor en diferentes instancias de donde salen los perfiles específicos de acuerdo a la matriz colocada. Estos son cortados a su medida de venta, para luego pasar a los tratamientos térmicos que son en función de aumentar la resistencia del material.

- Preparación de barras de aluminio: Las barras de aluminio son sometidas a calor por maquinaria que funciona en su mayoría a partir de electricidad, y una pequeña parte con gas. Deben calentarse para poder ser fragmentadas en las dimensiones necesarias para pasar por la extrusora. También se incluye el consumo de la maquinaria necesaria para manipular y transportar las barras de un punto a otro debido a su alta temperatura.

- Extrusión: En estas instancias el aluminio es un sólido maleable que es presionado a través de una matriz para obtener el tipo de perfil específico.

- Corte: Una máquina se encarga de extraer y cortar el continuo de perfil de aluminio que sale de la extrusora.

- Enfriamiento: Después de salir de la extrusora, los perfiles cortados primero pasan en una banda transportadora bajo unas torres de enfriamiento. Luego continúan a través de otra serie de bandas en las que el proceso de enfriamiento continúa a temperatura ambiente.

- Sierra de corte: El perfil es seccionado en su medida estándar de 6,40 metros, y son revisados uno por uno manualmente para control de calidad para luego ser acomodados en los elementos de transporte ("bugguies") en que son ingresados al horno de temple.

- Horno de temple: Con un sistema de grúa carga y descarga los bugguies. El proceso para que el horno alcance la temperatura necesaria para que aumente la resistencia de los perfiles, además de electricidad también implica consumo de gas.

- Anodizado: Consiste en la formación de una capa protectora sobre la superficie del aluminio conocida como alúmina u óxido de aluminio; esta genera después de que el perfil es sumergido en una serie de piletas que contienen los diferentes químicos y aditivos necesarios.

Es todo un sector de la planta que funciona con energía eléctrica y consta de bombas, extractores, sistemas de enfriamiento, sopladores, rectificadores de corriente, chillers, sistemas de aspersión de agua y dosificadores; para preparar, controlar y expulsar las diferentes soluciones.

También cuenta con la grúa que transporta los perfiles a lo largo del recorrido, descendiendo y ascendiendo en los puntos necesarios.

Durante el proceso de anodizado, por las reacciones químicas que se generan, también se libera materia en forma de gas. Sin embargo se cuenta con un sistema de cortinas de plata que los atrapa, evitando que se liberen al exterior; por lo que no se contabilizan dentro de las emisiones del factor de emisión.

Después de que el perfil se seca completamente, es empaquetado y preparado para ser transportado al punto de venta.

- Planta de tratamiento: Es necesaria para tratar las aguas que salen del proceso de anodizado.

- Transporte de desperdicios: El principal material de desecho, son los residuos que quedan de la barra de aluminio, después de obtener los perfiles de acuerdo al molde respectivo en la extrusora; llamados "scrap" (traducido como chatarra). Son transportados del interior de la planta con montacargas a un camión en el patio, y cuando este se llena, es llevado al puerto, donde el material se vende como materia prima para producir aluminio reciclado a compradores diversos.

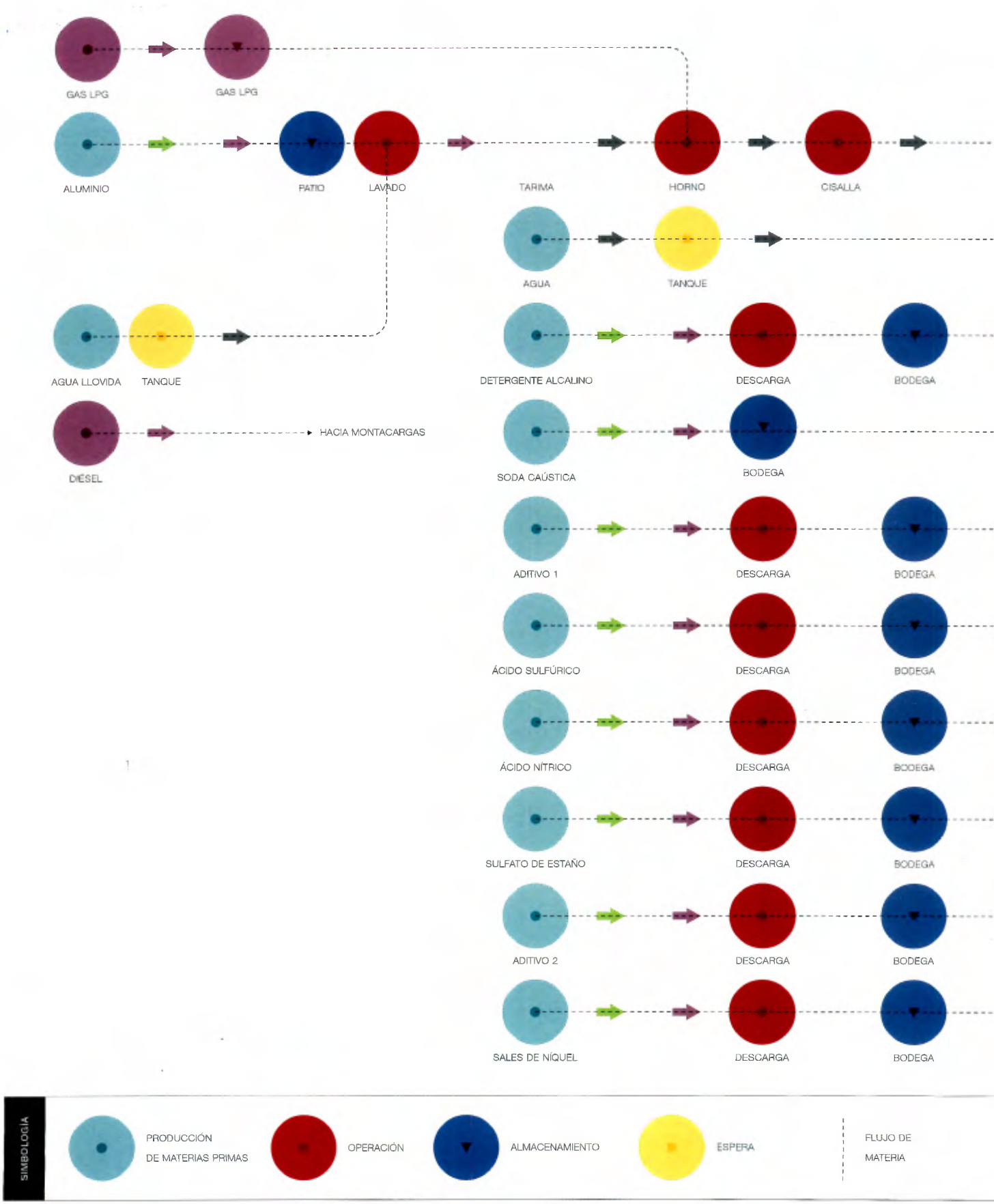
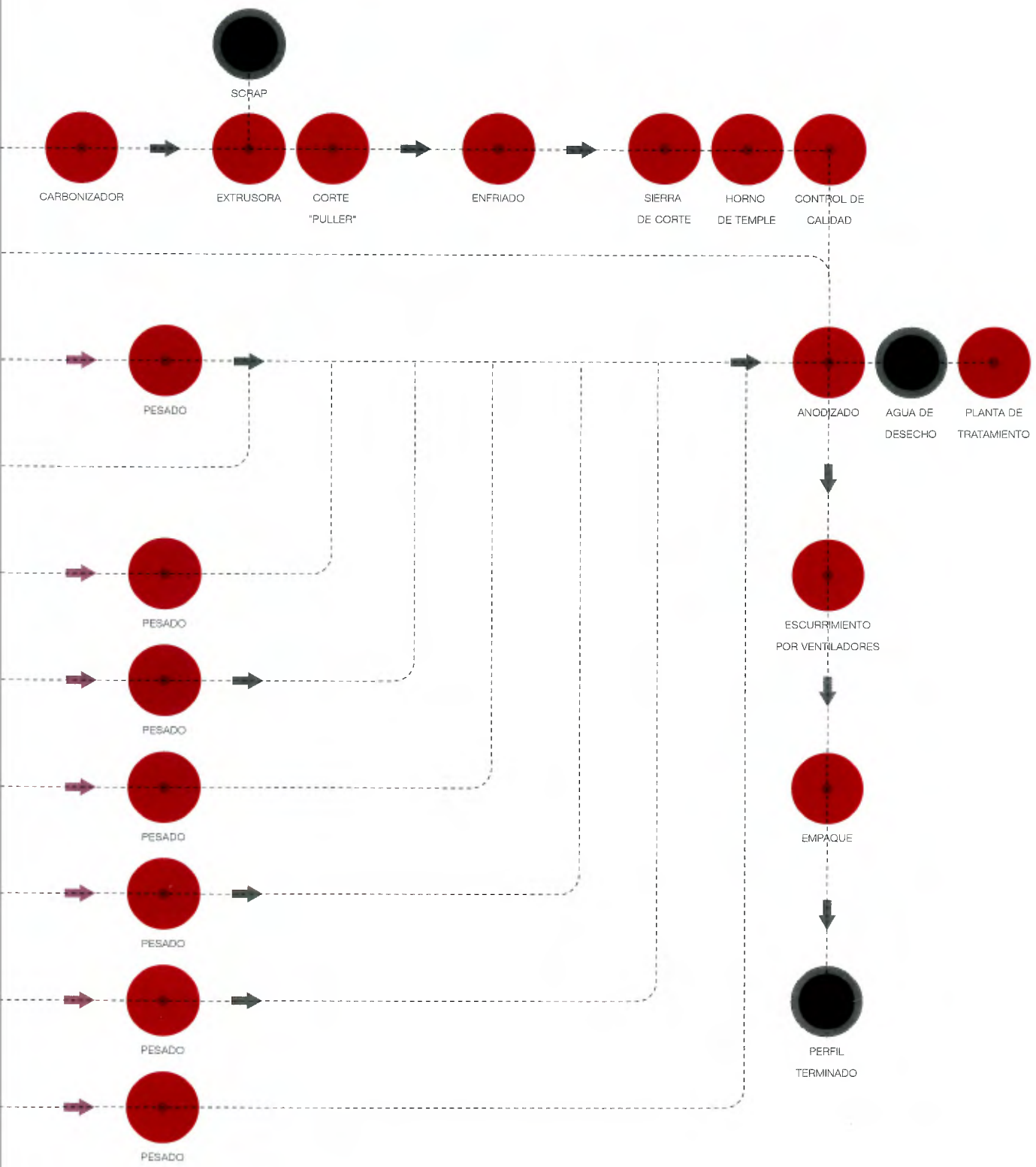


Gráfico 25. Diagrama de proceso en planta de perfil de aluminio. Elaboración: Propia.


SCRAP
CARBONIZADOR
EXTRUSORA
CORTE
"PULLER"
ENFRIADO
SIERRA
DE CORTE
HORNO
DE TEMPLE
CONTROL DE
CALIDAD
PESADO
PESADO
PESADO
PESADO
PESADO
PESADO
PESADO
ANODIZADO
AGUA DE
DESECHO
PLANTA DE
TRATAMIENTO
ESCURRIMIENTO
POR VENTILADORES
EMPAQUE
PERFIL
TERMINADO
PRODUCCIÓN
Y MANEJO
DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO
TERMINADO
TRANSPORTE
INTERNACIONAL
TRANSPORTE
CONSUMO
DE COMBUSTIBLE
TRANSPORTE
CONSUMO
ELÉCTRICO

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.

1.Para calcular cuántas toneladas de aluminio se necesitan por cada tonelada de perfil producido, se utiliza el factor de rendimiento general que tiene la planta de producción para todos los tipos de perfil.

2.El porcentaje de producción de la unidad funcional en comparación a los demás productos fabricados, se obtuvo de la comparación de las toneladas mensuales producidas de los perfiles en estudio con las toneladas mensuales totales de producción.

3.La energía eléctrica, el diesel y el gas LPG asociados a la producción de una tonelada de perfil se calculó a través de los porcentajes de producción.

Tabla 22. Recolección de datos / Bases de datos de emp

Dato	Fuente
Consumo de gas LPG Octubre 2013 – Agosto 2014	Empresa productora de
Cargas instaladas por motores eléctricos	Empresa productora de
Producción de perfiles estudiados (kg por mes) Mayo a Octubre 2014	Empresa productora de
Producción total de planta (kg por mes) Mayo a Octubre 2014	Empresa productora de

Tabla 23. Recolección de datos / Datos puntuales dados

Dato	Fuente
Peso de barra de aluminio	Empresa productora de
Factor de aprovechamiento de materia prima	Empresa productora de
Dimensiones de perfiles a estudiar	Empresa productora de
Peso de perfiles a estudiar	Empresa productora de
Rendimiento de químicos de anodizado (gramos por m2 de perfil)	Empresa productora de
Lugares de obtención de químicos de anodizado	Empresa productora de
Presentación de químicos de anodizado	Empresa productora de
Tiempo de trabajo del montacargas por proceso	Empresa productora de

Tabla 24. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	Fuente
Factor de emisión producción de aluminio	Base de Datos Universi
Factor de emisión soda caústica	City of Winnipeg databa
Factor de emisión ácido sulfúrico	City of Winnipeg databa
Factor de emisión ácido nítrico	City of Winnipeg databa
Factor de emisión diésel	Base de Datos Ins Nacional
Factor de emisión LPG	Base de Datos Ins Nacional
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos Institu Electricidad
Factor de emisión de buque para transporte marítimo	Base de datos LIPASTO

Tabla 25. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fuente
Transportes terrestres	Factores de rendimiento
Rendimiento de montacargas	Factores de rendin teórica(LIPASTO)

ductora de vidrio

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	No aplica	Litros de gas consumidos
	Primario	Suma de los kWh por motor de todos los motores de cada máquina	kWh por proceso
	Primario	Relación de porcentajes	Porcentaje de la producción que representan los perfiles estudiados (para cálculo de consumos eléctricos)
	Primario		

presa productora de aluminio

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	No aplica	No aplica
	Primario	Relación de porcentajes	Toneladas de aluminio necesarias por tonelada de perfil
	Primario	Promedio de las 7 variaciones	Metros cuadrados promedio por perfil
	Primario		
	Primario	-Equivalencia a gramos de químico por gramo de perfil -Promedio de las 7 variaciones	Toneladas de químico por tonelada de perfil
	Primario	No aplica	Kilómetros recorridos
	Primario	No aplica	Toneladas transportadas por viaje
	Primario	Multiplicación por factor de rendimiento de base de datos LIPASTO	Combustible consumido por proceso

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
h	Secundario	Multiplica las toneladas de aluminio utilizadas	Cantidad de emisiones de CO_2e
GT, 2012	Secundario	Multiplica toneladas de químico utilizadas	Cantidad de emisiones de CO_2e
	Secundario	Multiplica toneladas de químico utilizadas	Cantidad de emisiones de CO_2e
	Secundario		
teorológico	Secundario	Multiplica los litros de diesel consumidos	Cantidad de emisiones de CO_2e
teorológico	Secundario	Multiplica los litros de gas consumidos	Cantidad de emisiones de CO_2e
ricense de	Secundario	Multiplica los kWh consumidos	Cantidad de emisiones de CO_2e
	Secundario	Multiplica kilómetros recorridos por tonelada transportada	Cantidad de emisiones de CO_2e

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
)	Secundario	Rendimiento de litros de diesel por kilómetro	Litros de diesel consumidos
potencia	Secundario	Rendimiento de litros de diesel por tiempo de trabajo	Litros de diesel consumidos

4. De los químicos utilizados en el proceso de anodizado, cinco no cuentan con un factor de emisión que contabilice su proceso de producción (detergente alcalino, aditivo 1, aditivo2, sulfato de estaño y sales de níquel). La sumatoria de estos elementos representa un 2,61% de la composición del perfil.

5. Las distancias de transportes terrestres y marítimos se asumieron según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

6. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

7. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

8. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la producción de vidrio de 6 mm de espesor.

- Producción de materias primas.
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Planta
- Combustible y energía.

Tabla 26. Resultados / Materias Primas

Producción de Materias	CO_2e/ton producto	Porcentaje
Total	10,42905	93,16%
Lingote	10,30168	92,02%
Soda caústica	0,06624	0,59%
Ácido sulfúrico	0,04410	0,39%
Ácido nítrico	0,01703	0,15%

Tabla 27. Resultados / Transporte Internacional

Transporte Internacional	CO_2e/ton producto	Porcentaje
Total	0,24816	2,22%
Lingote	0,24236	2,16%
Aditivo 1	0,00174	0,02%
Sulfato de estaño	0,00174	0,02%
Aditivo 2	0,00174	0,02%
Sales de Níquel	0,00058	0,01%

Tabla 28. Resultados / Transporte Nacional

Transporte Nacional	CO_2e/ton producto	Porcentaje
Total	0,02435	0,22%
Lingote	0,02077	0,19%
Detergente alcalino	0,00015	0,00%
Soda caústica	0,00024	0,00%
Aditivo 1	0,00016	0,00%
Ácido sulfúrico	0,00256	0,02%
Ácido nítrico	0,00002	0,00%
Sulfato de estaño	0,00016	0,00%
Aditivo 2	0,00016	0,00%
Sales de níquel	0,00005	0,00%
Desechos (chatarra)	0,00008	0,00%

Tabla 29. Resultados / Línea de Producción

Línea de Producción	CO_2e/ton producto	Porcentaje
Total	0,38288	3,42%
Preparación de barras	0,01027	0,09%
Extrusión	0,09584	0,86%
Corte – "puller"	0,00511	0,05%
Enfriamiento	0,01034	0,09%
Sierra de corte	0,00283	0,03%
Horno de temple	0,00632	0,06%
Anodizado	0,22116	1,98%
Bombeo de agua general a procesos	0,00580	0,05%
Equipo complementario (compresores y secadores)	0,02080	0,19%
Planta de tratamiento	0,00441	0,04%

Tabla 30. Resultados / Combustible y Energía

Combustible y Energía	CO_2e/ton producto	Porcentaje
Total	0,1107	0,99%
Combustible Diésel	0,00215	0,02%
Gas LPG	0,06444	0,58%
Keroseno	0,04411	0,39%

11,195 ton CO2e/ton

Baldosas prefabricadas de concreto (1.5 m x .63 m)

Información General

Definición de unidad funcional

El sistema de concreto prefabricado utilizado comúnmente en Costa Rica se encuentra compuesto principalmente por columnas pretensadas y baldosas armadas, las cuales son ensambladas para crear diferentes tipos de edificaciones.

Para determinar la unidad funcional se analizaron las ventas netas de los componentes del sistema en el período mayo 2013-mayo2014. A partir de esto, se seleccionó la baldosas de concreto de 1.5 m por 0.63 m, de 6cm de grosor reforzadas internamente con una armadura de acero.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de baldosa de 1.5m x 0.63m producida. Las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo.

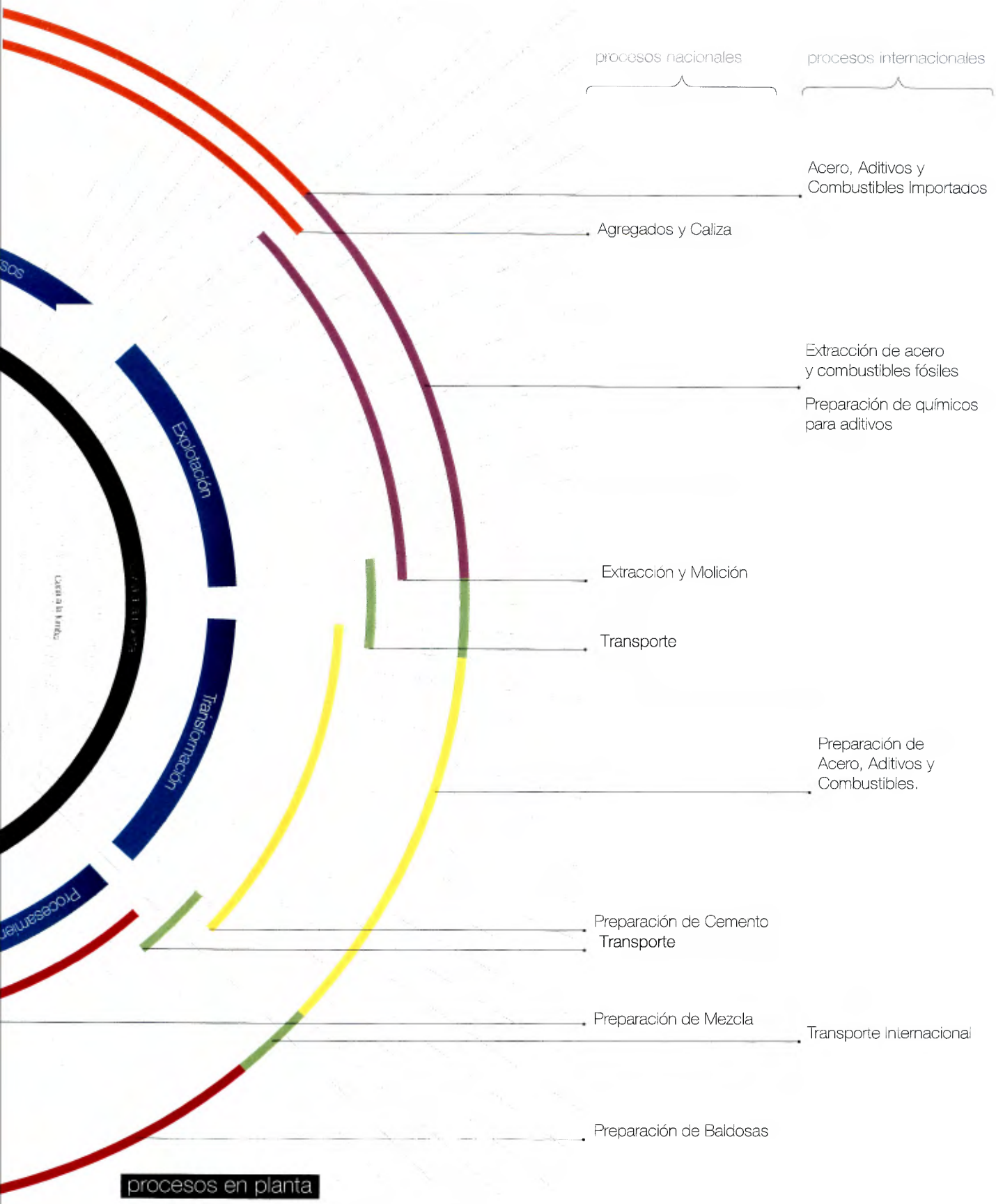
Fecha del inventario

Los datos recopilados para el inventario corresponden a un período de 13 meses comprendidos entre mayo 2013 y mayo 2014. Las mediciones fueron realizadas entre junio 2014 y octubre 2014, momento en el cual el equipo de trabajo visitó la planta.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida de la baldosa de 1.5 x .63 (Ver gráfico 26).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, y en varios casos, fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se


procesos nacionales
procesos internacionales
Acero, Aditivos y Combustibles Importados
Agregados y Caliza
Extracción de acero y combustibles fósiles
Preparación de químicos para aditivos
Extracción y Molición
Transporte
Preparación de Acero, Aditivos y Combustibles.
Preparación de Cemento
Transporte
Preparación de Mezcla
Transporte Internacional
Preparación de Baldosas
Explotación
Transformación
procesos en planta

estudian dichos procesos a detalle.

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 27, los componentes de la baldosa se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en la mezcla de concreto: arena industrial, arena de río, piedra quinta, cemento, aditivo 1, aditivo 2 y agua.
- Materiales contenidos en baldosa externos a la mezcla de concreto: acero, separadores de polipropileno, aditivo 3.
- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: diésel para montacargas y cargadores, agua (no contabilizada).

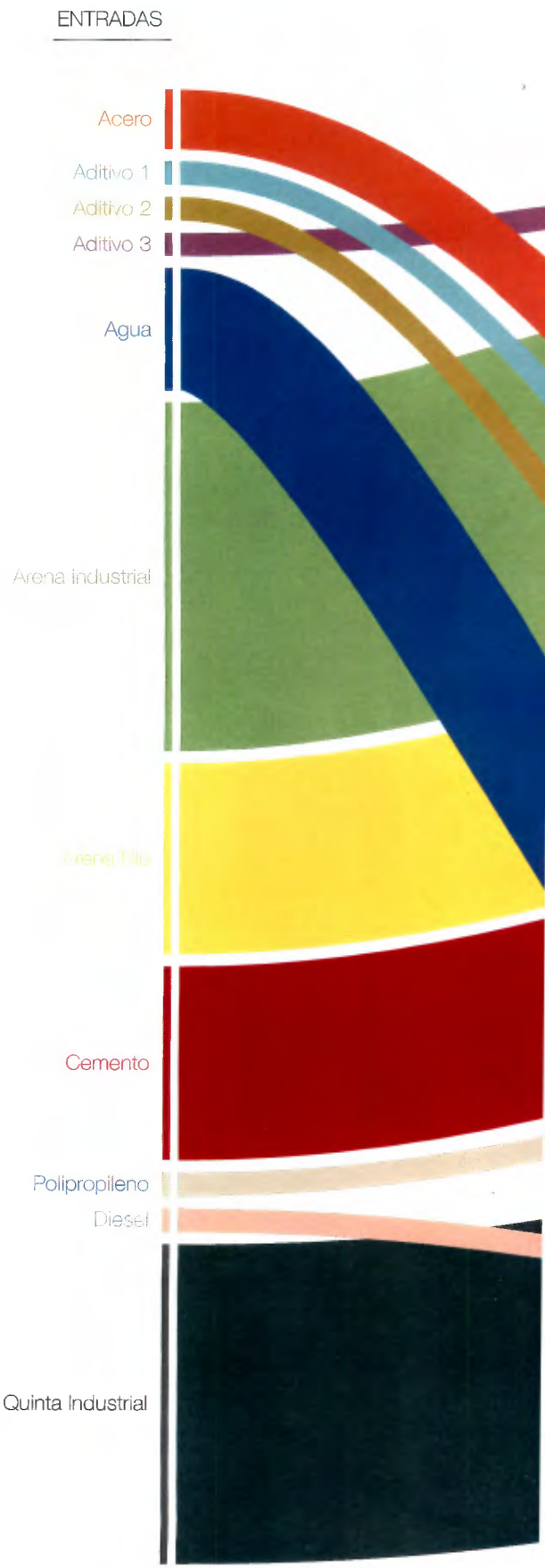
De igual forma las materias primas se clasificaron según el sitio de producción.

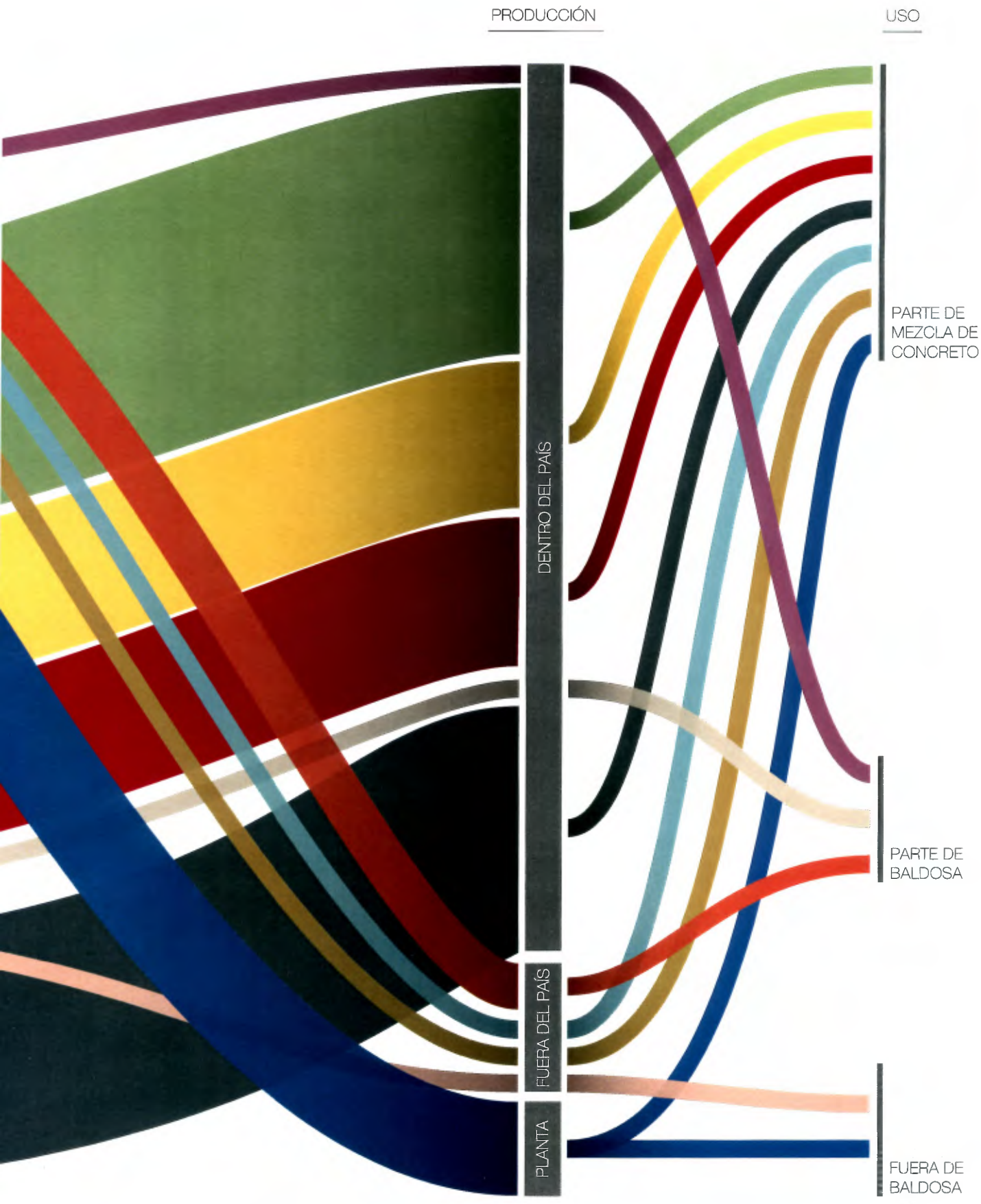
- Materias producidas en suelo nacional: arena industrial, arena de río, piedra quinta, cemento y aditivo 3.
- Materias producidas fuera del territorio nacional: aditivo 1, aditivo 2, acero, separadores de polipropileno y diésel.
- Materias producidas o recolectadas dentro de planta: agua.

Proceso de planta y cálculo asociado

El proceso de producción de la baldosa se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos individuales de materia prima dentro de la fábrica.
- Procesos de línea de producción.




PRODUCCIÓN
USO
DENTRO DEL PAÍS
FUERA DEL PAÍS
PLANTA
PARTE DE MEZCLA DE CONCRETO
PARTE DE BALDOSA
FUERA DE BALDOSA

El diagrama de proceso (gráfico 28) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Una importante aclaración consiste el tema de las adjudicaciones, la industria de estudio no presenta información de reciclaje de material ni contabilización de desechos. No existe ningún caso de absorción de CO_2e ni subproductos del proceso de dicha unidad funcional, por lo que todas la emisiones contabilizadas durante este inventario son asociadas a la producción de la baldosa de 1.5 x 0.63 m.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

- El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con dos variables paralelas, por medio de potencias de la maquinaria y por medio de una estimación a través de los recibos eléctricos del periodo correspondiente. Se obtienen los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

-Las emisiones relativas al uso de montacargas se calculan a partir del dato de consumo de diesel por área suministrado por el departamento contable de la empresa.

Producción y transporte de materias primas

- Agregados: Corresponden a piedra quinta, arena industrial y arena de río. Son producidos por terceros fuera de la fábrica de concreto, por lo que las emisiones asociadas a este proceso son calculadas con factores de emisión brindados por los proveedores. El transporte es por trailetas directo a la planta de producción.

- Cemento: Es producido por un agente externo a la empresa pero dentro del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a su proceso de producción se procede a utilizar un factor de emisión brindado por el productor. Se transporta en un tráiler con capacidad aproximada de 25 toneladas.

- Aditivos: Los aditivos 1 y 2 son producidos fuera del territorio nacional y no existen factores de emisión asociados a su producción. Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor de tonelada por kilómetro, el transporte en tráiler del puerto a la bodega de la empresa productora y el transporte en camión de la bodega a la planta de producción de baldosas.

- Acero: la producción de acero pudo ser rastreada hasta Guatemala, por lo que no se cuentan transportes anteriores a esta ubicación. Para el factor de emisión asociado a su producción se utiliza el factor para alambre de acero obtenido de la base de datos del ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido.

El transporte internacional se da por tierra hasta la bodega de la empresa proveedora en el país. El transporte nacional se da por medio de un tráiler que lleva las bobinas de alambre de la bodega a la planta de producción.

- Separadores de Polipropileno: el productor utiliza una proporción de plástico reciclado y polipropileno importado, sin embargo el proceso no se encuentra claramente disponible, por lo que se procede a utilizar un factor de emisión para la producción de polipropileno.

Son transportados a la planta de producción de baldosas en un vehículo liviano y su cargamento varía de acuerdo al pedido, por lo que se utiliza un aproximado para calcular la capacidad transportada (ver anexo de tablas y memorias de cálculo).

- Aditivo 3: Es producido dentro del país y no existe un factor de emisión asociado a su producción. Se transporta en camión de la bodega a la planta de producción de baldosas.

- Diésel: Se obtiene gracias a un intermediario entre RECOPE y la empresa productora de baldosas. Es transportado en un camión cisterna desde la sede en Cartago hasta la planta de producción.

Procesos Individuales en planta

- Agregados: Cuando las trailetas llegan a la planta, depositan los agregados en un patio, donde son almacenados hasta que un cargador los deposita en una tolva. De ahí, la piedra quinta pasa directamente a la banda transportadora, la cual la lleva a los silos de almacenamiento.

Las arenas pasan por una criba para luego llegar a la banda transportadora que las sube a los silos, en donde se unen a la línea de proceso general. Tanto la banda como la criba funcionan con energía eléctrica.

- Cemento: Al llegar a la planta es depositado directamente en el silo por medio de un soplador y un tornillo, dejándolo listo para ingresar a la línea de producción. Tanto el soplador como el tornillo funcionan con energía eléctrica.

- Aditivos: El transporte interno asociado al sitio de producción se hace por medio de un montacargas.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

- Acero: Una vez en sitio, el alambre debe pasar por un proceso de corte y soldadura el cual consume energía eléctrica. El transporte interno se da por montacargas.

- Separadores de Polipropileno: En la planta los separadores deben estar constantemente en un tanque de agua hirviendo el cual funciona con energía eléctrica.

- Aditivo 3: El transporte interno en sitio de producción se hace por medio de un montacargas.

- Diésel: Una vez en sitio se calculan sus emisiones según el consumo de diésel por baldosa de 1.5m x 0.63m. Por medio del factor de emisión obtenido del Instituto Meteorológico Nacional.

Procesos de línea de producción.

- Mezcladora: A la mezcladora entran directamente los agregados, cemento, aditivos y agua, se baten y salen a las dos bandas que llevan la mezcla de concreto fresco a la zona de formación de baldosas. Tanto la mezcladora como las bandas transportadoras funcionan por medio de energía eléctrica.

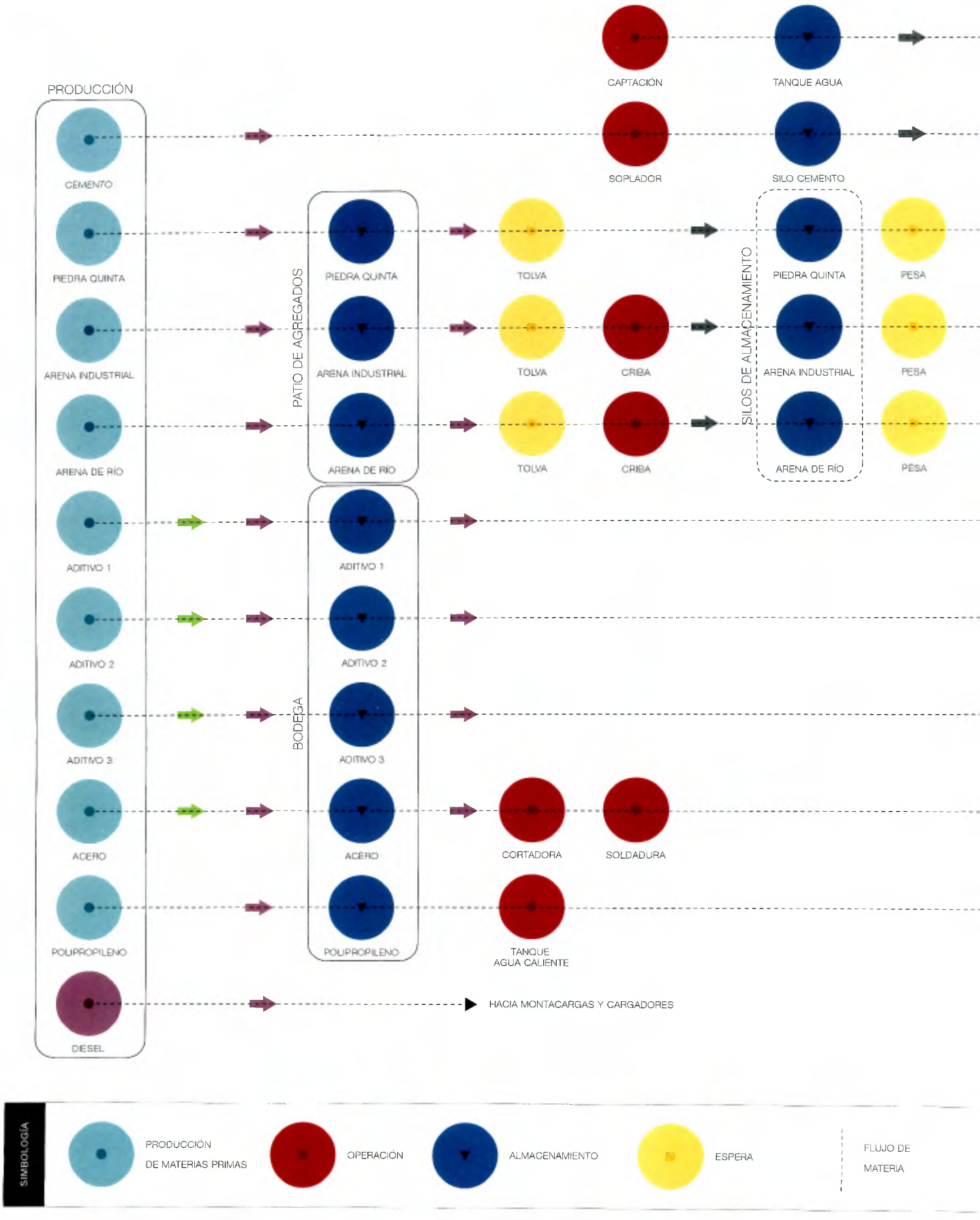
- Formación: La estación de formación de baldosas se compone de un área de preparación, un sistema de desplazamiento, un elevador, un descensor y una bodega de curado.

La mezcla proveniente de las bandas transportadoras es depositada en una tolva, donde por medio de un dosificador y un vibrador, pasa a los moldes. En estos es extendida por operadores y un segundo vibrador la distribuye uniformemente.

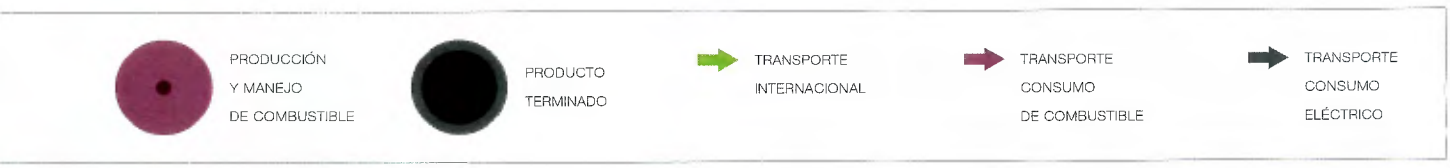
Cada molde, con capacidad para dos baldosas, es llevado mecánicamente al elevador, que deposita y acomoda las baldosas en una cámara de curado en donde esperan hasta estar listas. Una vez curadas, las baldosas descienden mecánicamente y esperan a ser desencofradas por el robot de desencofrado y apilado. Todos los motores y bombas involucradas en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

- Robot de desencofrado y apilado: Separa las baldosas de los moldes por medio de ventosas y las transporta a un área de pre-apilado. Ambos procesos funcionan con energía eléctrica

- Grúa y monorriel: Se encargan de mover las baldosas


PRODUCCIÓN
CEMENTO
PIEDRA QUINTA
ARENA INDUSTRIAL
ARENA DE RÍO
ADITIVO 1
ADITIVO 2
ADITIVO 3
ACERO
POLIPROPILENO
DIESEL
PATIO DE AGREGADOS
PIEDRA QUINTA
ARENA INDUSTRIAL
ARENA DE RÍO
BODEGA
ADITIVO 1
ADITIVO 2
ADITIVO 3
ACERO
POLIPROPILENO
CAPTACIÓN
TANQUE AGUA
SOPLADOR
SILO CEMENTO
TOLVA
TOLVA
TOLVA
CRIBA
CRIBA
SILOS DE ALMACENAMIENTO
PIEDRA QUINTA
ARENA INDUSTRIAL
ARENA DE RÍO
PESA
PESA
PESA
CORTADORA
SOLDADURA
TANQUE
AGUA CALIENTE
HACIA MONTACARGAS Y CARGADORES
SIMBOLOGÍA
PRODUCCIÓN
DE MATERIAS PRIMAS
OPERACIÓN
ALMACENAMIENTO
ESPERA
FLUJO DE
MATERIA

MEZCLADORA
COLADO
CURADO
DESENCOFRADO
PILA
BODEGA
BALDOSA 1.5 X 0.63


PRODUCCIÓN
Y MANEJO
DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO
TERMINADO
TRANSPORTE
INTERNACIONAL
TRANSPORTE
CONSUMO
DE COMBUSTIBLE
TRANSPORTE
CONSUMO
ELÉCTRICO

a una zona de apilado y posteriormente a un montacargas que lo lleva a la bodega de venta. Ambos procesos funcionan con energía eléctrica.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Tiempos de procesos en empresa productora de baldosa
Algunos casos específicos son dados por la empresa directamente; sin embargo, otros son obtenidos por mediciones realizadas en sitio, que son promediadas y posteriormente calculadas por tonelada de baldosa terminada.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de

Tabla 31. Recolección de datos / Bases de datos de emp

Dato	
Datos mensuales de venta de productos. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa prod
Datos diarios de producción de baldosa. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa prod
Datos unitarios de producción de mezcla. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa prod
Estudio Eléctrico Planta de Producción de Baldosas Mayo 2013-Mayo2014	Empresa prod
Datos de consumo de diésel por centro de costo. Mayo 2013-Febrero 2014	Empresa prod
Reporte diario total de producción. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa prod

Tabla 32. Recolección de datos / Tiempos de proceso en

Dato	
Duración proceso criba 12m3 / bandas / soplador	Empresa prod
Revoluciones por minuto, cantidad de hélices y volumen tornillo cemento	Empresa prod
Duración procesos de tanque de separadores	Empresa prod
Duración procesos individuales	Medición en si
Duración de procesos línea de producción	Medición en si

Tabla 33. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	
Factor de emisión arena industrial	Empresa prov
Factor de emisión arena de río	Empresa prov
Factor de emisión piedra quinta	Empresa prov
Factor de emisión cemento	Empresa prov
Factor de emisión alambre de acero	Base de Datos
Factor de emisión polipropileno	Base de Datos
Factor de emisión diésel	Base de Datos
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos

Tabla 34. Recolección de datos / Otros datos

Dato	
Potencias de motores	Empresa prod
Distancias a fábrica	Google Earth
Densidad diésel	RECOPE
Densidad arena industrial	Empresa prov
Densidad arena de río	Empresa prov
Densidad piedra quinta	Empresa prod
Densidad Cemento	Dato general p
Densidad Aditivo 1	Empresa prov
Densidad Aditivo 2	Empresa prov
Densidad Aditivo 3	Empresa prov
Transportes terrestres	Factores de re
Transportes marítimos	Factores de e

oductora de baldosa

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Baldosa	Primario	Suma por producto.	Determinación de Unidad funcional.
		Suma de peso de producción.	Cantidad en toneladas de baldosa producida mayo 2013-mayo 2014.
Baldosa	Primario	Diferencia y promedio de peso de mezcla y peso final.	Cantidad de mezcla fresca por tonelada de baldosa
		División peso entre producción y promedio.	Peso por baldosa terminada según planta.
		Promedio y porcentaje por componente.	Receta de composición de baldosa excepto agua.
	Primario	Promedio y porcentaje por componente.	Cantidad de agua por tonelada de mezcla de concreto fresco
Baldosa	Primario	División y promedio.	Tiempo promedio de mezcladora por tonelada de concreto fresco.
		Promedio.	Peso promedio de mezcla de concreto fresco por ciclo de mezcladora.
Baldosa	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de electricidad asociada a la producción de una tonelada de baldosa.
Baldosa	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de diésel asociada a la producción de una tonelada de baldosa.
Baldosa	Primario	Suma y porcentaje.	Porcentaje de producción de baldosas de 1,5x0.63 en el periodo mayo 13-14.

sa productora de baldosa

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Baldosa	Primario	División tiempo entre peso utilizando la densidad.	Tiempo de proceso por tonelada de producto
Baldosa	Primario	Cálculo mediante volumen y revoluciones por minuto.	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
Baldosa	Primario	Utilización del tiempo de jornada completa	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
	Primario	Promedio	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
	Primario	Promedio	Tiempo de proceso por tonelada de producto.

Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	Innecesario	Factor de emisión arena industrial
	Primario	Innecesario	Factor de emisión arena de río
	Primario	Innecesario	Factor de emisión piedra quinta
	Primario	Innecesario	Factor de emisión cemento
lad de Bath	Secundario	Innecesario	Factor de emisión alambre de acero
lad de Bath	Secundario	Innecesario	Factor de emisión polipropileno
Metereológico Nacional	Primario	Innecesario	Factor de emisión diésel
Costarricense de Electricidad	Primario	Innecesario	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica

Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Bloque	Primario	Innecesario	Potencias de motores
	Secundario	Innecesario	Distancias a fábrica
	Primario	Innecesario	Densidad diésel
	Primario	Innecesario	Densidad arena industrial
	Primario	Innecesario	Densidad arena de río
	Primario	Innecesario	Densidad piedra quinta
nto	Secundario	Innecesario	Densidad Cemento
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 1
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 2
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 3
por km LIPASTO	Secundario	Innecesario	Transportes terrestres
ton km LIPASTO	Secundario	Innecesario	Transportes marítimos

información faltante en la empresa.

Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. Tanto los reportes de producción diaria como los totales diarios de producción, se de la empresa en formato impreso, por lo que se ha procedido a transcribirlos en formato de Excel; con la posibilidad de errores de lectura o mecanografía.

2. La cantidad de agua por mezcla, y consecuentemente por baldosa, ha sido extrapolada de los reportes unitarios de mezclas. Se promedió la cantidad de agua utilizada en comparación a los demás ingredientes y este porcentaje se agregó a la receta por tonelada obtenida de los reportes diarios de producción.

3. El peso de mezcla de concreto fresco por baldosa terminada, se obtuvo de la suma de todos los ingredientes de la mezcla según los reportes de producción y el agua dada por los reportes de mezcla. Este dato se compara con el peso de una baldosa según los reportes de producción de la planta, para obtener la cantidad de toneladas de concreto fresco por cada tonelada de baldosa terminada.

4. El porcentaje de producción de la unidad funcional en comparación a los demás productos fabricados, se obtuvo de la extrapolación del peso mensual de los reportes diarios de producción y de la comparación con las toneladas mensuales totales de producción obtenidas de los totales diarios de producción.

5. Existen dos variables del factor de emisión debido a los datos energéticos utilizados en el cálculo. Uno es calculado por medio del tiempo y las potencias de las máquinas obtenidos en la planta, y el otro por medio de las facturas eléctricas de la planta.

6. La energía eléctrica asociada a la producción de una tonelada de baldosa se calculó a través de los porcentajes de producción de baldosas.

7. El diésel asociado a la producción de una tonelada de baldosa se calculó a través de los porcentajes de producción.

8. El factor de emisión de la arena de río se obtuvo de un proveedor distinto al principal debido a que no existía un dato local de la extracción y producción de la misma.

9. Ninguno de los aditivos presentes en la composición de la unidad funcional cuentan con factores de emisión, por lo que se dejaron por fuera del cálculo final. Según la metodología utilizada, esto no afecta la rigurosidad de los cálculos, ya que en conjunto no representan más de un 0.05% de la masa total de la baldosa.

10. Las distancias de transportes terrestres y marítimos han sido asumidas según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

11. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

12. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

13. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

14. En los casos de las bandas de mezcladora y el tornillo de cemento, se obtuvo la capacidad del proceso a través del volumen de la maquinaria y no del volumen real de material; sin

Tabla 35. Resultados de inventario / Materias Primas

Producción de Materias	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,17533	94,78%	92,94%
Piedra Quinta	0,00069	0,37%	0,37%
Arena Industrial	0,00083	0,45%	0,44%
Arena Lavada	0,00038	0,21%	0,20%
Cemento	0,13418	72,54%	71,12%
Acero	0,03835	20,73%	20,33%
Separadores Polipropileno	0,00090	0,49%	0,48%

Tabla 36. Resultados de inventario / Transporte Internacional

Transporte Internacional	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00192	1,04%	1,02%
Aditivo 1	0,00000	0,00%	0,00%
Aditivo 2	0,00005	0,03%	0,03%
Acero	0,00187	1,01%	0,99%

Tabla 37. Resultados de inventario / Transporte Nacional

Transporte Nacional	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00383	2,07%	2,03%
Piedra Quinta	0,00032	0,17%	0,17%
Arena Industrial	0,00038	0,20%	0,20%
Arena Lavada	0,00200	1,08%	1,06%
Cemento	0,00099	0,53%	0,52%
Aditivo 1	0,00001	0,00%	0,00%
Aditivo 2	0,00006	0,03%	0,03%
Aditivo 3	0,00001	0,00%	0,00%
Acero	0,00003	0,02%	0,02%
Separadores Polipropileno	0,00003	0,01%	0,01%
Combustible Diésel	0,00001	0,00%	0,00%

Tabla 38. Resultados de inventario / Procesos Individuales

Procesos Individuales	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00033	0,18%	
Piedra Quinta	0,00001	0,01%	
Arena Industrial	0,00002	0,01%	
Arena Lavada	0,00001	0,00%	
Cemento	0,00007	0,04%	
Agua	0,00001	0,01%	
Acero	0,00022	0,12%	
Separadores Polipropileno	0,00000	0,00%	

Tabla 39. Resultados de inventario / Procesos Individuales

Línea de Producción	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00046	0,25%	
Preparación de la mezcla	0,00007	0,04%	
Formación de Baldosas	0,00018	0,10%	
Desencofrado	0,00020	0,11%	

Tabla 40. Resultados de inventario / Procesos Individuales

Uso energía	CO_2e/ton producto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total		1,69%	4,02%
Combustible Diésel	0,00312	1,69%	1,65%
Energía Eléctrica	0,00446		2,36%

embargo, dichos proceso representan menos de un 0.05% de las emisiones.

15. Las mediciones en sitio han sido realizadas por un cronómetro manual de centésimas de segundo; sin embargo las emisiones asociadas a dichos procesos representan un 0.21% de las emisiones totales.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de baldosas de 1.5 m x0.63 m, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

- Producción de materias primas
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Individuales.
- Procesos Línea de Producción.
- Combustible y energía.

factor de emisión
baldosa 1.5m x 0.63m

0,189

ton CO_2e/ton

Producción Arena Industrial
Producción Piedra Quinta
Producción Arena de Río
Producción Polipropileno
Producción Acero
Producción Cemento
92.94% Producción de Materias Primas
1.02% Transporte Internacional
2.03% Transporte Nacional
1.65% Combustible Diésel
2.36% Energía Eléctrica
22%
78%
Sitio de emisiones
22% emisiones internacionales
2%
98%
Sitio de emisiones
98% emisiones fuera de planta
2% emisiones en planta
59%
41%
Emisiones en planta
1%
98%
Tipo de Transporte

Bloques de concreto

Información General del Inventario

Definición de unidad funcional

El sistema de mampostería armada es comúnmente utilizado en Costa Rica. Para encontrar la unidad funcional se hace un analizaron las ventas de los bloques producidos por la empresa. en el periodo mayo 2013-mayo2014. La unidad funcional escogida consiste en bloques de concreto de 12 x 20 x 40 cm.

Fecha del inventario

Los datos recopilados para el inventario corresponden a un período de 13 meses comprendidos entre mayo 2013 y mayo 2014. Las mediciones fueron realizadas entre junio 2014 y octubre 2014 momento en el cual el equipo de trabajo visitó la planta.

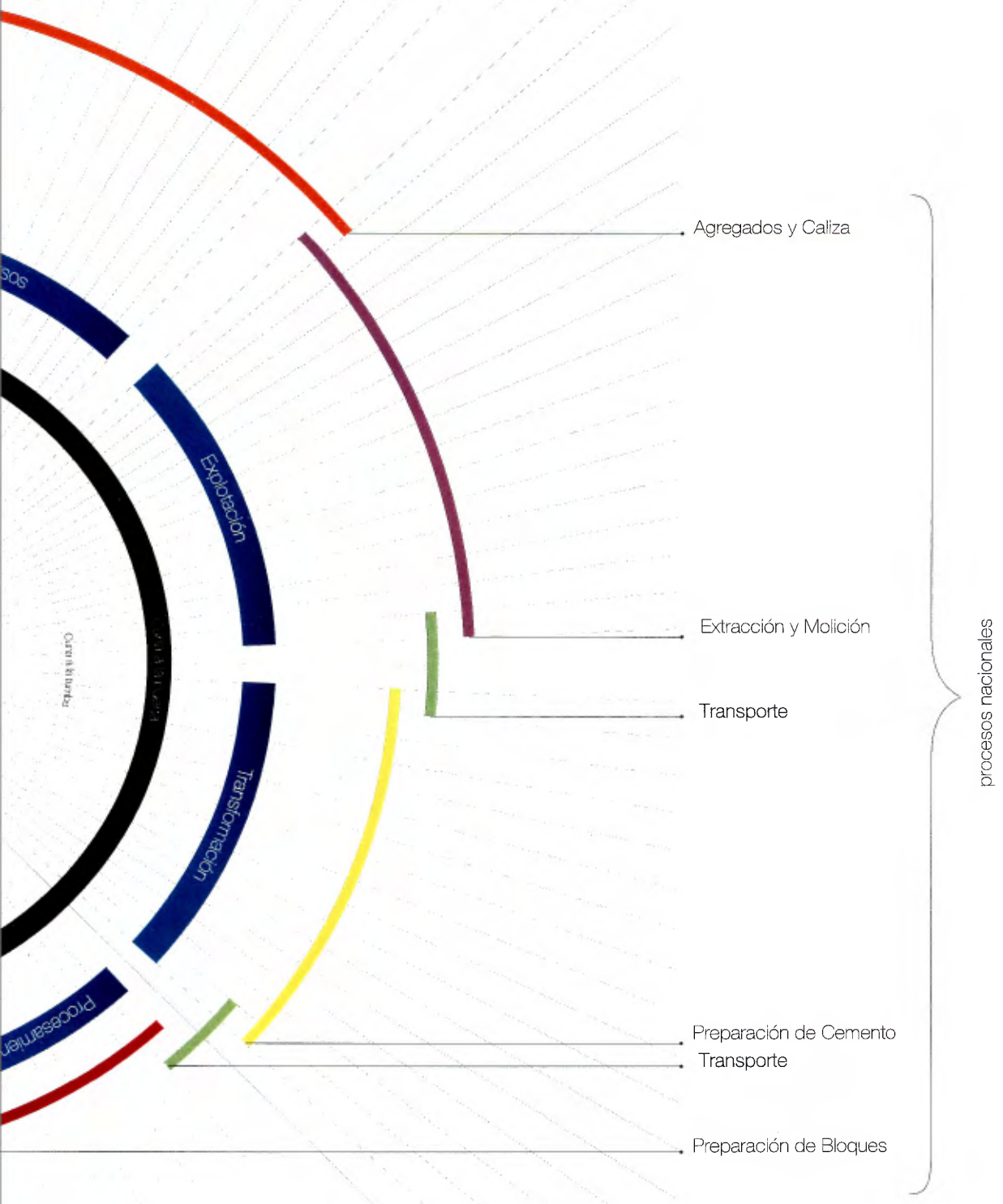
Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de bloques de concreto de 12 x 20 x 40 cm producida. Y todas las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste en un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida del bloque de 12x20x40 cm (Ver gráfico 30).

Todos los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.

Gráfico 30. Ciclo de Vida Bloques. Elaboración Propia



procesos en planta

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 31 los componentes del bloque se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en la mezcla de concreto: arena industrial 1, arena industrial 2, piedra quinta, cemento, aditivo 1, y agua.

- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: agua (no contabilizada) y diésel para montacargas y cargadores.

De igual forma las materias primas se clasificaron según el sitio de producción.

- Materias producidas en suelo nacional: arena industrial 1, arena industrial 2, piedra quinta, cemento, aditivo 1, y agua.

- Materias producidas fuera del territorio nacional: diésel.

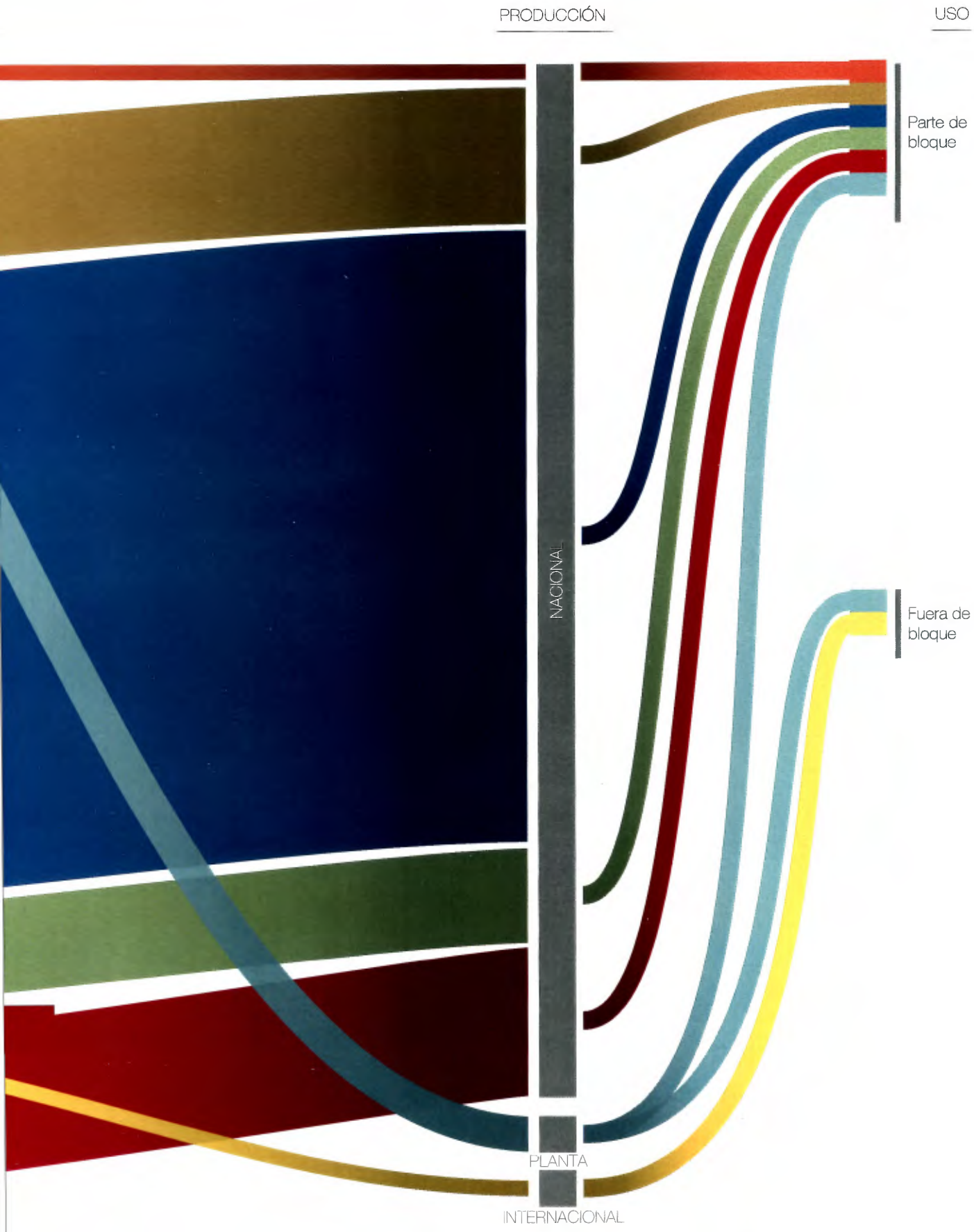
- Materias producidas o recolectadas dentro de planta: agua.

Proceso de Planta y cálculo asociado

El proceso de producción del bloque se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Producción de las materias primas.
- Transporte.
- Procesos individuales de materia prima dentro de la fábrica.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 32) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que


PRODUCCIÓN
USO
NACIONAL
PLANTA
INTERNACIONAL
Parte de bloque
Fuera de bloque

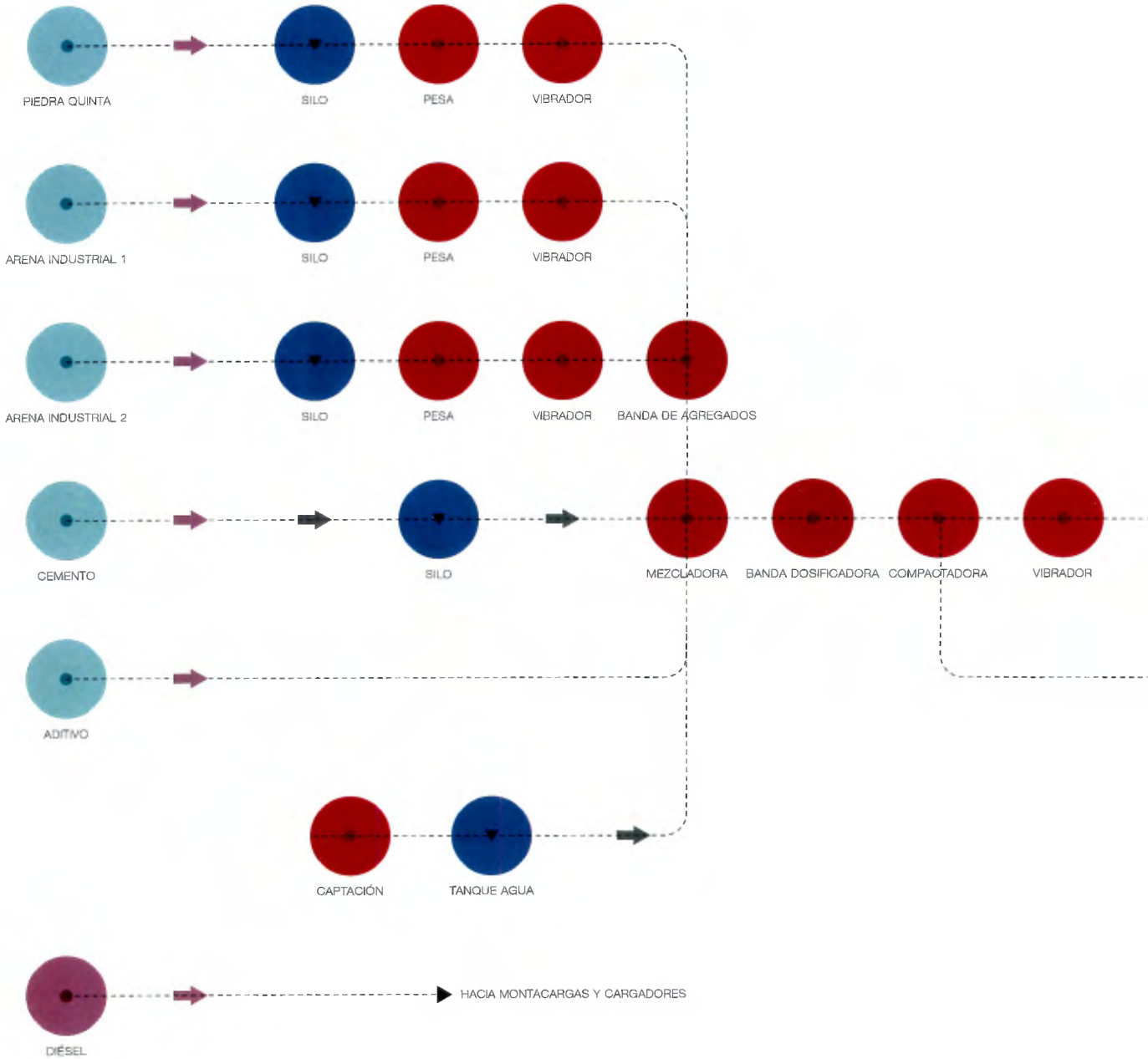
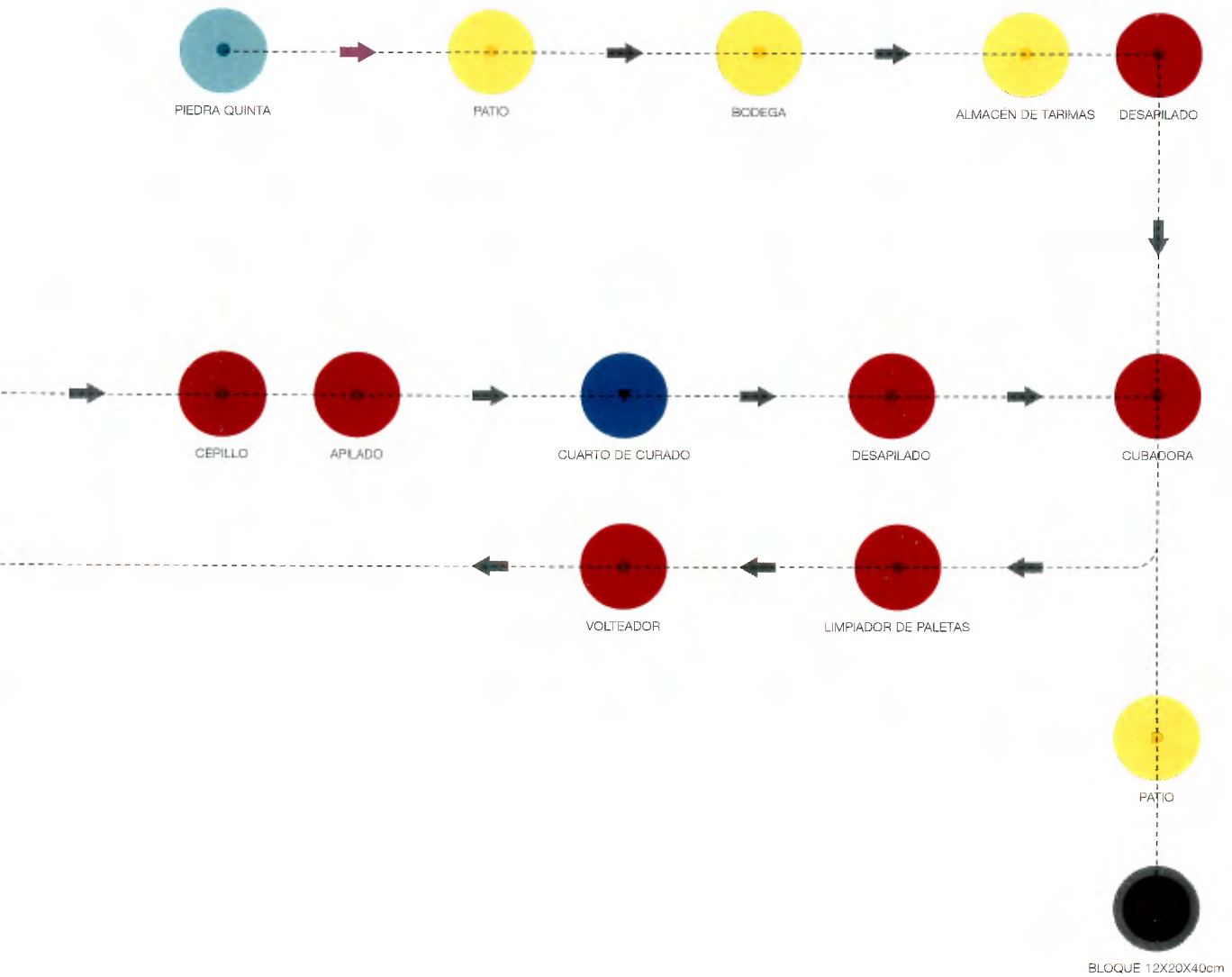


Gráfico 6. Diagrama de procesos planta de dovelas de concreto prefabricado. Elaboración Propia



PRODUCCIÓN Y MANEJO DE COMBUSTIBLE

PRODUCTO TERMINADO

TRANSPORTE INTERNACIONAL

TRANSPORTE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

TRANSPORTE CONSUMO ELÉCTRICO

consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Una importante aclaración consiste el tema de las adjudicaciones, la industria de estudio no presenta información de reciclaje de material ni contabilización de desechos. No existe ningún caso de absorción de CO2e ni subproductos del proceso de dicha unidad funcional, por lo que todas la emisiones contabilizadas durante este inventario son asociadas a la producción de bloque de 12x20x40 cm.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

- El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con dos variables paralelas, por medio de potencias de la maquinaria y por medio de una estimación a través de los recibos eléctricos del periodo correspondiente. Se obtienen los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

-Las emisiones relativas al uso de montacargas se calculan a partir del dato de consumo de diesel por área suministrado por el departamento contable de la empresa.

Producción y transporte de materias primas

- Agregados: Corresponden a piedra quinta y arena industrial. Son producidos por terceros fuera de la fábrica de concreto, por lo que las emisiones asociadas a este proceso son calculadas por medio de factores de emisión brindados por los proveedores. Todo el transporte es por trailetas y directo a la planta de producción.

- Cemento: Es producido por un agente externo a la empresa pero dentro del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a su proceso de producción se procede a utilizar un factor de emisión brindado por el productor. El transporte se da en un tráiler con una capacidad aproximada de 25 toneladas.

- Aditivo: Aunque es producido dentro del país, no existe un factor de emisión asociado a su producción. Se calcula el transporte en camión de la bodega a la planta de producción de bloques.

- Diésel: Se obtiene gracias a un intermediario entre RECOPE y la empresa productora de bloques. Es transportado en un cisterna desde la sede en Cartago hasta la planta de producción.

Procesos Individuales en planta

- Agregados: Cuando las trailetas llegan a la planta, depositan los agregados en un patio, donde son almacenados hasta que un cargador los deposita en un silo. Son pesados y depositados en una tolva, un vibrador los acomoda para llegar a la banda transportadora en donde se unen a la línea de proceso general. Tanto la pesa como el vibrador funcionan con energía eléctrica.

- Cemento: Al llegar a la planta es depositado directamente en el silo por medio de un soplador y un motor eléctrico, dejándolo listo para ingresar a la línea de producción. Tanto el soplador como el motor funcionan con energía eléctrica.

- Aditivo: El transporte interno asociado al sitio de producción se hace por medio de un montacargas.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

- Diésel: Una vez en sitio se calculan sus emisiones

según el consumo de diésel por bloque de 12x20x40 cm. Por medio del factor de emisión obtenido del Instituto Meteorológico Nacional.

Procesos de línea de producción.

- Movilización de agregados: Una vez colocados todos los agregados en una tolva, son subidos por una banda hasta la mezcladora donde se da la preparación de la mezcla fresca de concreto. El motor funciona con energía eléctrica.

- Preparación de mezcla: A la mezcladora entran directamente los agregados, cemento, aditivo y agua; se baten y salen por una compuerta a una tolva dosificadora, que pasa la mezcla a la zona de formación de bloques. Tanto la mezcladora como la compuerta funcionan por medio de energía eléctrica.

- Formación: El ciclo inicia con la formación y compactación de los bloques, que luego son llevados por una banda transportadora hasta una estación de cepillado. Los motores y bombas involucradas en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

- Curado: Al final de la línea de producción un robot toma los bloques y los acomoda en un estante, que luego es llevado a la bodega de curado. Listos los bloques, son sacados de la bodega por el mismo robot para ser desapilados. Los motores y bombas involucradas en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

- Desencofrado: Una vez desapilados, los bloques son llevados por una banda de transporte hasta la máquina cubadora. Ahí son acomodados en tarimas para ser llevados en un montacargas a un patio en donde son regados con agua hasta estar listos. Los motores y bombas involucradas en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

- Reacomodo de Moldes: Cuando se trasladan los bloques al patio, las paletas o moldes son llevadas por una banda transportadora al inicio del ciclo, pasando por un proceso de limpiado y volteado. Estos procesos funcionan por medio de energía eléctrica.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.

Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. La cantidad de agua por mezcla y consecuentemente por bloque, ha sido extrapolada de los reportes manuales de producción, lo que da un margen de error al asociar la cantidad

Tabla 41. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de bloque

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Datos mensuales de venta de productos. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Bloque	Primario	Suma por producto.	Determinación de Unidad funcional.
			Suma de peso de producción.	Cantidad en toneladas de bloque producida en el periodo mayo 2013-mayo2014.
			Diferencia y promedio de peso de mezcla y peso final.	Cantidad de mezcla fresca por tonelada de bloque
Datos diarios digitales de producción de bloque. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Bloque	Primario	División peso entre producción y promedio.	Peso por bloque terminada según planta.
			División tiempo total de máquinas entre cantidad de ciclos producidos	Tiempos de máquinas por ciclo.
			Promedio y porcentaje por componente.	Receta de composición de bloque excepto agua.
Datos diarios manuales de producción de bloque. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Bloque	Primario	Promedio y porcentaje por componente.	Cantidad de agua por tonelada de mezcla de concreto fresco
Estudio Eléctrico Planta de Producción de Bloques Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de Bloque	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de electricidad asociada a la producción de una tonelada de bloque.
Datos de consumo de diésel por centro de costo. Mayo 2013-Febrero 2014	Empresa productora de Bloque	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de diésel asociada a la producción de una tonelada de bloque.
Reporte diario total de producción. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa productora de Bloque	Primario	Suma y porcentaje.	Porcentaje de bloques dentro de la producción total de la planta en el periodo mayo 2013-2014.

Tabla 42. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Factor de emisión arena industrial	Empresa proveedora	Primario	Innecesario	Factor de emisión arena industrial
Factor de emisión piedra quinta	Empresa proveedora	Primario	Innecesario	Factor de emisión piedra quinta
Factor de emisión cemento	Empresa proveedora	Primario	Innecesario	Factor de emisión cemento
Factor de emisión diésel	Base de Datos Instituto Metereológico Nacional	Primario	Innecesario	Factor de emisión diésel
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos Instituto Costarricense de Electricidad	Primario	Innecesario	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica

Tabla 43. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Potencias de motores	Empresa productora de Bloque	Primario	Innecesario	Potencias de motores
Densidad diésel	RECOPE	Primario	Innecesario	Densidad diésel
Densidad arena industrial	Empresa proveedora	Primario	Innecesario	Densidad arena industrial
Densidad piedra quinta	Empresa productora	Primario	Innecesario	Densidad piedra quinta
Densidad cemento	Dato general para cemento	Secundario	Innecesario	Densidad Cemento
Densidad Aditivo	Empresa proveedora	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo
Distancias a fábrica	Google Earth Medidor	Secundario	Innecesario	Distancias a fábrica
Transportes terrestres	Factores de rendimiento por kilómetro LIPASTO	Secundario	Innecesario	Transportes terrestres

de agua con la producción digital especificada.

2. El peso de mezcla de concreto fresco por bloque terminado se obtuvo de la suma de todos los ingredientes de la mezcla según los reportes de producción y el agua dada por los reportes de mezcla. Este dato se compara con el peso de un bloque según los reportes de producción de la planta para obtener la cantidad de toneladas de concreto fresco por cada tonelada de bloque terminado.

3. El porcentaje de producción de la unidad funcional en comparación a los demás productos fabricado, se obtuvo de la extrapolación del peso mensual de los reportes diarios de producción y de la comparación con las toneladas mensuales totales de producción obtenidas de los totales diarios de producción.

4. Existen dos variables del factor de emisión según los datos energéticos utilizados en el cálculo. El primero calculado por medio del tiempo y las potencias de las máquinas. El segundo por medio de las facturas eléctricas de la planta.

5. La energía eléctrica asociada a la producción de una tonelada de bloque ha sido calculada a través de los porcentajes de producción de bloques, por lo que no se ha tomado en cuenta el proceso de otros productos.

6. El diésel asociado a la producción de una tonelada de bloque se calculó a través de los porcentajes de producción.

7. El aditivo presente en la composición de la unidad funcional no cuenta con un factor de emisión para su proceso de producción, por lo que se dejó fuera del cálculo final. Según la metodología utilizada esto no afecta la rigurosidad de los cálculos, ya no representan más de un 0.05% de la masa total de la bloque.

8. Las distancias de transportes terrestres y marítimos se asumieron según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

9. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por proveedores y la planta.

10. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

11. El tiempo de los motores se obtuvo de una división general del tiempo de un ciclo entre los procesos atribuibles a dicho ciclo lo que no implica un dato exacto.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de bloques de 12x20x40 cm, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

- Producción de materias primas.
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Planta
- Combustible y energía.

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

Tabla 44. Resultados de inventario / Materias Primas

Producción de Materias Primas	CO_2e/ton de producto	Porcentaje con potencias	Porcentaje con factura
Total	0,05223	77,87%	76,83%
Piedra Quinta	0,00022	0,33%	0,33%
Arena Industrial 1	0,00028	0,41%	0,41%
Arena Industrial 2	0,00212	3,16%	3,12%
Cemento	0,04960	73,96%	72,97%

Tabla 45. Resultados de inventario / Transporte Nacional

Transporte Nacional	CO_2e/ton de producto	Porcentaje con potencias	Porcentaje con factura
Total	0,01323	19,72%	19,45%
Piedra Quinta	0,00136	2,03%	2,00%
Arena Industrial 1	0,00012	0,18%	0,18%
Arena Industrial 2	0,01136	16,94%	16,71%
Cemento	0,00038	0,57%	0,56%

Tabla 46. Resultados de inventario / Procesos Individuales

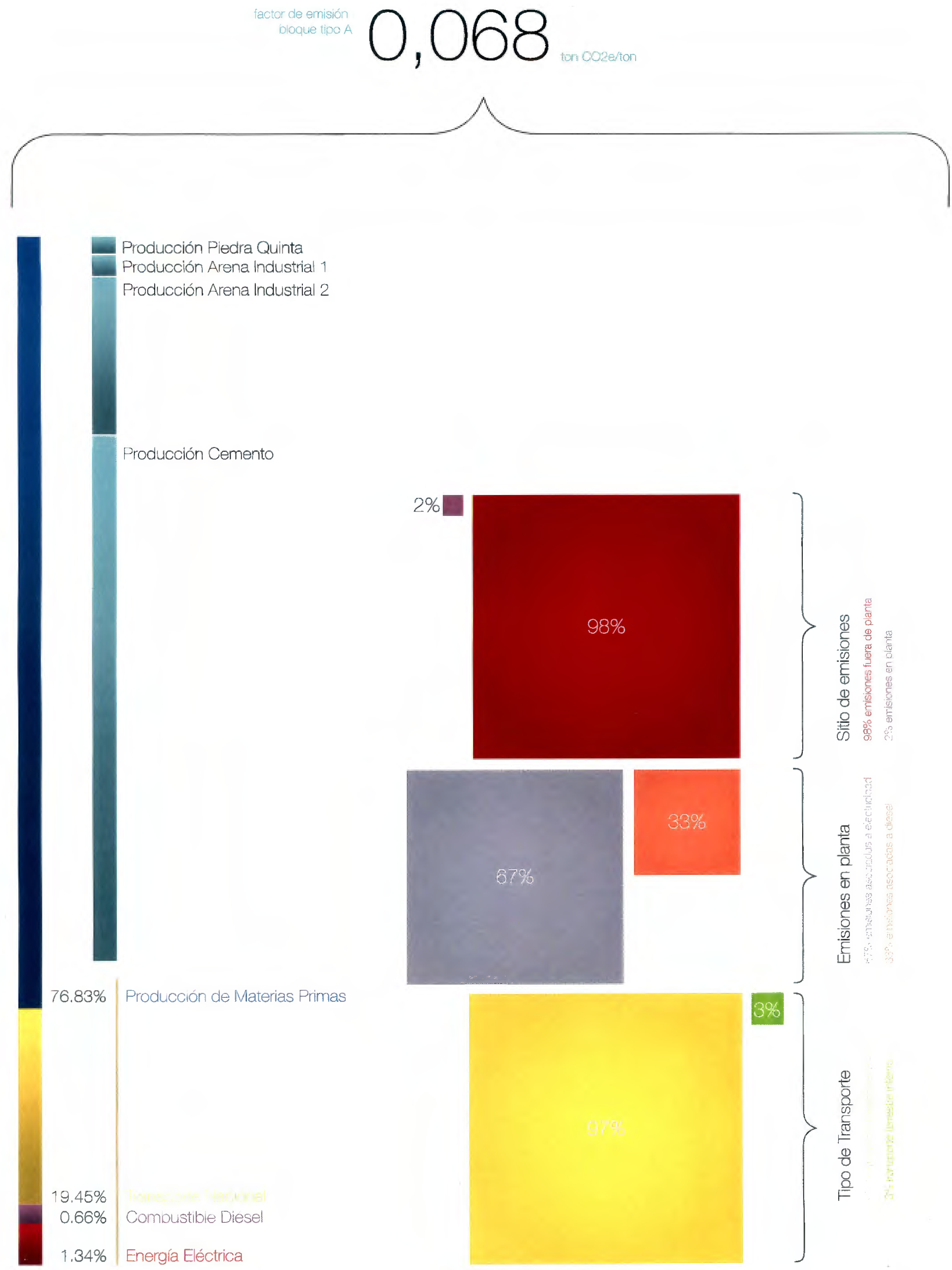
Procesos Individuales	CO_2e/ton de producto	Porcentaje con potencias	Porcentaje con factura
Total	0,00008	0,12%	
Piedra Quinta	0,00002	0,03%	
Arena Industrial 1	0,00002	0,03%	
Arena Industrial 2	0,00002	0,03%	
Cemento	0,00003	0,04%	
Agua	0,00000	0,00%	

Tabla 47. Resultados de inventario / Línea de Producción

Línea d producción	CO_2e/ton de producto	Porcentaje con potencias	Porcentaje con factura
Total	0,00109	1,63%	
Transporte de Agregados	0,00021	0,31%	
Preparación de Mezcla	0,00006	0,09%	
Formación de Bloques	0,00012	0,18%	
Curado	0,00061	0,91%	
Desencofrado	0,00005	0,08%	
Reacomodo de Moldes	0,00004	0,06%	

Tabla 48. Resultados de inventario / Transporte Nacional

Transporte Nacional	CO_2e/ton de producto	Porcentaje con potencias	Porcentaje con factura
Total	0,00136	0,01%	2,00%
Diésel	0,00045	0,01%	0,66%
Energía	0,00091		1,34%


factor de emisión
bloque tipo A
0,068
ton CO2e/ton
Producción Piedra Quinta
Producción Arena Industrial 1
Producción Arena Industrial 2
Producción Cemento
76.83%
Producción de Materias Primas
19.45%
0.66%
Combustible Diesel
1.34%
Energía Eléctrica
2%
98%
67%
33%
3%
Sitio de emisiones
98% emisiones fuera de planta
2% emisiones en planta
Emisiones en planta
67% emisiones asociadas a electricidad
33% emisiones asociadas a diesel
Tipo de Transporte
3% transporte terrestre interno

Columnas de concreto

Información General

Definición de unidad funcional

El sistema de concreto prefabricado utilizado comúnmente en Costa Rica se encuentra compuesto principalmente por columnas pretensadas y baldosas armadas, las cuales son ensambladas para crear diferentes tipos de edificaciones.

Para encontrar la unidad funcional se analizan las ventas netas de los componentes del sistema en el período mayo 2013-mayo2014. A partir de esto, se seleccionó la columna de concreto C3.15 reforzada internamente con un alambre de acero.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de columna de concreto C3.15 producida. Las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo.

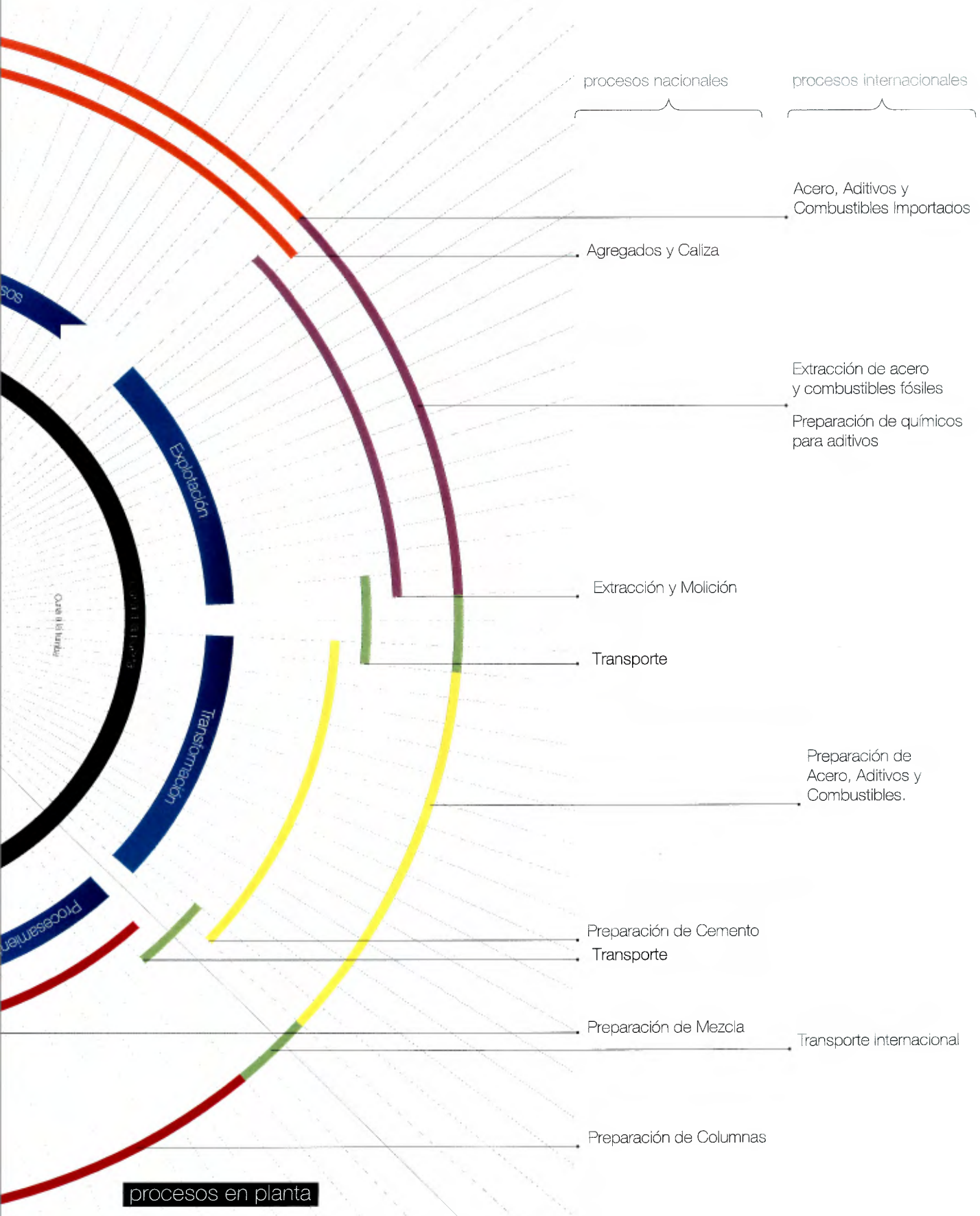
Fecha del inventario

Los datos recopilados para el inventario corresponden a un período de 13 meses comprendidos entre mayo 2013 y mayo 2014. Las mediciones fueron realizadas entre junio 2014 y octubre 2014, el momento en el cual el equipo de trabajo visitó la planta.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis se hace un trazado del ciclo de vida de la columna C3.15 (Ver gráfico 34).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, y en varios casos, fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.


procesos nacionales
procesos internacionales
Acero, Aditivos y
Combustibles Importados
Agregados y Caliza
Extracción de acero
y combustibles fósiles
Preparación de químicos
para aditivos
Explotación
Extracción y Molición
Transporte
Transformación
Preparación de
Acero, Aditivos y
Combustibles.
Preparación de Cemento
Transporte
Preparación de Mezcla
Transporte Internacional
Preparación de Columnas
procesos en planta

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 35, los componentes de la columna se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en la mezcla de concreto: polvo piedra, arena de río, piedra quinta, cemento, aditivo 1, aditivo 2 y agua.
- Materiales contenidos en columna externos a la mezcla de concreto: acero, cabo de PVC, aditivo 3.
- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: diésel para montacargas y cargadores, búnker y agua (no contabilizada).

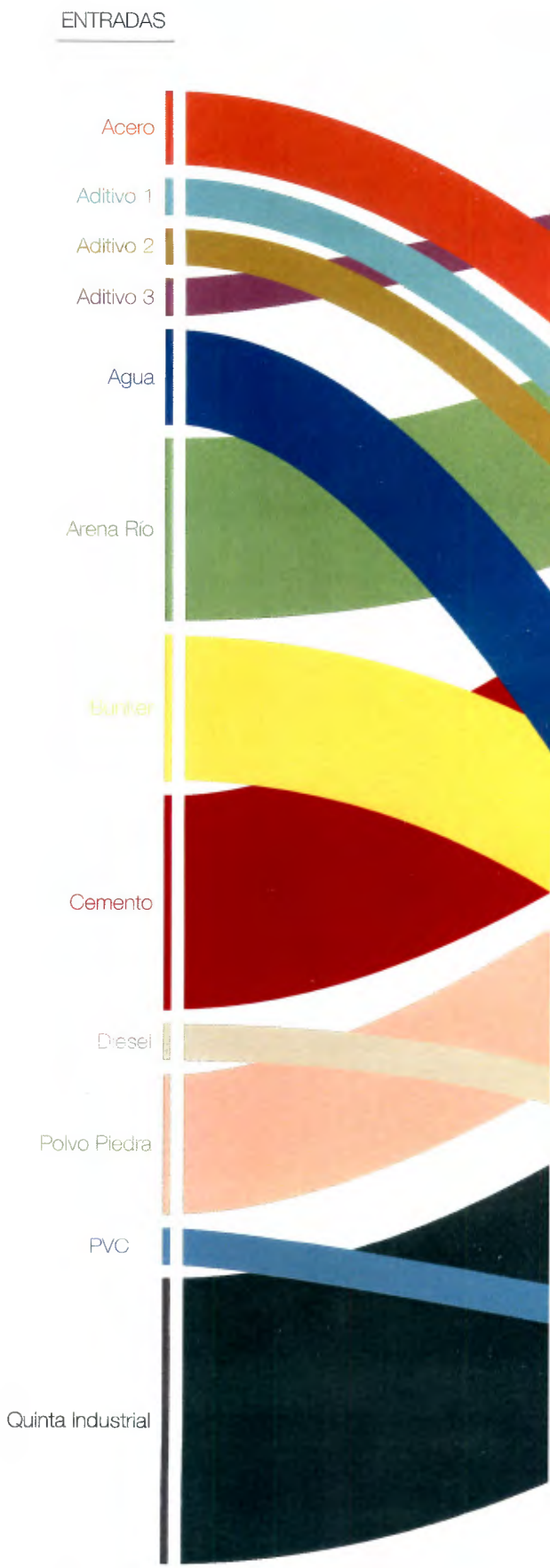
De igual forma las materias primas se clasificaron según el sitio de producción.

- Materias producidas en suelo nacional: polvo piedra, arena de río, piedra quinta, cemento y aditivo 3.
- Materias producidas fuera del territorio nacional: aditivo 1, aditivo 2, acero, PVC, búnker y diésel.
- Materias producidas o recolectadas dentro de planta: agua.

Proceso de Planta y cálculo asociado

El proceso de producción de la columna se ha dividido en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono equivalente. Esta división presenta un orden cronológico:

- Producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos individuales de materia prima dentro de la fábrica.



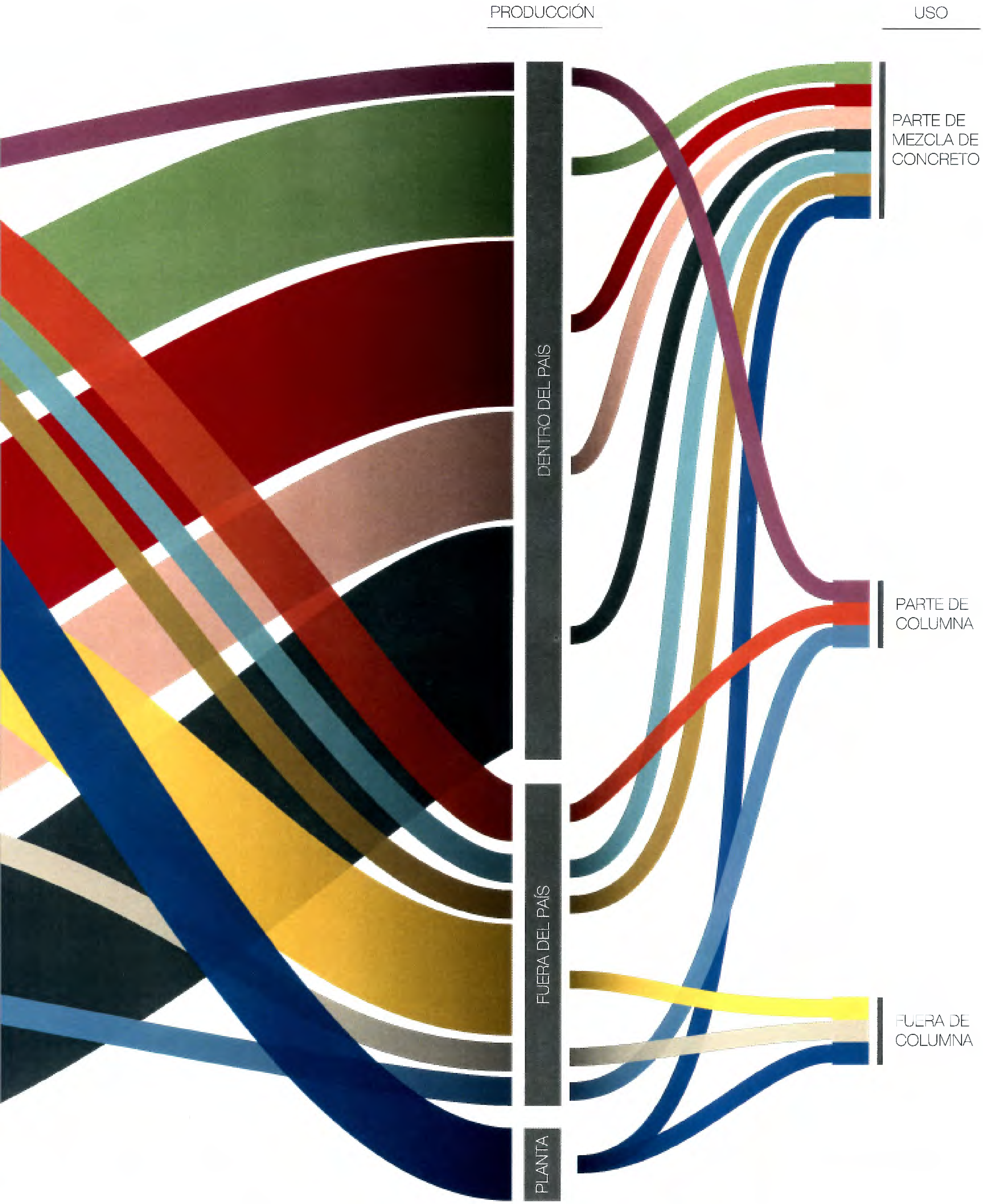


Gráfico 26. Composición de la columna de concreto prefabricado. Elaboración Propia

- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 36) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado de detalla a continuación.

Una importante aclaración consiste el tema de las adjudicaciones, la industria de estudio no presenta información de reciclaje de material ni contabilización de desechos. No existe ningún caso de absorción de CO_2e ni subproductos del proceso de dicha unidad funcional, por lo que las emisiones contabilizadas durante este inventario son asociadas a la producción de la columna de 3.15m.

Paralelo al cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica por medio de potencias se hace una estimación a través de los recibos eléctricos del periodo correspondiente. Se obtiene los kilowatts asociados a una tonelada de producción y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

-Las emisiones por consumos de energía eléctrica se calculan con el factor energético general publicado por el ICE.

-Las emisiones relativas al uso de montacargas se calculan a partir del dato de consumo de diesel por área suministrado por el departamento contable de la empresa.

Producción y transporte de materias primas

- Agregados: Los agregados que corresponden a piedra quinta, polvo piedra y arena de río. Son producidos por terceros fuera de la fábrica de concreto, por lo que las emisiones asociadas a este proceso son calculadas con factores de emisión brindados por los proveedores. El transporte es por trailetas directo a la planta de producción.

- Cemento: Es producido por un agente externo a la empresa pero dentro del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a su proceso de producción se procede a utilizar un factor de emisión brindado por el productor. Se transporta en un tráiler con capacidad aproximada de 25 toneladas.

- Aditivos: Los aditivos 1 y 2 son producidos fuera del territorio nacional y no existen factores de emisión asociados a su producción. Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor de tonelada por kilómetro, el transporte en tráiler del puerto a la bodega de la empresa productora. El transporte en camión de la bodega a la planta de producción de baldosas.

- Acero: Para el factor de emisión asociado a su producción se utiliza el factor para alambre de acero obtenido de la base de datos del ICE de la universidad de BATH en el Reino Unido.

Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor por tonelada por kilómetro, Y el transporte en tráiler del puerto a la bodega de la empresa productora y el transporte en camión de la bodega a la planta de producción de columnas.

Una vez en la fábrica, el alambre de acero pasa por un proceso de corte y es preparado para salir en tráiler de la planta para ser ensamblado con otra pieza metálica; vuelve después de ser completado el proceso.

- PVC: Se utiliza un factor de emisión internacional para la producción de polipropileno. Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor por tonelada por kilómetro, el transporte en tráiler del puerto a la bodega de la empresa

productora y el transporte en camión de la bodega a la planta de producción de columnas.

- Aditivo 3: Es producido dentro del país, pero no existe un factor de emisión asociado a su producción. Se transporta en camión de la bodega a la planta de producción de baldosas.

- Diésel: Se obtiene de un intermediario entre RECOPE y la empresa productora de columnas. Es transportado en un camión cisterna desde la sede en Cartago hasta la planta de producción.

- Búnker: Se obtiene de un intermediario entre RECOPE y la empresa productora de columnas. Es transportado en un camión cisterna desde la sede en Limón hasta la planta de producción.

Procesos individuales

- Agregados: Cuando las trailetas llegan a la planta, depositan los agregados en un patio, donde son almacenados hasta que un cargador los deposita en una tolva. De ahí, la piedra quinta pasa directamente a la banda transportadora, la cual la lleva a los silos de almacenamiento. Las arenas pasan por una criba para luego llegar a la banda transportadora que las sube a los silos, en donde se unen a la línea de proceso general. Tanto la banda como la criba funcionan con energía eléctrica.

- Cemento: Al llegar a la planta es depositado directamente en el silo por medio de un soplador y un tornillo, dejándolo listo para ingresar a la línea de producción. Tanto el soplador como el tornillo funcionan con energía eléctrica.

- Aditivos: El transporte interno asociado al sitio de producción se hace por medio de un montacargas.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

- Acero: De vuelta al sitio, el alambre pasa por un proceso de pretensado que consume energía eléctrica.

- Aditivo 3: El transporte interno en sitio de producción se hace por medio de un montacargas.

- Diésel: Una vez en sitio se calculan sus emisiones según el consumo de diésel por columna C3.15. Por medio del factor de emisión obtenido del Instituto Meteorológico Nacional.

- Búnker: Una vez en sitio se calculan sus emisiones según el consumo de búnker por columna C3.15. Por medio del factor de emisión obtenido del Instituto Meteorológico Nacional.

Procesos de línea de producción.

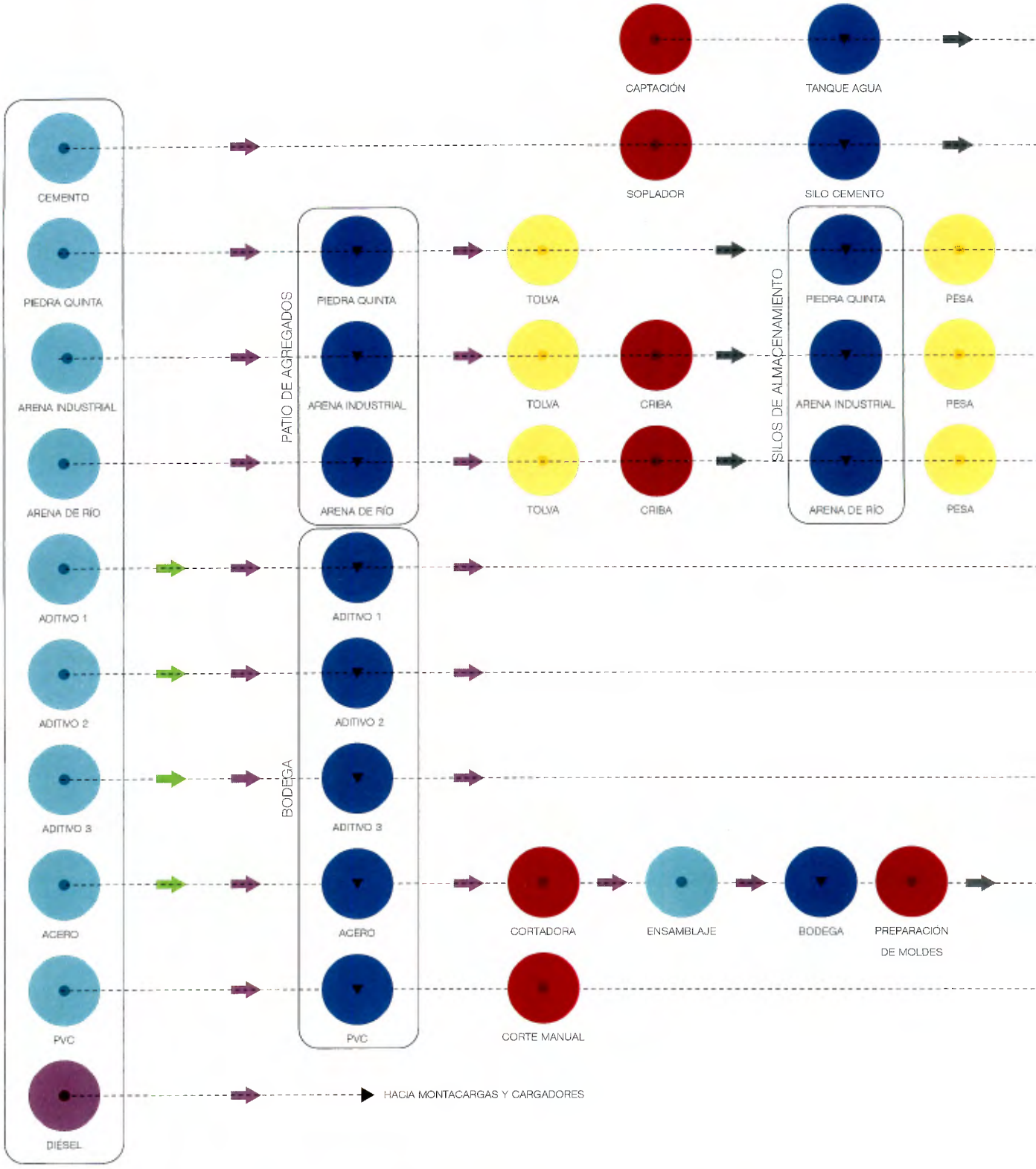
- Mezcladora: A la mezcladora entran directamente los agregados, cemento, aditivos y agua, se baten y salen a las dos bandas que llevan la mezcla de concreto fresco a la zona de formación de columnas.
Tanto la mezcladora como las bandas transportadoras funcionan por medio de energía eléctrica.

- Formación: La estación de formación de columnas se compone de un área de preparación de moldes, un espacio para el colado, dos grúas y un espacio para el curado en capuchas.

Cada molde, con capacidad para seis columnas, es preparado de forma manual; se ensamblan los moldes junto a los cables y posteriormente pasan por un proceso de pretensado. Una vez listos, una grúa los lleva al área de colado.

La mezcla proveniente de las bandas transportadoras es depositada en una tolva, donde por medio de un dosificador y un vibrador pasa a los moldes. En estos es extendida por operadores y un segundo vibrador la distribuye uniformemente. Una grúa toma los moldes llenos y los apila en montículos de seis. Todos los motores y bombas involucradas en esta fase funcionan por medio de energía eléctrica.

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica



SIMBOLOGÍA

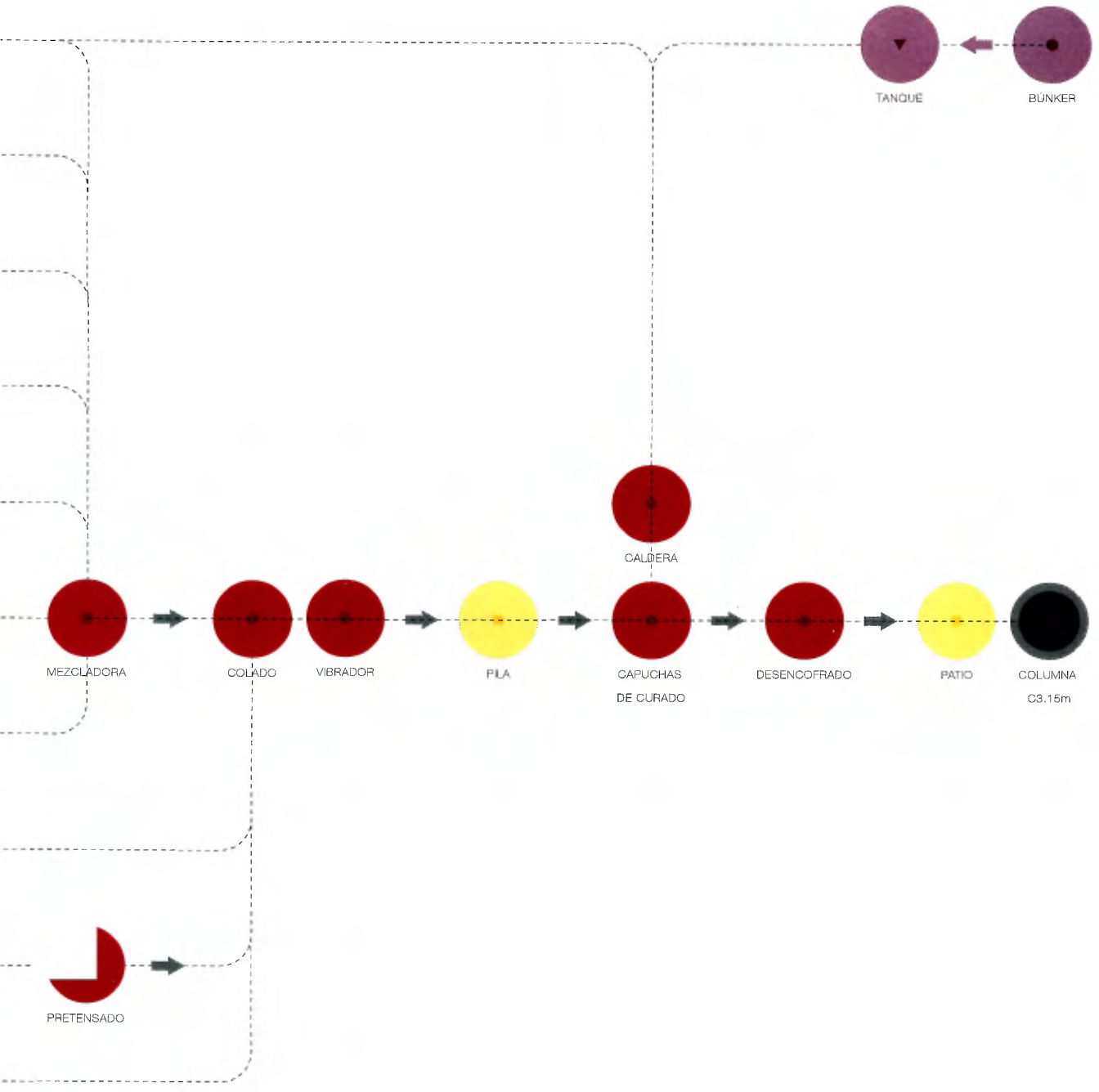
PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

OPERACIÓN

ALMACENAMIENTO

ESPERA

FLUJO DE MATERIA



PRODUCCIÓN Y MANEJO DE COMBUSTIBLE

PRODUCTO TERMINADO

TRANSPORTE INTERNACIONAL

TRANSPORTE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

TRANSPORTE CONSUMO ELÉCTRICO

- Curado y desencofrado: Una grúa toma los moldes y los lleva a una zona de curado, en donde bajo una capucha son expuestos al vapor. Luego las grúas llevan los moldes a la zona de desencofrado manual y finalmente a los patios de producto terminado. Todas las grúas funcionan con energía eléctrica.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora

Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo..

Tiempos de procesos en empresa productora de columna

Algunos casos específicos son dados por la empresa directamente; sin embargo otros son obtenidos por mediciones realizadas en sitio, que son promediadas y posteriormente calculadas por tonelada de columna terminada.

Factores de emisión

Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios

Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Tabla 49. Recolección de datos / Bases de datos de em

Dato	
Datos de venta de productos. Mayo 13 - Mayo 14	Empresa proc
Datos diarios de producción de columna. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa proc
Datos unitarios de producción de mezcla. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa proc
Estudio Eléctrico Planta de Producción de Columnas Mayo 2013-Mayo2014	Empresa proc
Datos de consumo de diésel por centro de costo. Mayo 2013-Febrero 2014	Empresa proc
Reporte diario total de producción. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa proc

Tabla 50. Recolección de datos / Tiempos de proceso

Dato	
Duración proceso criba 12m3 / banda / soplador	Empresa proc
Revoluciones por minuto, cantidad de hélices y volumen tornillo cemento	Empresa proc
Duración procesos de tanque de separadores	Empresa proc
Duración procesos individuales	Medición en s
Duración de procesos de línea de producción	Medición en s

Tabla 51. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	
Factor de emisión polvo piedra	Empresa prove
Factor de emisión arena de río	Empresa prove
Factor de emisión piedra quinta	Empresa prove
Factor de emisión cemento	Empresa prove
Factor de emisión alambre de acero	Base de Datos
Factor de emisión polipropileno	Base de Datos
Factor de emisión diésel	Base de Datos Nacional
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos de Electricidad

Tabla 52. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fue
Potencias de motores	Empresa productora de
Densidad diésel	RECOPE
Densidad polvo piedra	Empresa proveedora
Densidad arena de río	Empresa proveedora
Densidad piedra quinta	Empresa productora
Densidad Cemento	Dato general para ceme
Densidad Aditivo 1	Empresa proveedora
Densidad Aditivo 2	Empresa proveedora
Densidad Aditivo 3	Empresa proveedora
Peso por metro lineal alambre acero 7mm	Promedio de datos de
Distancias a fábrica	Google Earth Medidor
Transportes terrestres	Factores de rendimient
Transportes marítimos	Factores de rendimient

oductora de baldosa

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Columna	Primario	Suma por producto.	Determinación de Unidad funcional.
		Suma de peso de producción.	Cantidad en toneladas de columna producida en el periodo mayo 13 - mayo 14
Columna	Primario	Diferencia y promedio de peso de mezcla y peso final.	Cantidad de mezcla fresca por tonelada de columna
		División peso entre producción y promedio.	Peso por columna terminada según planta.
		Promedio y porcentaje por componente.	Receta de composición de columna excepto agua.
	Primario	Promedio y porcentaje por componente.	Cantidad de agua por tonelada de mezcla de concreto fresco (utilizada para receta)
Columna	Primario	División y promedio.	Tiempo promedio de mezcladora por tonelada de concreto fresco.
		Promedio.	Peso promedio de mezcla de concreto fresco por ciclo de mezcladora.
Columna	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de electricidad asociada a la producción de una tonelada de columna.
Columna	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de diésel asociada a la producción de una tonelada de columna.
Columna	Primario	Suma y porcentaje.	Porcentaje de columnas de 1,5x.63 dentro de la producción total de la planta en el periodo mayo 2013-2014.

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Columna	Primario	División tiempo entre peso utilizando la densidad.	Tiempo de proceso por tonelada de producto
Columna	Primario	Cálculo mediante volumen y revoluciones por minuto.	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
Columna	Primario	Utilización del tiempo de jornada completa	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
	Primario	Promedio	Tiempo de proceso por tonelada de producto.
	Primario	Promedio	Tiempo de proceso por tonelada de producto.

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	Innecesario	Factor de emisión arena industrial
	Primario	Innecesario	Factor de emisión arena de río
	Primario	Innecesario	Factor de emisión piedra quinta
	Primario	Innecesario	Factor de emisión cemento
l de Bath	Secundario	Innecesario	Factor de emisión alambre de acero
l de Bath	Secundario	Innecesario	Factor de emisión polipropileno
tereológico	Primario	Innecesario	Factor de emisión diésel
starricense	Primario	Innecesario	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	Innecesario	Potencias de motores
	Primario	Innecesario	Densidad diésel
	Primario	Innecesario	Densidad arena industrial
	Primario	Innecesario	Densidad arena de río
	Primario	Innecesario	Densidad piedra quinta
	Secundario	Innecesario	Densidad Cemento
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 1
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 2
	Primario	Innecesario	Densidad Aditivo 3
	Secundario	Promedio de datos	Peso alambre de acero utilizado por columna C 3.15
	Secundario	Innecesario	Distancias a fábrica
PASTO	Secundario	Innecesario	Transportes terrestres
n LIPASTO	Secundario	Innecesario	Transportes marítimos

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.

Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. Tanto los reportes de producción diaria como los totales diarios de producción, se obtuvieron de la empresa en formato impreso, por lo que se ha procedido a transcribirlos en formato de Excel; con la posibilidad de errores de lectura o mecanografía.

2. La cantidad de agua por mezcla, y consecuentemente por baldosa, ha sido extrapolada de los reportes unitarios de mezclas. Se promedió la cantidad de agua utilizada en comparación a los demás ingredientes y este porcentaje se agregó a la receta por tonelada obtenida de los reportes diarios de producción.

3. El peso de mezcla de concreto fresco por columna terminada se obtuvo de la suma de todos los ingredientes de la mezcla según los reportes de producción y el agua dada por los reportes de mezcla Este dato se compara con el peso de una columna según los reportes de producción de la planta, para obtener la cantidad de toneladas de concreto fresco por cada tonelada de columna terminada.

4. El porcentaje de producción de la unidad funcional en comparación a los demás productos fabricados, se obtuvo de la extrapolación del peso mensual de los reportes diarios de producción y de la comparación con las toneladas mensuales totales de producción obtenidas de los totales diarios de producción.

5. Existen dos variables del factor de emisión debido a los datos energéticos utilizados en el cálculo. Uno es calculado por medio del tiempo y las potencias de las máquinas obtenidos en la planta, y el otro por medio de las facturas eléctricas de la planta.

6. La energía eléctrica asociada a la producción de una tonelada de columna se calculó a través de los porcentajes de producción de columnas.

7. El diésel asociado a la producción de una tonelada de baldosa se calculó a través de los porcentajes de producción

8. El factor de emisión de la arena de río se obtuvo de un proveedor distinto al principal debido a que no existía un dato local de la extracción y producción de la misma.

9. Ninguno de los aditivos presentes en la composición de la unidad funcional cuenta con factores de emisión, por lo que se dejaron por fuera del cálculo final. Según la metodología utilizada, esto no afecta la rigurosidad de los cálculos ya que en conjunto no representan más de un 0.05% de la masa total de la columna.

10. Las distancias de transportes terrestres y marítimos han sido asumidas según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

11. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

12. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

13. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utilizan el valor más aproximado según el porcentaje utilizado

Tabla 53. Resultados de inventario / Materias Primas

Producción de Materias Primas	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,21720	78,78%	77,66%
Piedra Quinta	0,00072	0,26%	0,26%
Polvo Piedra	0,00037	0,13%	0,13%
Arena Lavada	0,00048	0,18%	0,17%
Cemento	0,19013	68,96%	67,98%
Acero	0,02489	9,03%	8,90%
PVC	0,00062	0,22%	0,22%

Tabla 54. Resultados de inventario / Transporte Internacional

Transporte Internacional	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00204	0,74%	0,73%
Aditivo 1	0,00005	0,02%	0,02%
Aditivo 2	0,00003	0,01%	0,01%
Acero	0,00195	0,71%	0,70%
PVC	0,00002	0,01%	0,01%

Tabla 55. Resultados de inventario / Transporte Nacional

Transporte Nacional	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,01089	3,95%	3,89%
Piedra Quinta	0,00439	1,59%	1,57%
Polvo Piedra	0,00192	0,69%	0,68%
Arena Lavada	0,00254	0,92%	0,91%
Cemento	0,00146	0,53%	0,52%
Aditivo 1	0,00006	0,02%	0,02%

Tabla 56. Resultados de inventario / Procesos individuales

Procesos individuales	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00031	0,11%	
Piedra Quinta (banda y criba)	0,00001	0,01%	
Polvo Piedra (banda y criba)	0,00001	0,00%	
Arena Lavada (banda y criba)	0,00001	0,00%	
Cemento (soplador y tornillo)	0,00010	0,04%	
Agua (bombeo desde pozo)	0,00001	0,00%	
Acero (corte y soldadura)	0,00017	0,06%	

Tabla 57. Resultados de inventario / Línea de Producción

Línea de Producción	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,00019	0,07%	
Preparación de la mezcla	0,00011	0,04%	
Formación de Columnas	0,00006	0,02%	
Curado y almacenamiento	0,00002	0,01%	

Tabla 58. Resultados de inventario / Combustible y Energía

Combustible y Energía	CO_2e/ton de proucto	Porcentaje con Potencias	Porcentaje con Energía
Total	0,04954	16,35%	17,71%
Diésel	0,00312	1,13%	1,12%
Búnker	0,04196	15,22%	15,00%
Energía	0,00446		1,59%

de capacidad del camión.

14. En los casos de las bandas de mezcladora y el tornillo de cemento, se obtuvo la capacidad del proceso a través del volumen de la maquinaria y no del volumen real de material; sin embargo, dichos proceso representan menos de un 0.05% de las emisiones.

15. Las mediciones en sitio han sido realizadas por un cronómetro manual de centésimas de segundo; sin embargo las emisiones asociadas a dichos procesos representan un 0.21% de las emisiones totales.

Resultados de inventario

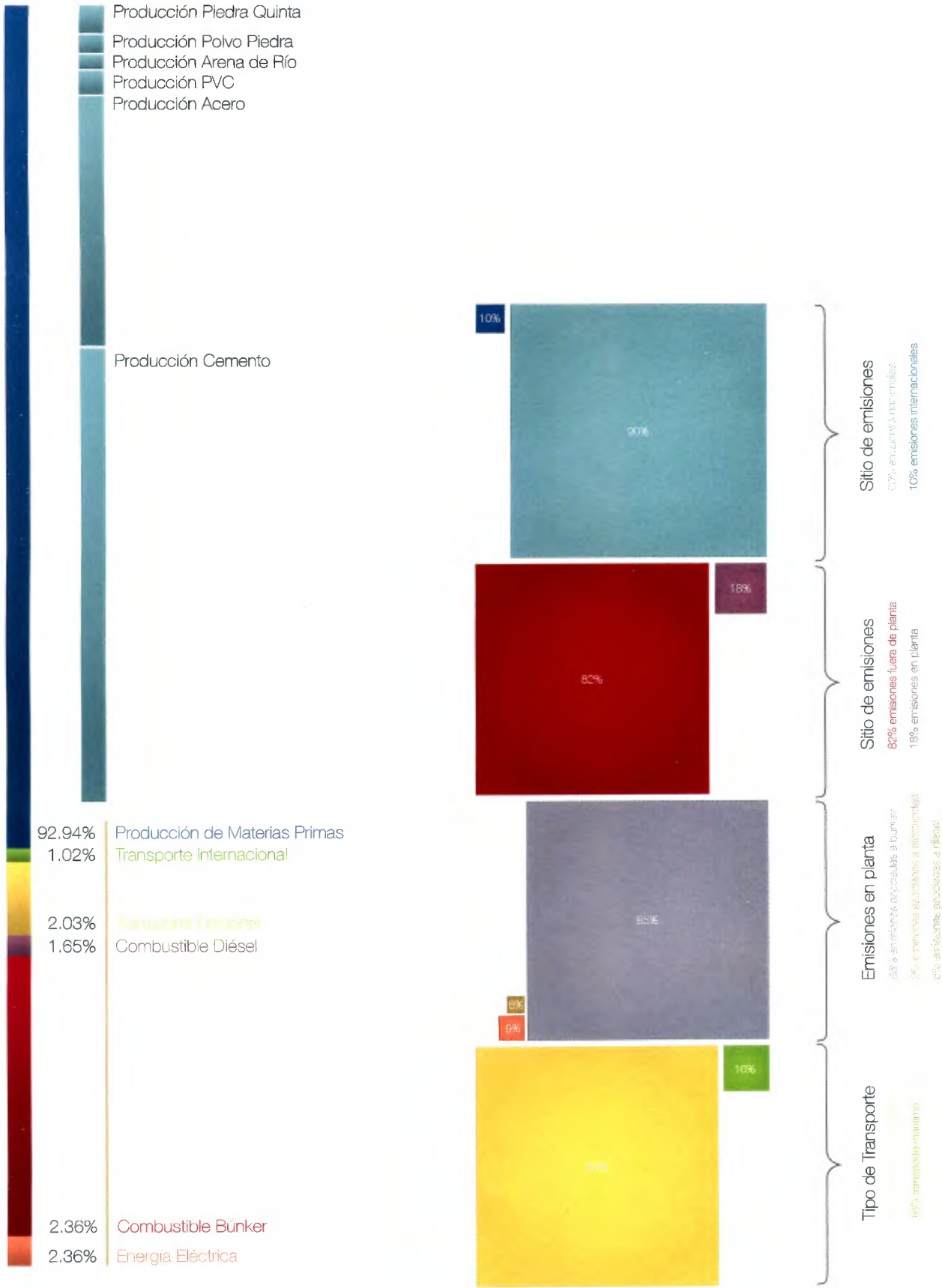
Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de baldosas de 1.5x0.63, con una explicación general del método de cálculo para los distintos procesos. Luego, se enlistan los aportes de CO_2e para cada operación y los porcentajes asociados a dichas emisiones.

- Producción de materias primas.
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Planta
- Combustible y energía.

factor de emisión
columna C3.15m

0,280

ton CO_2e/ton


Producción Piedra Quinta
Producción Polvo Piedra
Producción Arena de Río
Producción PVC
Producción Acero
Producción Cemento
92.94% Producción de Materias Primas
1.02% Transporte Internacional
2.03% Transporte Nacional
1.65% Combustible Diésel
2.36% Combustible Bunker
2.36% Energía Eléctrica
10%
90%
18%
82%
85%
6%
9%
16%
84%
Sitio de emisiones
10% emisiones internacionales
Sitio de emisiones
82% emisiones fuera de planta
18% emisiones en planta
Emisiones en planta
Tipo de Transporte

Fibrocemento

Información general

Definición de la unidad funcional

Los productos fueron elegidos a partir del análisis de los datos de ventas de la empresa para el período mayo 2013-mayo 2014. Debido a las características y escala del sistema de producción, así como la accesibilidad a los datos manejados en la fábrica y políticas corporativas presentadas por la administración; se decidió trabajar con dos unidades funcionales: producto general de 1,22 m x 2,44 m y producto general de tablilla.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de producto terminado. Las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo.

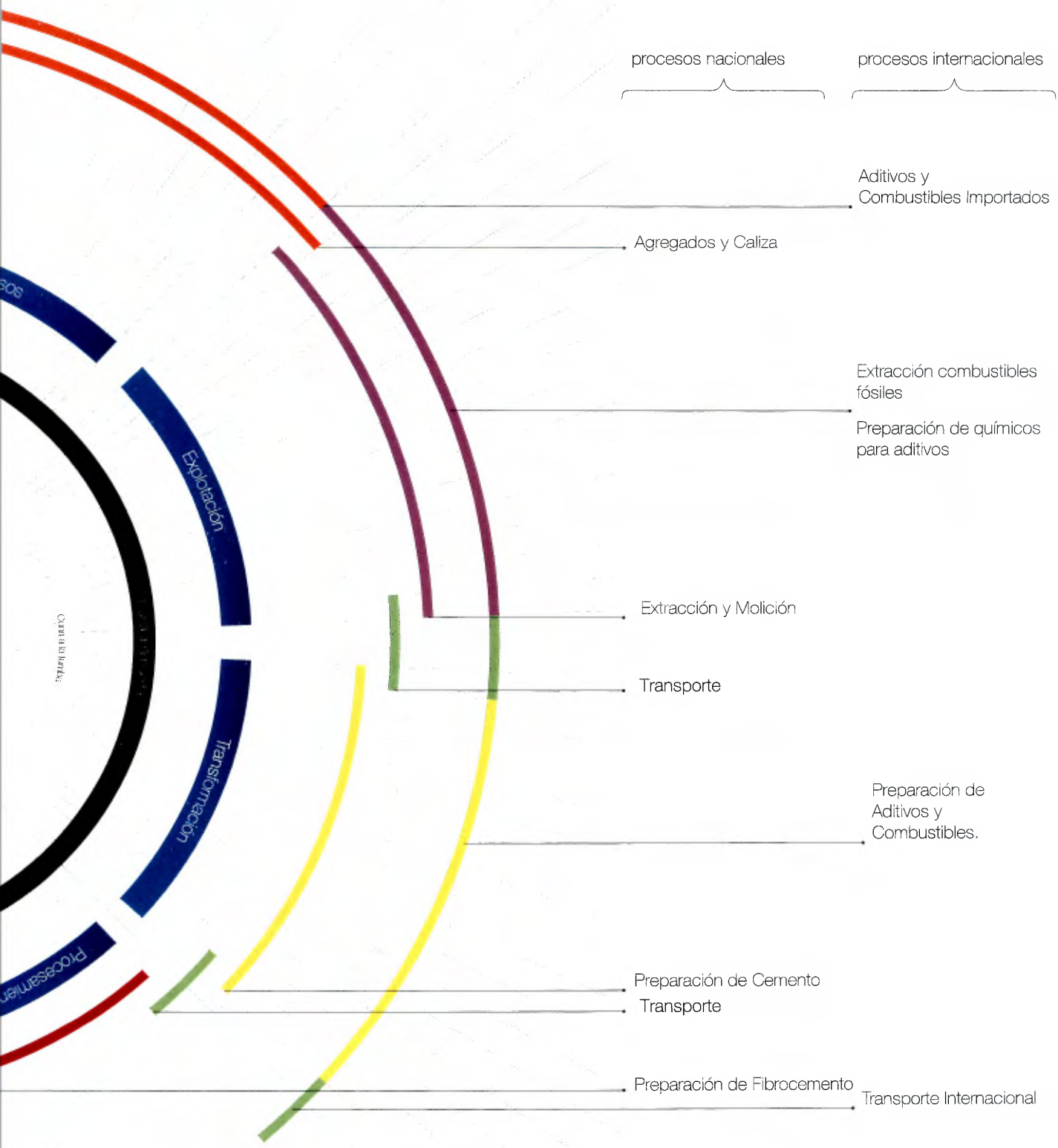
Las siguientes condicionantes establecieron la unidad funcional y el modo en que se realizó el estudio del proceso de fabricación:

- La empresa brindó únicamente rangos de consumo de materias primas para mezclas generales de fibrocemento utilizadas por la fábrica en el año de estudio; no permitió el acceso a las recetas de producción específicas de los diferentes productos.

Sin embargo, las materias primas principales de esta receta son siempre los mismos. Y según las especificaciones de las fichas técnicas de los productos, las características de resistencia a los esfuerzos, de humedad, de densidad, entre otras; son iguales o muy similares entre los distintos productos. Por lo tanto, es factible suponer que el rango de variación de la dosificación de materias primas por receta es considerablemente pequeño, permitiendo que su comparación en términos de receta.

- La empresa maneja los consumos energéticos de forma general por sector de planta, por razones de disponibilidad de equipo y porque la mayoría de los procesos son compartidos por los diferentes productos. Por esto, se determina un dato de consumo general por tonelada de producto terminado, como

Gráfico 03. Ciclo de Vida Fibrocemento. Elaboración Propia



procesos en planta

dato aproximado a los consumos específicos de cada producto.

Como los procesos de molición de piedra caliza y preparación de celulosa se comparten para todos los productos, las dos líneas de producción gemelas que contienen los procesos de preparación de mezcla y reciclos, formación de láminas y cámaras de curado; la diferencia para la fabricación de cada producto es por la duración en el equipo de formación de las láminas y en la cantidad de horas de curado, y no varían notablemente.

En la segunda etapa, los acabados de cada tipo de producto conllevan variaciones en el uso de los hornos. Pero la empresa no lleva un registro exacto de estas variaciones para asignárselas al producto específico, son consideradas aleatorias dentro del consumo general del sector de planta.

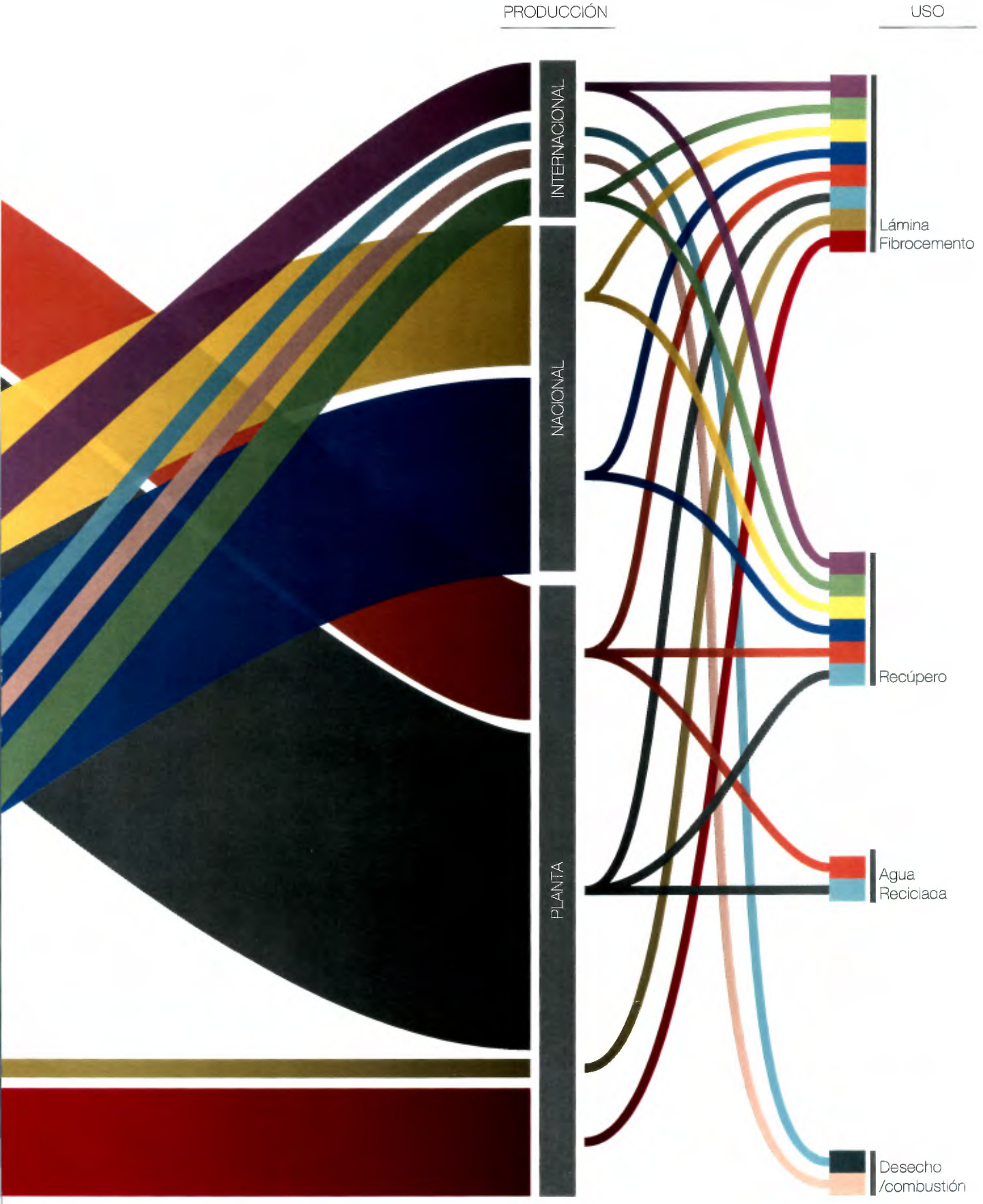
Fecha del inventario

Los datos recopilados para el inventario corresponden a un período de 13 meses comprendidos entre mayo 2013 y mayo 2014. El proceso de recolección de información se realizó de junio 2014 a febrero 2015 a través de visitas, consultas y entrevistas con el personal de la empresa estudiada.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un anáiisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida del producto en estudio (Ver gráfico 38).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.


PRODUCCIÓN
USO
INTERNACIONAL
NACIONAL
PLANTA
Lámina
Fibrocemento
Recúpero
Agua
Reciclada
Desecho
/combustión

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 39, los componentes del producto se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en el producto: cemento, caliza, cartón, papel periódico, sulfato de aluminio y agua.
- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: diesel y gas LPG.

De igual forma las materias primas se clasificaron según el sitio de producción.

- Materias producidas en suelo nacional: cemento, caliza y cartón.
- Materias producidas fuera del territorio nacional: papel periódico, sulfato de aluminio y diesel.
- Materias producidas o recolectadas dentro de planta: agua.

Proceso de planta y cálculo asociado

El proceso de producción del fibrocemento se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos individuales de materia prima dentro de la fábrica.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 40) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Diagrama de procesos atribuibles del ciclo de vida completo

Una importante aclaración es que no se consideró ningún caso de absorción de CO_2e ni subproductos del proceso de dicha unidad funcional, por lo que todas las emisiones contabilizadas durante este inventario son asociadas a los productos de estudio. Para los procesos de absorción de carbono de las materias primas del papel y el cartón, los requerimientos metodológicos exigen el rastreo de las fuentes de producción y no se contó con el acceso a esta información, ni con la empresa ni el proveedor.

En el apartado de adjudicaciones se profundiza la información sobre reciclaje de material de desperdicio.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

-Salvo en los casos en los que se especifica expresamente, todos los procesos implican consumo de energía eléctrica. El cálculo de las emisiones asociadas a esta se hace con el dato de los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción.

La empresa dio los datos mensuales de consumos por sector por máquina, por lo que los procesos se describen por sector y las máquinas que incluyen, para mantener la correspondencia con la información brindada; y se le asignó el porcentaje correspondiente de los datos mensuales de producto terminado. Los kilowatts hora se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Para el caso de las emisiones correspondientes a las bombas se multiplica el flujo de estas (cantidad de litros por segundo), por la tonelada de producto terminado, por los kilowatts hora,

por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

-El cálculo de las emisiones asociadas al consumo de combustibles y gas se hace con el dato de los litros asociados a una tonelada de producción. La empresa dio los datos mensuales de consumos por sector por máquina, y se le asignó el porcentaje correspondiente de los datos mensuales de producto terminado. Los litros se multiplican por el factor de emisión de combustión brindado por el IMN para cada caso.

Producción y transporte de materias primas

- Cemento: Es producido por un agente externo a la empresa pero dentro del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a su proceso de producción se procede a utilizar un factor de emisión brindado por el productor. Se transporta en un tráiler con capacidad aproximada de 25 toneladas.

- Caliza: Es extraída por un tercero dentro del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a este proceso se utiliza el factor obtenido de la base de datos del ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido. El transporte es por trailetas directo a la planta de producción.

- Cartón: Se consigue de un proveedor en suelo nacional pero para el factor de emisión asociado a su producción se utiliza el dato obtenido de la base de datos del ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido. El transporte es por trailetas directo a la planta de producción.

- Papel periódico: Una parte de este insumo es importada, por lo que a este porcentaje se le calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor de tonelada por kilómetro. Ya en territorio nacional se calcula el transporte en tráiler a la fábrica, junto con el transporte (también en tráiler) para el porcentaje correspondiente al material que es recolectado en diferentes recintos siguiendo una ruta específica.

- Sulfato de aluminio: Es producido fuera del territorio nacional. Para el cálculo de las emisiones asociadas a este proceso se utiliza el factor obtenido de la base de datos internacional del Ayuntamiento de la ciudad de Winnipeg. Se calcula el transporte terrestre en tráiler de la empresa productora a la planta de producción de fibrocemento.

- Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

- Diésel y Gas LPG: Se obtienen gracias a un intermediario entre RECOPE y la empresa productora de fibrocemento. Son transportados en un camión cisterna desde la sede en Cartago hasta la planta de producción.

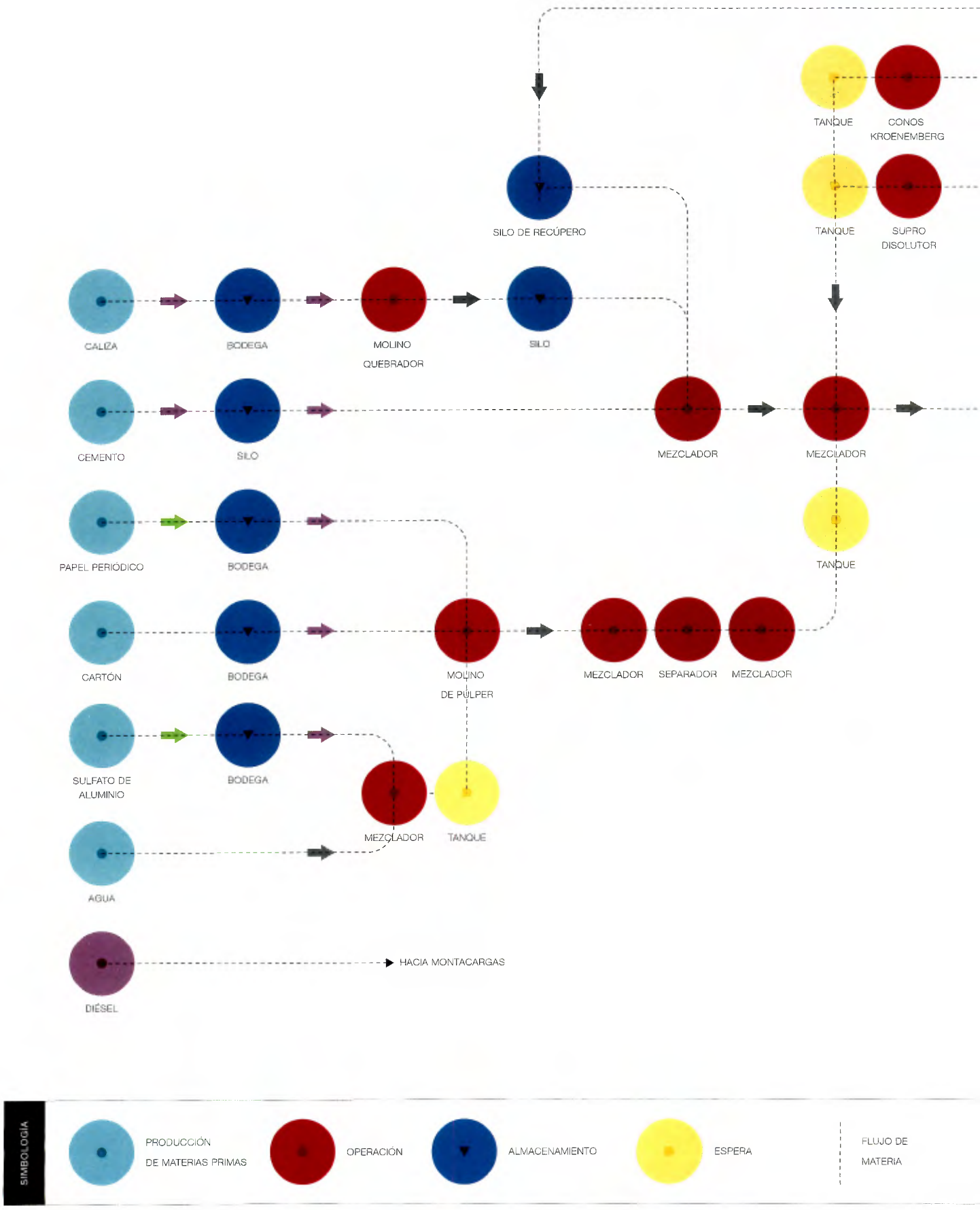
Procesos de línea de producción

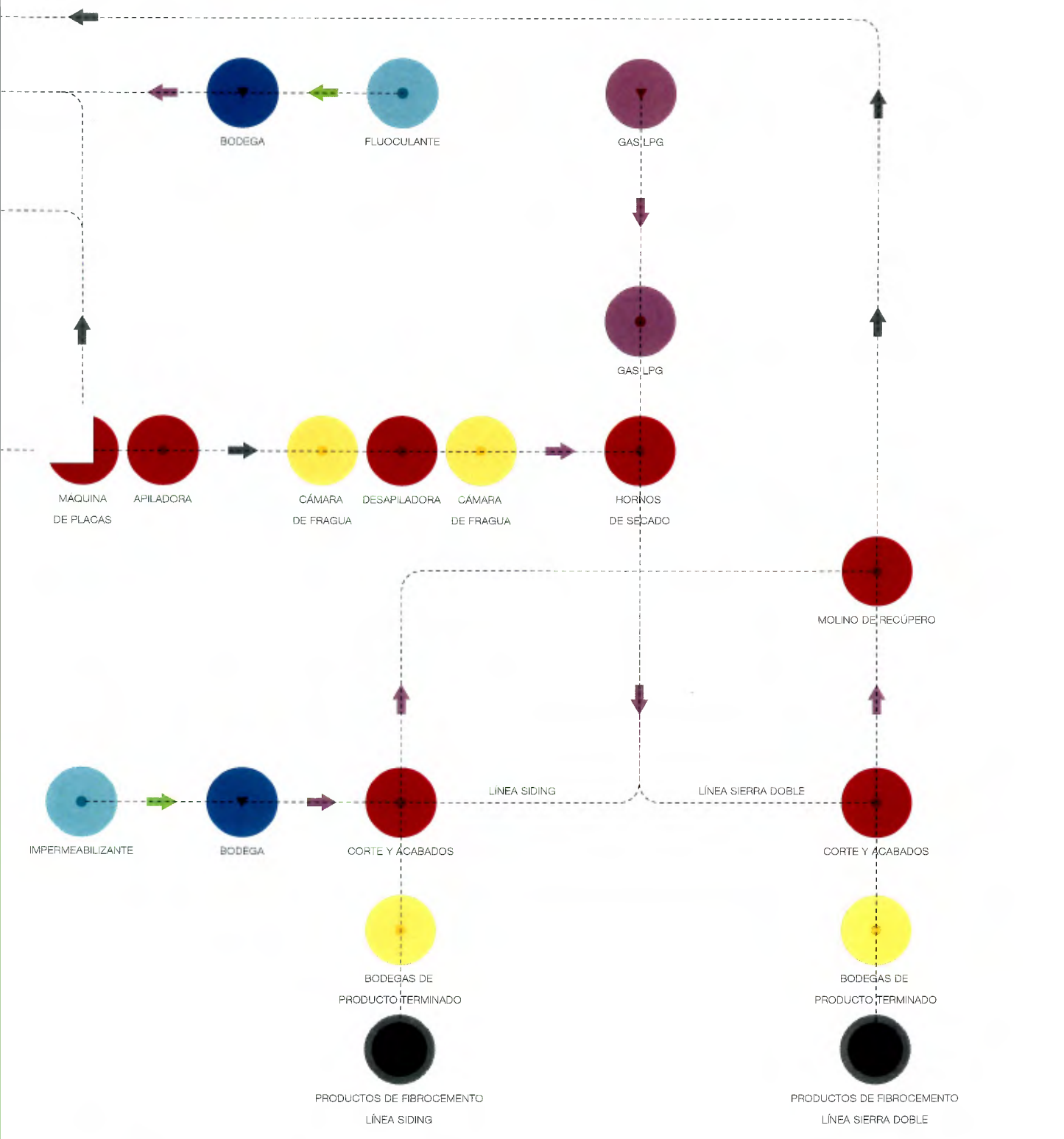
Preparación de mezcla de fibrocemento

-Sector de molición de piedra caliza: La caliza entra a la fábrica en forma de piedra bruta por lo que se tritura para su incorporación a la mezcla. Esto, más el transporte por bombeo al silo de carbonato de calcio, son los consumos calculados para este sector.

-Sector de preparación de celulosa: Primero se prepara el sulfato de aluminio (hidratación y mezclado) para luego bombearlo hacia el molino de celulosa. Las pacas de papel periódico y cartón son colocadas por montacargas en bandas eléctricas que las transportan al molino para adicionarlas a la mezcla, junto con el agua de pozo y agua reciclada que son bombeadas. Se muelen los componentes hasta que la mezcla adquiera la consistencia requerida, se refina y se bombea al dosificador específico.

-Sector de preparación de mezcla y reciclos: Este sector incluye el bombeo de la caliza y el desperdicio sólido seco, el transporte con soplador del cemento, la dosificación de estos tres "secos" a la mezcla, el mezclado general de los secos con los elementos húmedos bombeados (celulosa, agua y recúpero húmedo); así


TANQUE
CONOS KROENEMBERG
SILO DE RECÚPERO
TANQUE
SUPRO DISOLUTOR
CALIZA
BODEGA
MOLINO QUEBRADOR
SILO
CEMENTO
SILO
MEZCLADOR
MEZCLADOR
PAPEL PERIÓDICO
BODEGA
TANQUE
CARTÓN
BODEGA
MOLINO DE PULPER
MEZCLADOR
SEPARADOR
MEZCLADOR
SULFATO DE ALUMINIO
BODEGA
MEZCLADOR
TANQUE
AGUA
HACIA MONTACARGAS
DIÉSEL
SIMBOLOGÍA
PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS
OPERACIÓN
ALMACENAMIENTO
ESPERA
FLUJO DE MATERIA


BODEGA
FLUOCULANTE
GAS LPG
GAS LPG
MÁQUINA
DE PLACAS
APILADORA
CÁMARA
DE FRAGUA
DESAPILADORA
CÁMARA
DE FRAGUA
HORNOS
DE SECADO
MOLINO DE RECÚPERO
IMPERMEABILIZANTE
BODEGA
CORTE Y ACABADOS
LÍNEA SIDING
LÍNEA SIERRA DOBLE
CORTE Y ACABADOS
BODEGAS DE
PRODUCTO TERMINADO
BODEGAS DE
PRODUCTO TERMINADO
PRODUCTOS DE FIBROCEMENTO
LÍNEA SIDING
PRODUCTOS DE FIBROCEMENTO
LÍNEA SIERRA DOBLE
PRODUCCIÓN
Y MANEJO
DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO
TERMINADO
TRANSPORTE
INTERNACIONAL
TRANSPORTE
CONSUMO
DE COMBUSTIBLE
TRANSPORTE
CONSUMO
ELÉCTRICO

como el bombeo de la mezcla final hasta las bandas formadoras. Los procesos de reciclaje de agua y de reciclos húmedos, su dosificación y su trasporte para reintegrarse al proceso son incluidos dentro de los consumos eléctricos de este sector, pero se describen a detalle en el apartado de adjudicación.

Formación de láminas

-Sector de formación de láminas: Se le da forma a las láminas y se adecúa el sistema para manejar los distintos espesores de producto. La mezcla terminada ingresa a la máquina formadora y esta va filtrando agua a través de bombas de succión hasta llegar a una consistencia determinada. Esta agua se recolecta para ser reciclada (ver apartado de adjudicaciones).

Curado

-Sector máquina apiladora: Se apilan las láminas con moldes metálicos entre ellas, para evitar que estas se adhieran una vez que comiencen a fraguar, sobre una especie de carro mecanizado, el cual ingresa y transporta las láminas a través de la cámara de curado 1.

-Sector cámara de curado 1: Consta de aire comprimido, agua bombeada y vapor de agua (calentado con calderas que funcionan con gas LPG)

- Sector máquina desapiladora: Desapila las láminas para colocarlas en el montacargas que las llevará a la cámara de curado 2.

-Sector cámara de curado 2: Consta de un sistema de aspersores que humedecen las láminas.

Secado

- Sector hornos de secado: Funcionan con gas LPG y se encargan de secar las láminas de fibrocemento para dejarlas con los niveles de humedad ideales.

Corte y acabados

-Sector líneas de corte y acabados: La empresa maneja una línea principal que corta en doble dirección (corte transversal y longitudinal de la lámina) simultáneamente, de la cual salen las láminas de fibrocemento más producidas por la empres.

La segunda línea, de recuperación, se excluye del cálculo porque no trabaja los productos estudiados. En la tercera línea, de siding, el producto pasa por un primer corte transversal y luego longitudinal a través de una ranuradora; después la molduradora (serie de moldes ajustables) genera los bordes y las figuras características del producto deseado.

Finalmente el producto es transportado en montacargas a las bodegas de almacenaje hasta que este sea dirigido a los sitios de construcción.

Equipo complementario

-Sector compresores: Inyectan aire comprimido a los diferentes procesos que lo necesitan.

- Sector molino de residuo sólido seco: Este proceso se encarga de retomar los residuos secos de bordes y láminas defectuosas, transportarlos al molino de recúpero seco para prepararlos y re-incorporarlos al proceso.

Adjudicación de emisiones

No existen datos que determinen la cantidad de desperdicio que no se reintegra al proceso, sin embargo, según las metodologías de referencia; se considera que el consumo de materia prima que sale de la cadena en forma de desperdicio, sea o no re-integrado, queda embebido en el producto.

Su aporte material se considera a través de las entradas de materia prima y las salidas de producto terminado, y su aporte energético a través de los consumos por sector de las máquinas tratamiento y los bombeos para la reintegración.

Existen varios tipos de desperdicios que se reintegran al proceso, a continuación se presenta una descripción del flujo de recolección y de su re-integración al sistema de fabricación,

así como el métodos utilizado para cuantificarlos.

Desperdicios sólido húmedos
Recolectados en el proceso de formado de las láminas después del corte preliminar de bordes. Se tratan y se re-integran al proceso con una dosificación determinada en las etapas de formación de la mezcla.

Desperdicios sólido secos
Recolectados durante los procesos de corte de las láminas semi-elaboradas. Se tratan, se transporta, se almacena en el silo de "desperdicios sólidos secos" y se re-integra en el proceso de formación de la mezcla.

Desperdicio líquido
Consiste en la captación de agua proveniente de los procesos de producción. El agua recolectada se trata y se re-integra en el proceso del "molino de celulosa" y en los mezcladores generales de la fábrica.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

En esta categoría se incluyen la mayoría de los datos de carácter primario necesarios para la realización de los cálculos. Todos han sido proporcionados por la empresa estudiada ya sea en sus reportes de producción o directamente del personal de la empresa encargado del departamento correspondiente.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos de emisiones.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.
Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. Al no contar con las recetas específicas, no se tiene el dato exacto de entrada de materia prima por producto.

2. Como la empresa únicamente determinó rangos de entrada material, se contabilizó un factor relacionado a los rangos altos de consumo.

3. La contabilización de los desperdicios se logró determinar únicamente a través de la comparación de entradas de material crudo y salidas de producto terminado, por lo que no es posible determinar las variaciones de los mismos de forma diaria.

4. Debido a la escasez de datos, ya sea factor de emisión o dato de consumo, se excluyeron los cálculos de procesos asociados al uso de las siguientes materias primas: el impermeabilizante con el que impregnan a las láminas con un grosor superior a los 11mm, el floculante para el tratado de aguas y el diesel para la lubricación de los moldes. Según la metodología utilizada, esto no afecta la rigurosidad de los cálculos, mientras que en conjunto no representen más de un

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

Tabla 59. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de fibrocemento

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior
Datos mensuales de venta de productos. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Suma por producto.
			Innecesario
Datos mensuales de producción de productos generales de fibrocemento. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Innecesario
			Innecesario
			Innecesario
		Primario	Multiplicación de dosificación y promedio
Datos unitarios de producción. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Multiplicación de dosificación y promedio
		Primario	Multiplicación de dosificación
Datos de peso por lámina de producto terminado.	Catálogos de empresa productora de fibrocemento	Primario	Innecesario
Datos de consumo eléctrico por sector. Mayo 2013-Mayo2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Asociación con datos de producto termir mensual
Datos de consumo de diesel por sector. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Asociación con porcentajes de producción planta asociada.
Datos de consumo de gas LPG por sector. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Asociación con porcentajes de producción planta asociada.
Datos de consumo de agua de pozo por sector. Mayo 2013-Mayo 2014	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Asociación con porcentajes de producción planta asociada.
Datos de potencias eléctricas nominales y tiempos de duración de máquinas de procesos involucrados de fabricación no incluidos en el consumo por sector	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Multiplicación y asociación con cantidad de ma prima involucrada en el proceso
Datos de potencias eléctricas nominales y flujos de bombas y motores para procesos involucrados de transporte interno de materia prima no incluidos en el consumo por sector	Empresa productora de fibrocemento	Primario	Multiplicación y asociación con cantidad de ma prima transportada

Tabla 60. Recolección de datos / Factores de Emisión

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior
Factor de emisión de cemento	Empresa proveedora	Primario	Innecesario
Factor de emisión de piedra caliza	Base de Datos Universidad de Bath	Secundario	Innecesario
Factor de papel fino	Base de Datos Universidad de Bath	Secundario	Innecesario
Factor de cartón para usos generales de construcción	Base de Datos Universidad de Bath	Secundario	Innecesario
Factor de sulfato de aluminio	Base de Datos MATMGT (Winnipeg)	Secundario	Innecesario
Factor de emisión de diésel	Base de Datos Instituto Metereológico Nacional	Primario	Innecesario
Factor de emisión de gas LPG	Base de Datos Instituto Metereológico Nacional	Primario	Innecesario
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos Instituto Costarricense de Electricidad	Primario	Innecesario

Tabla 61. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior
Densidad diésel	RECOPE	Primario	Innecesario
Distancias de transporte terrestre	Google Maps	Secundario	Promedio
Distancias de transporte marítimo	Sitio web "Sea route finder"	Secundario	Promedio
Consumo de combustible de transportes terrestres	Factores de rendimiento por kilómetro LIPASTO	Secundario	Innecesario
Consumo de combustible de transportes marítimos	Factores de emisión por tonelada por kilómetro LIPASTO	Secundario	Innecesario

Dato obtenido
erminación de los productos a estudiar.
ntidad en toneladas de producto general de fibrocemento producida en el odo mayo 2013-mayo2014.
nsumo general en rangos y en toneladas de materias primas en el periodo yo 2013-mayo2014.
nsumo general en rangos y en toneladas de desperdicio sólido seco en el odo mayo 2013-mayo2014.
nsumo en toneladas de floculante en el periodo mayo 2013-mayo2014.
ntidad de desperdicio sólido húmedo re-integrado por tonelada de ducto terminado
ntidad de desperdicio líquido re-integrado por tonelada de producto minado
ntidad de impermeabilizante por tipo de producto
os de peso por lámina de producto terminado.
nsumo de electricidad mensual asociado a la producción de una tonelada fibrocemento por sector.
nsumo de diesel mensual asociado a la producción de una tonelada de ocemento por sector.
nsumo de gas LPG mensual asociado a la producción de una tonelada de ocemento por sector.
nsumo de agua de pozo mensual asociado a la producción de una tonelada fibrocemento por sector.
nsumo de electricidad por proceso de fabricación por tonelada de ducto terminado oceso de cámara de fragua 2 y líneas de corte y acabados)
nsumo de electricidad por proceso de transporte interno por tonelada de ducto terminado

Dato obtenido
ctor de emisión de cemento
ctor de emisión de piedra caliza
ctor de papel fino
ctor de cartón para usos generales de construcción
ctor de sulfato de aluminio
ctor de emisión de diésel
ctor de emisión de gas LPG
ctor de emisión por consumo de energía eléctrica

Dato obtenido
nsidad diésel
medio de distancias por rutas de transporte terrestre
tancia de ruta de transporte marítimo
nsportes terrestres
nsportes marítimos

1% de la masa total del producto terminado.

5. Las distancias de transportes terrestres y marítimos han sido asumidas según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

6. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

7. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

8. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de los productos de fibrocemento, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

Tabla 62. Resultados de inventario / Extracción, producción y transporte de materias primas

Extracción, producción y transporte de materias primas	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,839	92,340 %
Extracción/producción de caliza	0,035	
Transporte externo de caliza	0,005	4,369 %
Transporte interno de caliza	0,000	
Extracción/producción de sulfato de aluminio	0,049	6,193 %
Transporte externo de sulfato de aluminio	0,007	
Extracción/producción de papel periódico	0,146	17,374 %
Transporte externo de papel periódico	0,012	
Extracción/producción de cartón	0,170	18,685 %
Transporte externo de cartón	0,000	
Extracción/producción de cemento	0,408	
Transporte externo de cemento	0,000	44,997 %
Transporte interno de cemento	0,001	
Transporte interno de agua	0,005	0,598 %

Tabla 63. Resultados de inventario / Procesos de fabricación en planta

Procesos de fabricación en planta	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,023	2,482 %
Preparación de mezcla y formado de láminas		
Proceso sector "molino de carbonato"	0,001	
Proceso sector "etapa 1"	0,008	1,460 %
Proceso sector "compresores"	0,003	
Curado y secado de láminas		
Proceso sector "proceso aspersores (C2)"	0,000	
Proceso sector "calderas"	0,005	0,935 %
Proceso sector "hornos de secado"	0,003	
Corte y acabados de láminas y manejo de desperdicios		
Proceso sector "molino de desperdicio sólido seco"	0,001	0,087 %
Proceso sector "línea principal"	0,001	aplicado posteriormente
Proceso sector "línea siding"	0,009	aplicado posteriormente

Tabla 64. Resultados de inventario / Transporte y consumo de combustibles

Transporte y consumo de combustibles	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,047	5,177 %
Transporte externo de diesel	0,000	
Consumo de diesel proceso "montacargas producción"	0,001	0,288 %
Consumo de diesel proceso "montacargas almacenes"	0,001	
Consumo de diesel proceso "mini-cargador"	0,000	
Transporte externo de LPG	0,001	
Consumo de diesel proceso "hornos de secado"	0,024	4,890 %
Consumo de diesel proceso "calderas"	0,017	
Consumo de diesel proceso "montacargas"	0,002	

Tabla 65. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por proceso atribuible por tonelada de producto semi-elaborado

Procesos Generales	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,909	100 %
Extracción, producción y transporte de materias primas	0,839	92,340 %
Consumo de electricidad	0,023	2,482 %
Transporte y consumo de combustibles	0,047	5,178 %

Tabla 66. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por proceso atribuible por tonelada de producto terminado

Procesos Generales	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)
Resultado producto general de 1,22*2,44	0,910
Resultado producto de general de siding	0,919

Tabla 67. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por tipo de producto en estado semi-elaborado

Tipo de producto	Peso (kg / unidad)	Resultado 1 (kg CO_2e / unidad)
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 6 mm, uso: pared interna	18,75	17,04
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 8 mm, uso: pared interna	25,01	22,73
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 10 mm, uso: pared externa	31,26	28,41
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 14 mm, uso: base de techo	43,76	39,77
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 20 mm, uso: base de entrepiso	62,51	56,82
Siding general de fibrocemento, sin acabado, medidas: 18*244cm, grosor: 11 mm, uso: pared externa	5,07	4,61
Siding general de fibrocemento, sin acabado, medidas: 24*244cm, grosor: 14 mm, uso: pared externa	8,61	7,82

Tabla 68. Resultados de inventario / Resultados finales del cálculo de las emisiones por tipo de producto en estado terminado

Tipo de producto	Resultado 2 (kg CO_2e / unidad)
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 6 mm, uso: pared interna	17,07
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 8 mm, uso: pared interna	22,76
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, sin acabado, medidas: 122*244cm, grosor: 10 mm, uso: pared externa	28,45
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, impermeabilizada, medidas: 122*244cm, grosor: 14 mm, uso: base de techo	39,83
Lámina de fibrocemento lisa, con borde liso, impermeabilizada, medidas: 122*244cm, grosor: 20 mm, uso: base de entrepiso	56,90
Siding general de fibrocemento, impermeabilizada, medidas: 18*244cm, grosor: 11 mm, uso: pared externa	4,66
Siding general de fibrocemento, impermeabilizada, medidas: 24*244cm, grosor: 14 mm, uso: pared externa	7,91

factor de emisión
producto semi-elaborado

0,909

ton CO_2e/ton

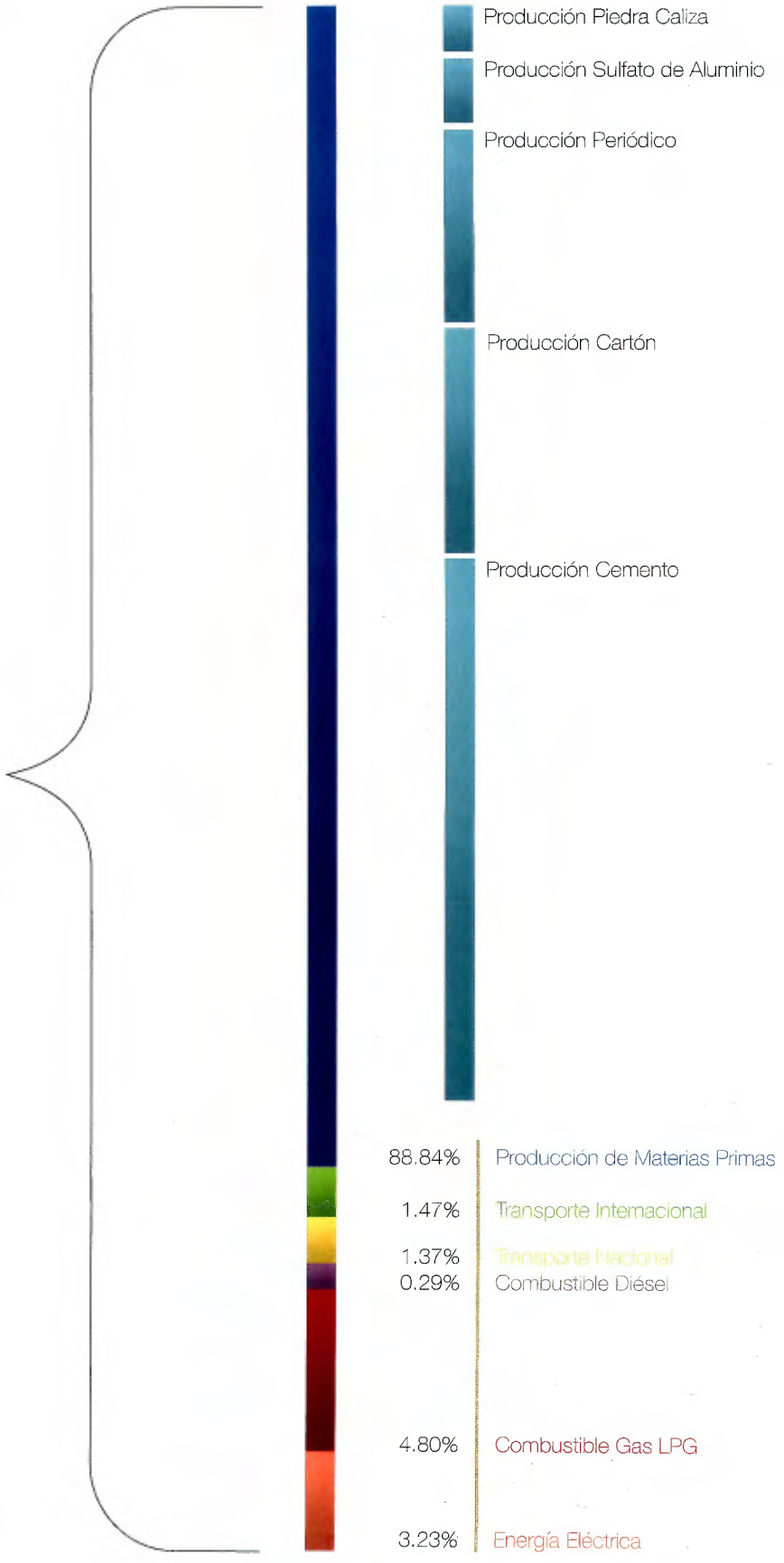


Gráfico 11. Composición del factor de emisión de fibrocemento. Elaboración Propia.

factor de emisión
producto de 1,22 por 2,44 m

0,910 ton CO_2e/ton

89% emisiones producción de materias primas
5% emisiones combustibles
3% emisiones transporte

factor de emisión
producto de 1,22 por 2,44 m

0,919 ton CO_2e/ton

88% emisiones producción de materias primas
5% emisiones combustibles
3% emisiones transporte

Madera de construcción

Información general

Definición de unidad funcional

La empresa participante cuenta con un amplio catálogo de productos de madera, que utilizan diferentes especies de árboles todas producidas en suelo nacional y en plantaciones propiedad de la misma empresa. El estudio de la madera de pino Caribe aserrada se da tras evaluar el producto de mayor salida destinado a permanecer en obra.

Como de una pieza de materia prima se pueden obtener diversos productos, tanto en dimensiones como en aplicación, después del mismo proceso productivo; se asocia la obtención del factor de emisión a un metro cúbico de madera aserrada. Considerando la equivalencia correspondiente, los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de madera de pino aserrada producida. Las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo.

Fecha del inventario

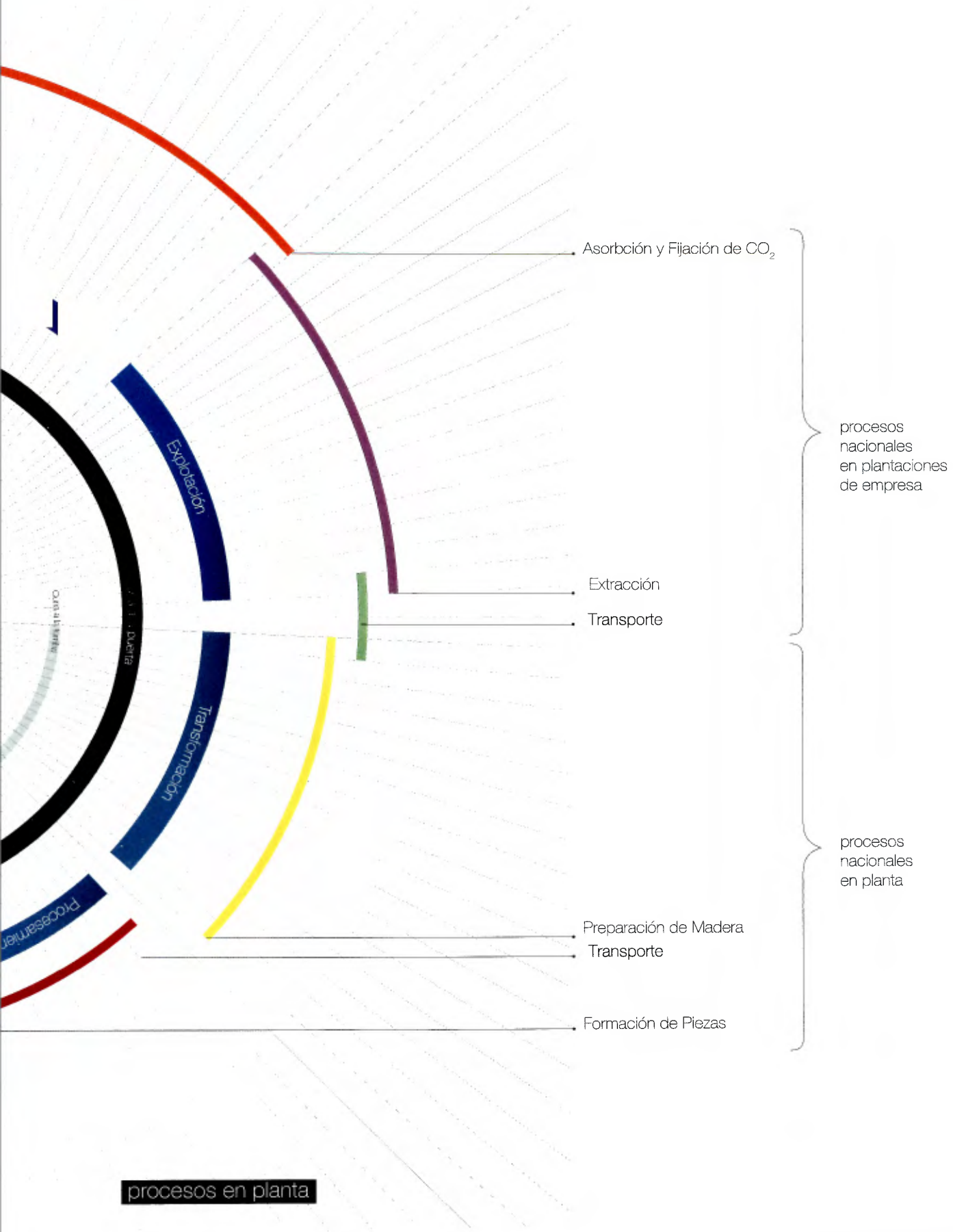
Los datos recopilados para el inventario corresponden al período comprendido entre Octubre 2012 a Setiembre 2013. Mientras que el proceso de recolección de información se desarrolló de Julio 2014 a Marzo 2015, cuando se realizaron visitas a la planta para el estudio de los procedimientos, consultas y entrevistas varias.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida de la madera (Ver gráfico 42).

Los procesos anteriores a la planta que implican la utilización de maquinaria no se estudian a detalle ya que no se cuenta con la especificidad necesaria en la información para realizar el cálculo,

Gráfico 42. Ciclo de Vida Madera de Construcción. Elaboración Propia


Asorbción y Fijación de CO_2
Extracción
Transporte
Preparación de Madera
Transporte
Formación de Piezas
procesos nacionales en plantaciones de empresa
procesos nacionales en planta
Explotación
Transformación
Duela
procesos en planta

esto considerando que el proceso de desarrollo del árbol para la especie en estudio hasta alcanzar un tamaño adecuado para su aprovechamiento tarda 20 años. Por este motivo los procesos se analizan a partir de datos secundarios.

A pesar de esto se realizó el cálculo de emisiones no CO_2 por combustión y descomposición de madera, así como las emisiones producto de fertilizantes nitrogenados y cal, de los cuales si se tenían datos específicos de sus rendimientos.

Proceso de planta y cálculo asociado

El proceso de producción de madera solida de construcción se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Producción de las materias primas
- Transporte nacional.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 44) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

- Salvo en los casos en los que se especifica expresamente, todos los procesos implican consumo de energía eléctrica. El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con los datos de consumo brindados por la empresa (potencias y horas de funcionamiento por semana).

Se obtienen los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Producción y transporte de materias primas

•Madera pino Caribe: Se produce en territorio nacional, ante la falta de información sobre los procesos que se llevan a cabo en las plantaciones y que requieren consumos eléctricos o de combustibles, se utilizó un factor de emisión obtenido de investigaciones internacionales de la especie en estudio. Aquí se contabilizaron las emisiones a partir de la descomposición de materia orgánica dejada en las plantaciones, así como aplicación de fertilizantes nitrogenados y cal se realizaron a partir de los datos de rendimiento de la empresa. La madera es transportada hasta la empresa vía terrestre en tráiler con carreta.

Los datos brindados por la empresa fueron dados en pulgadas madereras ticas (PMT), que fueron trasladadas a unidades de volumen (m^3) y posteriormente a unidades de peso (kg o ton) con el fin de homologar el resultado del factor de emisión con los otros materiales que se estudiaron. A través de la revista forestal Kurú del Instituto Tecnológico de Costa Rica se obtuvo la equivalencia de que 1 PMT es igual a 0,00217 m^3.

•Agua: Se obtiene de pozo, por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

Procesos de línea de producción

•Clasificación de la madera: Cuando las trozas ingresan a la fábrica, pasan en una banda transportadora a través de un escáner, que identifica el diámetro a partir de su sección más delgada y el largo, para determinar el volumen de madera de la troza. Luego las trozas continúan a través de la banda transportadora hasta una serie de buzones, que se abren

automáticamente para recibir la madera a partir de la información de las dimensiones aportada por el escáner. De ahí son transportada hasta la línea de aserrío mediante un cargador, este funciona con diésel

•Línea de aserrío: Consiste en la transformación de una troza de forma cilíndrica en productos con dimensiones específicas de ancho, largo y espesor. Se compone de bandas transportadoras que van pasando a través de sierras.
En el primer corte, se obtiene un semibloque y dos costillas (extremos laterales resultantes de extraer una sección cúbica de una cilíndrica). Después el semibloque es reaserrado en otras máquinas de corte múltiple, hasta obtener dimensiones comercialmente definidas. Por su parte las costillas continúan hasta la línea de recuperación, donde se dimensionan para su aprovechamiento comercial.

Cada uno de los procesos de corte incluye procesos de manejo de residuos, para aprovechar estos como biomasa que alimenta la caldera.

•Proceso de secado: La madera proveniente de las plantaciones forestales ingresa con muy elevado porcentaje de humedad a la planta de producción, es necesario a un nivel apropiado que no comprometa sus capacidades estructurales ni estéticas. En el caso de madera sólida de construcción el secado se da para conservar un 12% de la humedad dentro de la madera.

El proceso se da en hornos con capacidad de 76 m³ durante 7 a 8 días con un funcionamiento de 24 horas. La madera es acomodada en forma manual en tarimas, ya que debe ser colocada de forma tal que permita la circulación del aire caliente entre las piezas.

Los hornos tienen un sistema de tuberías internas llenas de agua, extraída del pozo de la empresa y bombeada, que se encarga de calentar el aire. El agua se calienta mediante una caldera que funciona a partir de biomasa (obtenida de los residuos).

Cada horno posee ocho motores para los ventiladores que hacen circular el aire caliente a través de la madera. Una vez seca la madera, se saca de los hornos con montacargas y se desarman las tarimas.

• Cepillado: Se eliminan las virutas de la superficie de madera con el fin de nivelarla, alisarla y llevarla a medidas estandarizadas para su venta. Esto se hace mediante una máquina cepilladora, la cual cuenta con rodillos que le permiten cepillar las cuatro caras de una pieza al mismo tiempo; se pasa las veces necesarias para obtener el acabado desesado.

Adjudicación de emisiones

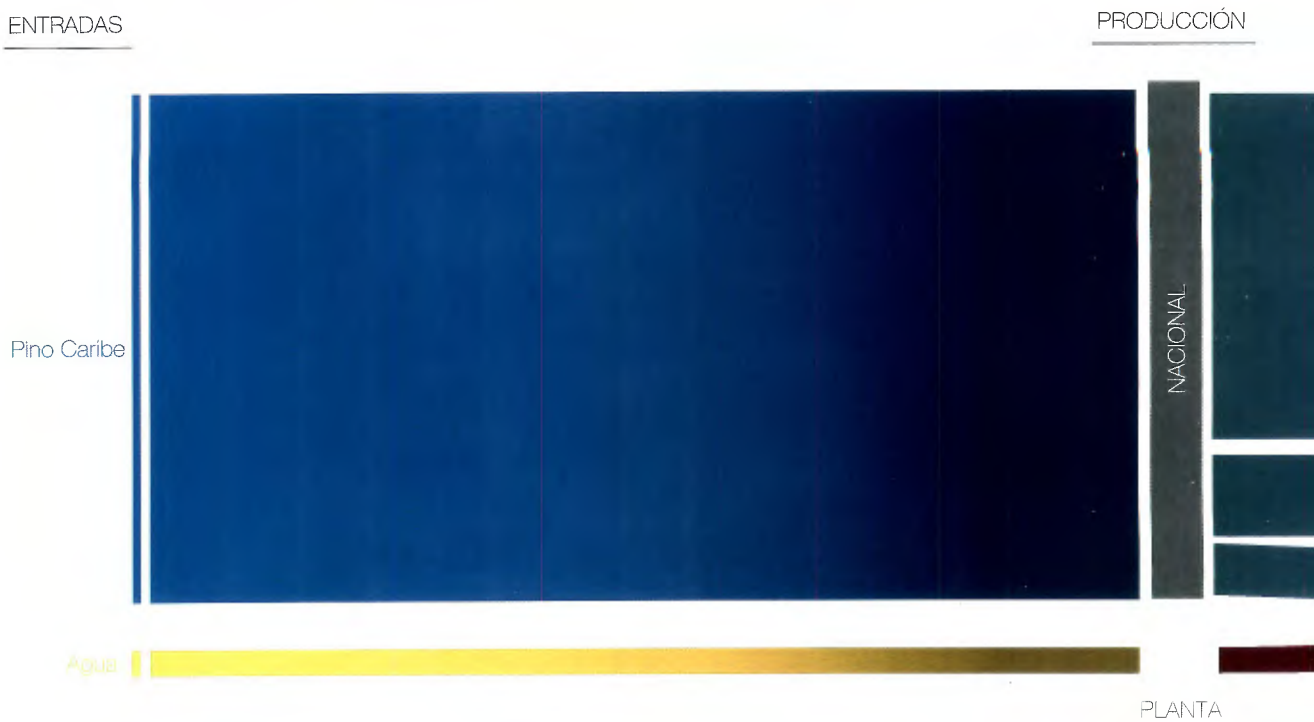
El dióxido de carbono atmosférico (CO_2) es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma de materia orgánica (biomasa-madera). Una tonelada de carbono en la madera de un árbol implica la absorción de 3.67 toneladas de CO_2.

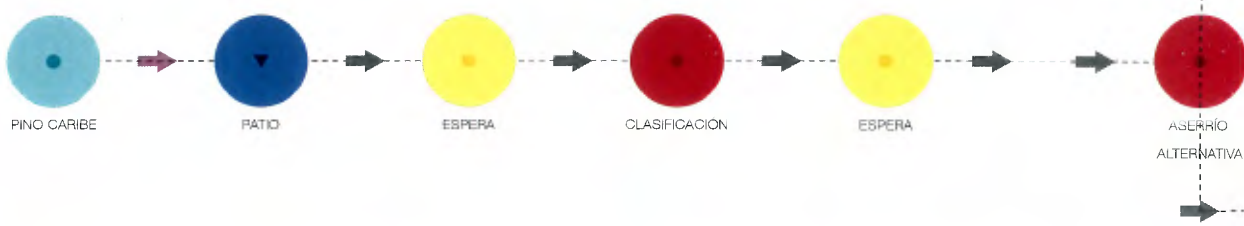
Según datos del IPCC, para la madera pino Caribe, se considera una presencia de 50% de carbono en su biomasa, lo que quiere decir que una tonelada de madera contiene 0,5 toneladas de carbono y por consiguiente absorbió 1,835 toneladas de CO_2.

Cuando la madera se descompone, emite la misma cantidad de CO_2 que capturó. Y como en el proceso de producción se considera que un 30% de la madera utilizada representa los desperdicios resultantes que son incinerados en la caldera para el proceso de secado, o son almacenados como desechos en descomposición; entonces se tiene que el factor de absorción por cada tonelada de madera sería de 1,2845 toneladas de CO_2.

Además de la absorción ya mencionada debido al proceso de fotosíntesis, se consideran las emisiones de Gases de Efecto Invernadero no CO_2 Óxido Nitroso (N_2O) y Metano CH_4 producto de las emisiones asociadas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, cal, combustión de madera y descomposición de desechos provenientes de las secciones no aprovechables de los árboles así como desechos resultantes del proceso de aserrío y que no se reintegran al proceso.

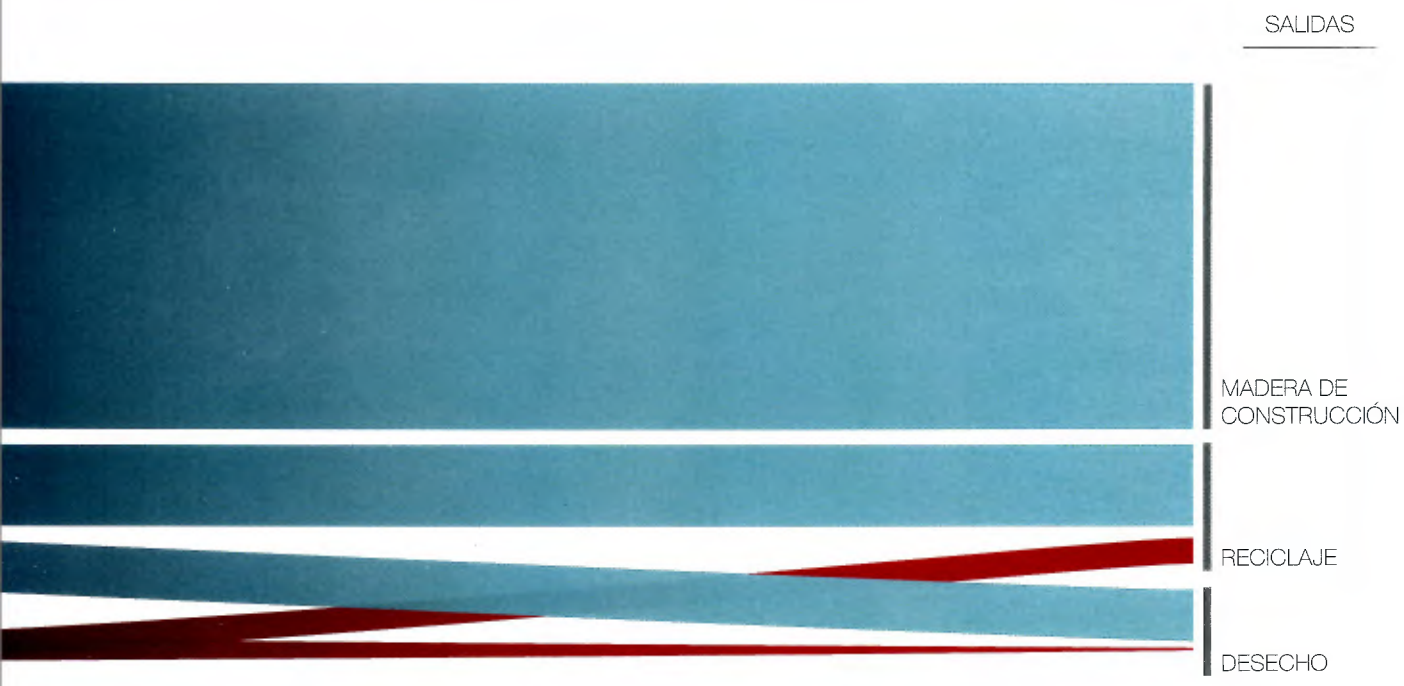
Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

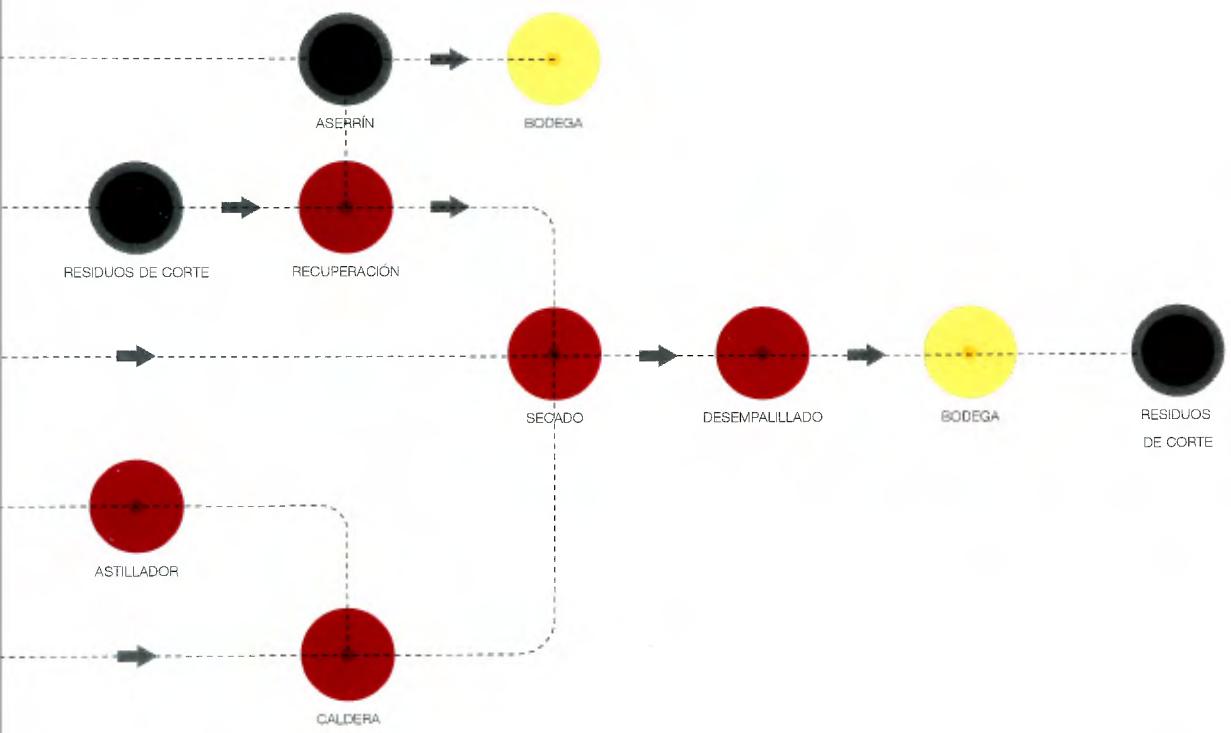

ENTRADAS
PRODUCCIÓN
Pino Caribe
NACIONAL
Agua
PLANTA


PINO CARIBE
PATIO
ESPERA
CLASIFICACION
ESPERA
ASERRÍO
ALTERNATIVA

SIMBOLOGÍA
PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS
OPERACION
ALMACENAMIENTO
ESPERA
FLUJO DE MATERIA
PRODUCCIÓN Y MANEJO DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO TERMINADO
TRANSPORTE INTERNACIONAL
TRANSPORTE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
TRANSPORTE CONSUMO ELECTRICO

AGUA


SALIDAS
MADERA DE CONSTRUCCIÓN
RECICLAJE
DESECHO


ASERRÍN
BODEGA
RESIDUOS DE CORTE
RECUPERACIÓN
SECADO
DESEMPALILLADO
BODEGA
RESIDUOS DE CORTE
ASTILLADOR
CALDERA

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por el equipo investigador para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Tiempos de proceso en empresa
Todos los datos específicos fueron otorgados por la empresa directamente, tanto la duración de cada etapa por semana, como los consumos asociados a estas.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los consumos eléctricos y de combustibles por utilización de equipo en los procesos de plantación, mantenimiento y extracción de la madera.
En este apartado se consideró la absorción de CO_2 de la madera durante su proceso de crecimiento, la liberación de CO_2 por procesos de combustión.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.
Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1.El procesamiento de madera de la especie Pino Caribe no se da todas las semanas, ya que en la etapa de aserrío se alterna con otras especies destinadas a la producción de distintos productos que comercializa la empresa. Por lo que se realizó un promedio de cantidad de madera ingresada a partir de las semanas donde efectivamente ingresó Pino para producción de madera de construcción.

2.Se decidió contabilizar la fijación de CO_2 durante los procesos de crecimiento de la madera, ya que por los alcances de la presenta investigación, al momento en que el producto sale de la empresa, todavía tiene CO_2 almacenado como biomasa.

3.Se decidió contabilizar la liberación de CO_2e (pues más que CO_2 se liberan otros gases de efecto invernadero como NO_2 y CH_4) de los procesos de descomposición, combustión y aplicación de compuestos necesarios para el correcto desarrollo de los árboles. Para estos cálculos se utilizaron ecuaciones obtenidas de IPCC 2006, así como valores por defecto que se aplicaron en caso de no tener la información directamente de la empresa

4.Los datos acerca de los consumos asociados al tiempo de crecimiento de la madera en las plantaciones forestales no tenían el detalle requerido por parte de las metodologías de investigación, por lo que se trabajó con datos teóricos correspondientes a esta etapa, obtenidos de profesionales y documentos de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR. Sin embargo, la utilización de un factor de emisión estándar, puede no reflejar la realidad de la empresa en cuestiones de mortalidad y pérdidas para estimar con exactitud la transferencia a materia orgánica muerta. Igualmente los datos de rendimiento al momento de extraer las plantaciones de los bosques son valores por defecto obtenidos de FAO (1992), por lo que puede que no se ajuste a las condiciones reales de las plantaciones propiedad de la empresa.

Tabla 69. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de madera

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Datos mensuales de venta de productos. Octubre, 2012 a Setiembre, 2013	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Suma por producto.	Determinación de Unidad funcional.
Datos semanales de procesos de producción. Octubre, 2012 a Setiembre, 2013	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Suma de metros cúbicos de madera procesada Octubre, 2012 a Setiembre, 2013	Cantidad en metros cúbicos de madera procesada en el periodo Empresa productora de Madera Sólida de Construcción
Estudio de consumo eléctrico de planta de producción	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta asociada.	Cantidad de electricidad asociada a la producción de una tonelada de madera solida para construcción.
Datos de ingresos mensuales por especie de madera. Octubre, 2012 a Setiembre, 2013	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Promedio y porcentaje.	Volumen promedio de ingreso por especie a la planta
Cantidad de humedad contenida en la madera al ingreso a planta	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Promedio de humedad con que ingresa la madera a la planta	Determinación de la densidad y peso de la madera al ingreso a la planta
Cantidad de humedad contenida en la madera a la salida de la planta de producción	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	Promedio de humedad con que sale la madera de la planta	Determinación de la densidad y peso de la madera a la salida de la planta

Tabla 70. Recolección de datos / Tiempos de proceso

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Duración proceso de clasificación de la madera	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	División tiempo entre volumen de madera.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto terminado.
Duración proceso de aserrío	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	División tiempo entre volumen de madera.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto terminado.
Duración proceso de secado	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	División tiempo entre volumen de madera.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto terminado.
Duración proceso de cepillado	Empresa productora de Madera Sólida de Construcción	Primario	División tiempo entre volumen de madera.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto terminado.

Tabla 71. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Factor de emisión maquinaria y equipos Etapa de crecimiento Pino Caribe	Instituto Tecnológico de Costa Rica	Secundario	No aplica	Factor de emisión Pino Caribe atribuidos a etapa de crecimeinto.

Tabla 72. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Densidad diésel	RECOPE	Primario	Innecesario	Densidad diésel
Transportes terrestres	Factores de rendimiento por kilómetro LIPASTO	Secundario	Innecesario	Consumo de combustible en transportes terrestres
Transporte por montacargas y cargador	Factores de rendimiento según potencia técnica del montacargas a partir de base de datos de LIPASTO	Secundario	Innecesario	Consumo de combustible en transportes en montacargas y cargador
Distancias transporte terrestre	Google Earth	Secundario	No aplica	Distancias a fábrica

5.Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por proveedores y la planta

6.Las distancias de transportes terrestres y marítimos se asumieron según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

7.En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de madera sólida de construcción, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

- Producción de materias primas : Este rubro sintetiza la sumatoria del factor de emisión obtenido a partir de los procesos en plantación y emisiones de Gases de Efecto Invernadero no CO_2 producto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, cal, descomposición de materia orgánica dejada en las plantaciones y combustión.
- Transporte Nacional.
- Procesos Línea de Producción.
- Procesos de combustión y descomposición
- Fijación

Tabla 73. Resultados / Materias Primas

Producción de Materias	ton CO_2e/ton	Porcentaje
Total	0.030	11.11%
Pino Caribe	0.030	11.11%

Tabla 74. Resultados / Transporte Nacional

Transporte Nacional	ton CO_2e/ton	Porcentaje
Total	0.068	25.18%
Pino Caribe	0.068	25.18%

Tabla 75. Resultados / Línea de Producción

Línea de Producción	ton CO_2e/ton	Porcentaje
Total	0.1735	64.25%
Clasificación	0.000508	0.18%
Aserrío	0.0184	6.81%
Secado	0.1303	48.25%
Desempalillado	0.00373	1.38%
Cepillado	0.01745	6.46%
Recuperación	0.00316	1.17%

Tabla 76. Resultados / Resultado Preliminar

Este resultado preliminar no considera la fijación de CO_2e producto de los procesos biológicos de los árboles ni la liberación de este mismo producto de la descomposición de los desechos de madera tanto en plantaciones como dentro de la empresa

	Factor de Emisión ton CO_2e/ton
Madera de Construcción	0.27 tonCO_2e/ton

Tabla 77. Resultados / Liberación de CO_2e por procesos de combustión y descomposición

Liberación CO_2e	Factor de Emisión ton CO_2e/ton
Total	2.43 tonCO_2e/ton
Liberación CO_2	2.43 tonCO_2e/ton

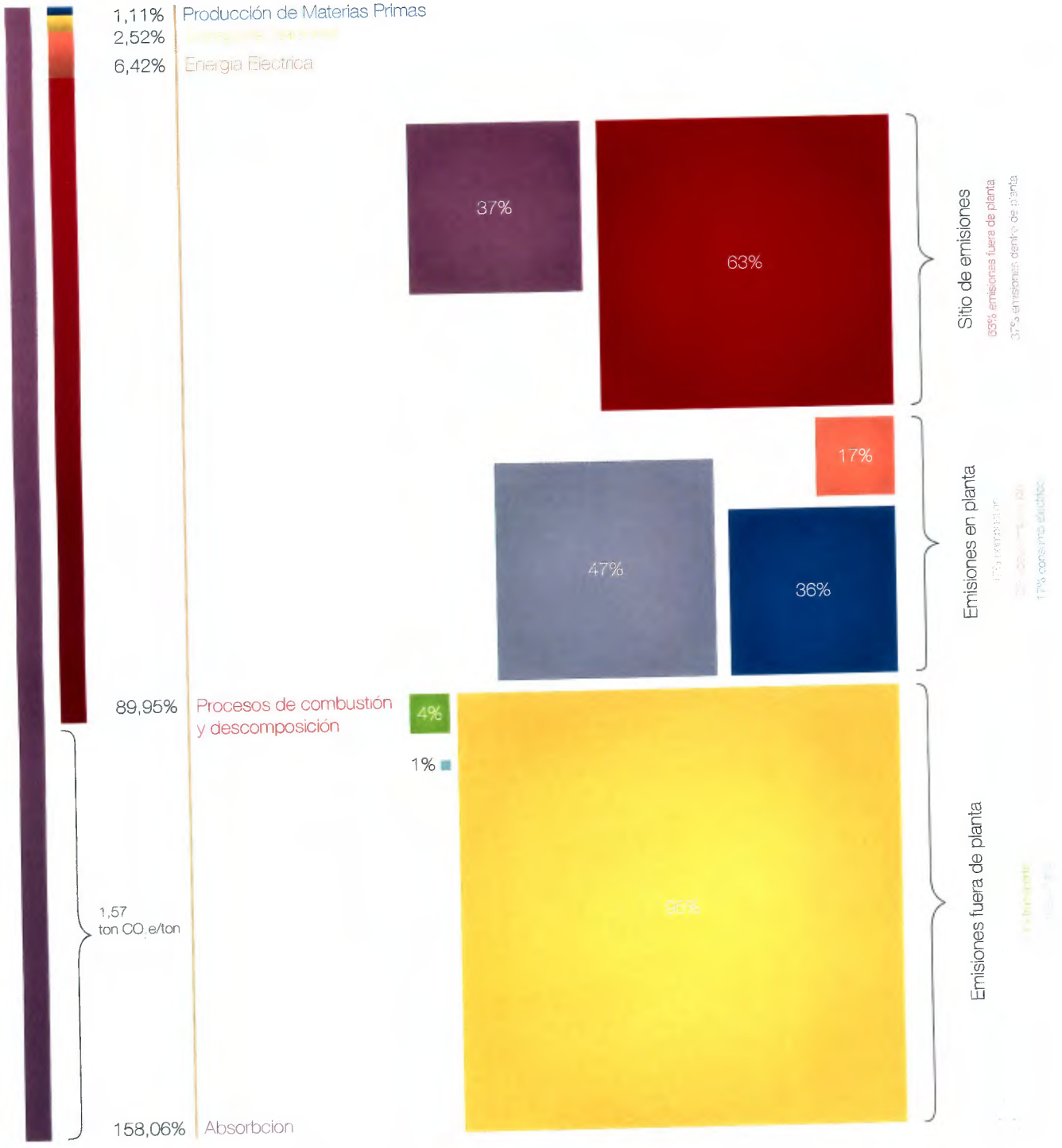
Tabla 78. Resultados / Fijación

Proceso biológico	Factor de Fijación
Total	-4.27 ton CO_2e/ton

Tabla 79. Resultados / Resultado final

	Factor de Fijación
Emisiones totales	2.7 ton CO_2e/ton
Absorciones totales	-4.27 ton CO_2e/ton
TOTAL	-1.57 ton CO_2e/ton

-1.57 ton CO2e/ton



Madera laminada

Información general

La empresa participante produce madera laminada encolada a partir de madera importada de pino radiata. Los elementos se producen a partir de piezas pequeñas de madera a las que se les eliminan los defectos que debilitan la rigidez de la sección en conjunto. La madera utilizada es secada al 12% de humedad y preservada para repeler insectos y hongos.

La venta del producto se da por metros cúbicos de madera y cada uno de los elementos producidos se realiza contra pedido, con las dimensiones específicas requeridas para los respectivos proyectos.

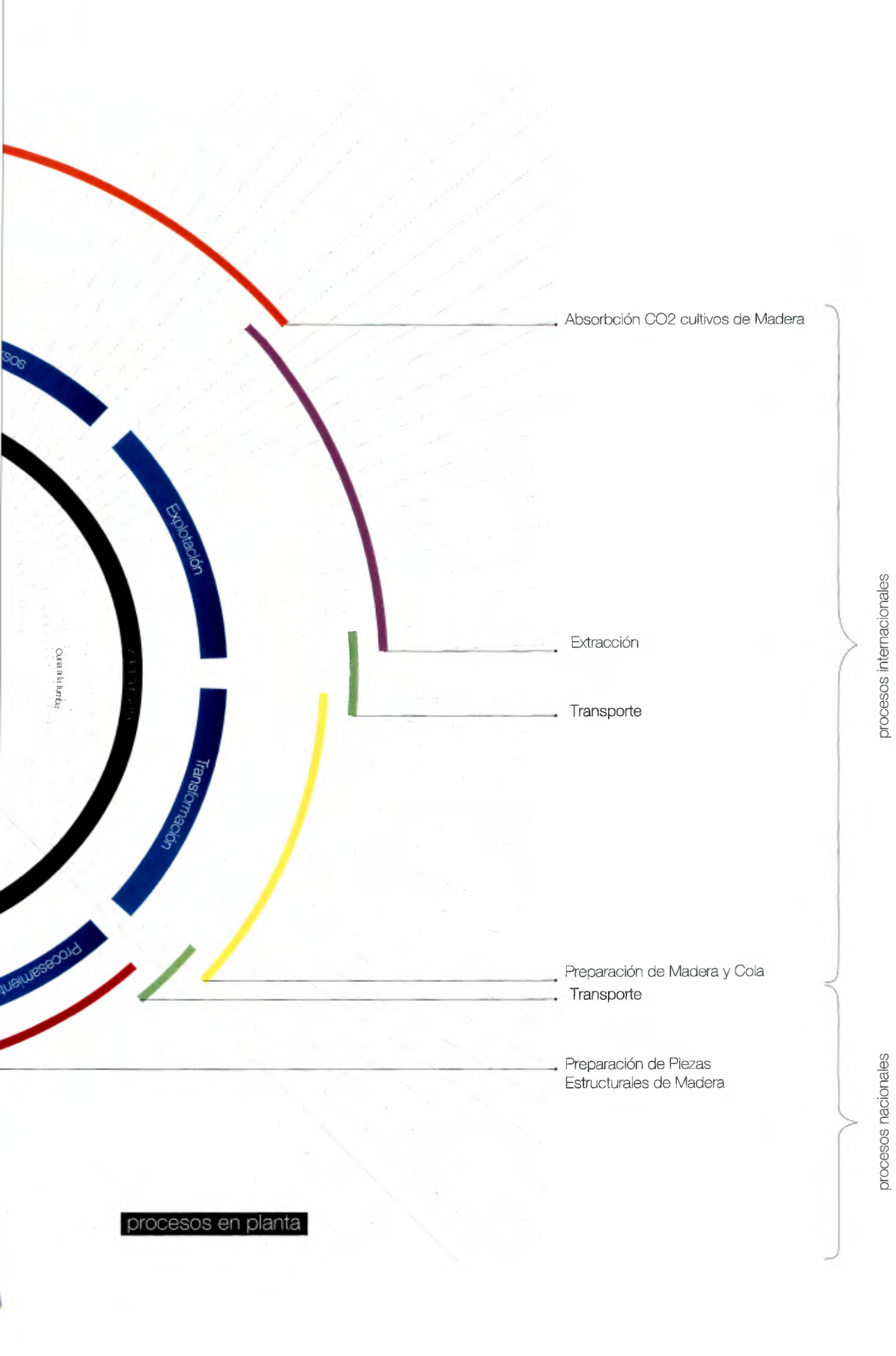
Definición de unidad funcional

Es importante especificar que no toda la madera que ingresa es destinada a la fabricación de elementos estructurales, por lo que se revisaron los pedidos realizados de Enero 2013 a Diciembre 2013 para establecer qué porcentaje representan dichos elementos dentro del total de la producción.

Otro punto que se definió con la empresa fue el de los acabados de mayor salida para los pedidos de madera laminada encolada. La evaluación se realizó para productos laminados en estado natural, ya que la aplicación de otro tipo de acabados, como barnices, se hacen en el sitio de construcción, para que al transportar el producto este no reciba algún daño.

La unidad funcional fue determinada por las unidades que maneja la empresa, tanto para la compra de materia prima principal como para la venta de productos, los metros cúbico. Para efectos de este estudio los datos de volumen se trasladaron a una unidad de masa, con el dato de la densidad de la especie, otorgado por la Oficina Nacional Forestal (ONF) y considerando el porcentaje de humedad indicado por la empresa.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de madera laminada producida. Las conversiones se encuentran


Absorbción CO2 cultivos de Madera
Extracción
Transporte
Preparación de Madera y Cola
Transporte
Preparación de Piezas Estructurales de Madera
procesos internacionales
procesos nacionales
Explotación
Transformación
procesos en planta

especificadas en las tablas y memorias de cálculo. Igualmente se trabajó la relación de emisiones de toneladas CO_2e por metro cúbico de madera, con el fin de mantener el lenguaje utilizado en el mercado.

Fecha del inventario

Para la evaluación de los procesos que tienen lugar dentro de la empresa, se solicitó el informe de pedidos de elementos estructurales de madera laminada correspondientes a un año completo comprendido entre Enero 2013 a Diciembre 2013.

Mientras que el proceso de recolección de información en la empresa se desarrolló de Mayo a Diciembre del 2014. En este período se realizaron visitas a la planta para el estudio de los procedimientos, recolección de datos, mediciones de tiempo en sitio, consultas y entrevistas varias.

Delimitación del Sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis se hace un trazado del ciclo de vida de la madera laminada encolada. (Ver gráfico 46).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros y en varios casos fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.

Composición

Tal y como se puede ver en el gráfico 47, los componentes de los elementos laminados se han clasificado según su función en el proceso productivo.

- Materiales contenidos en el producto terminado: madera pino radita, preservante, cola
- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: leña para combustión, diésel para montacargas y cargadores, agua (no contabilizada).

De igual forma las materias primas se clasificaron según el sitio de producción.

- Materias producidas en suelo nacional: leña.
- Materias producidas fuera del territorio nacional: madera pino radiata, preservante, cola y diésel.
- Materias producidas o recolectadas dentro de planta: agua.

Proceso de planta y cálculo asociado

El proceso de producción de la madera laminada se divide en varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Extracción y producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 48) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.

-El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace obtiene de los datos de potencias de la maquinaria obtenidos de la empresa y las mediciones de tiempo realizadas en sitio. El dato de los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción, se multiplican por el factor de emisión de

consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Producción y transporte de materias primas

- Madera Pino Radiata: Se produce fuera del país por lo que se utiliza el factor de emisión obtenido de la base de datos del ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido. Se calcula el transporte marítimo, y el transporte terrestre en tráiler con carreta.

- Preservante: Se produce fuera del país por lo que se calcula el transporte marítimo a Honduras, y de ahí el transporte terrestre hasta la empresa en suelo nacional. Debido a la especificidad del producto no se cuenta con un factor correspondiente a su proceso de producción, ni en bases de datos internacionales.

- Cola: Se produce fuera del país por lo que se calcula el transporte marítimo y el transporte terrestre hasta la empresa en suelo nacional. Se produce fuera del país por lo que se utiliza el factor de emisión obtenido de la base de datos del ICE de la Universidad de BATH en el Reino Unido.

- Agua: El agua se obtiene de pozo por lo que no debe ser utilizado un factor de emisión asociado al procesamiento de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo es necesario calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico de las bombas de captación y distribución.

- Leña para combustión: Se utiliza para la combustión en calderas y aprovechar el calor en el proceso de secado de la madera. Se calcula el transporte terrestre en camión hasta la empresa. También se considera la liberación de CO_2 a la atmósfera en el momento de la combustión (ver apartado de adjudicación de emisiones).

Procesos de línea de producción.

- Preservación: El proceso utilizado por la empresa para la preservación se conoce con el nombre de impregnación por vacío presión célula llena, se desarrolla en un autoclave que funciona con electricidad y consta de varias etapas:

-En el sub proceso Vacío, se carga la madera con montacargas, y se acomoda manualmente sobre una tarimas con ruedas en las que ingresan al autoclave, donde se aplica vacío para desalojar el aire del interior de las piezas así como residuos de agua que puedan existir.

-En el sub proceso Presión, la madera continúa dentro del autoclave para que se le inyecte por presión la solución preservante hasta llegar a los límites requeridos.

- Secado: El proceso se da en tres hornos, dos con capacidad de 20 m^3 y uno de 50m^3. Tiene una duración de una semana, se utiliza un día para ingresar la madera dentro de los hornos y otro para sacarla; ambos procesos se realizan manualmente ya que la madera debe ser colocada de forma tal que permita la circulación del aire caliente entre las piezas.

Cada horno posee tres motores para los ventiladores que hacen que el aire caliente fluya a través de la madera. Además, dentro de los hornos hay un sistema de tuberías internas llenas de agua, extraída y bombeada del pozo de la empresa, que se calienta con caldera (funciona a partir de la combustión de la leña) y se encarga de calentar el aire.

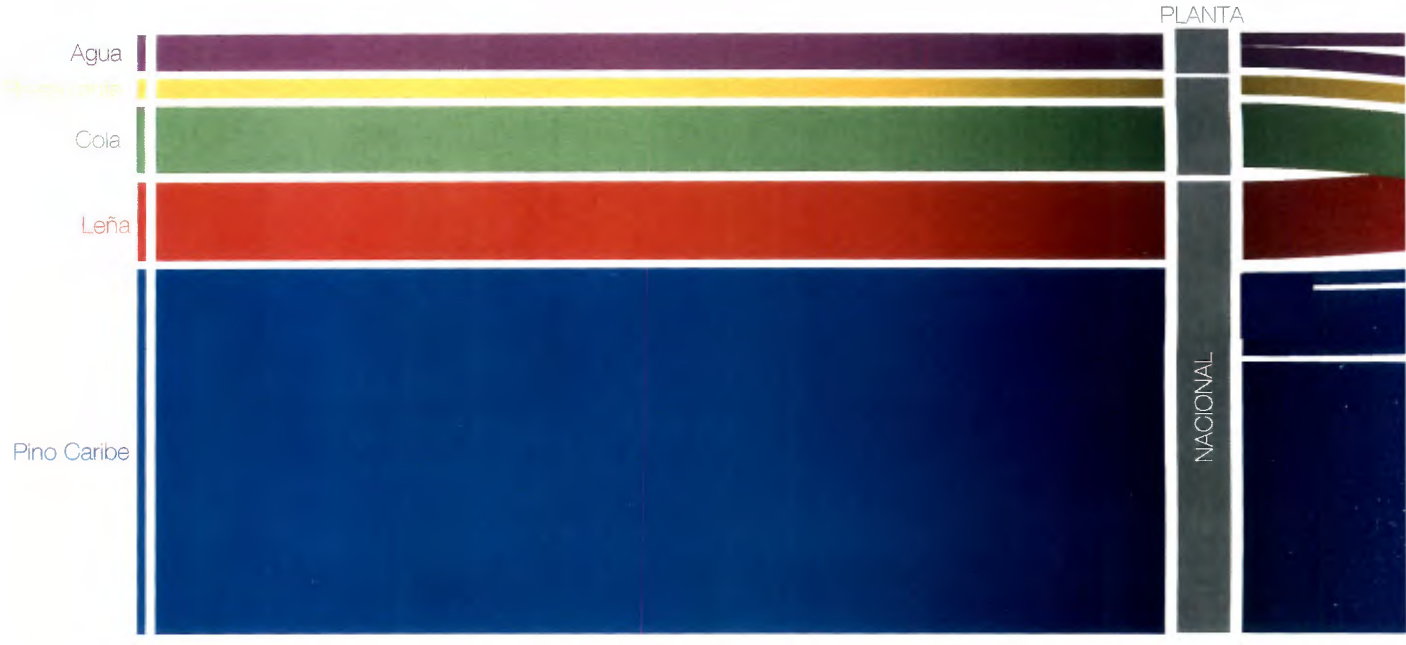
- Corte: La madera se traslada en montacargas hacia el sector de corte. Primero se dimensionan las piezas originales , obteniendo tres piezas de cada una. Luego se eliminan los nudos que posee la madera en su condición natural, con el fin de que los elementos laminados posean mejores condiciones estructurales. Esta etapa representa la pérdida de material más significativa del proceso. A cada una de las piezas resultantes, se le realiza el corte en sus extremos para la unión tipo "finger joint".

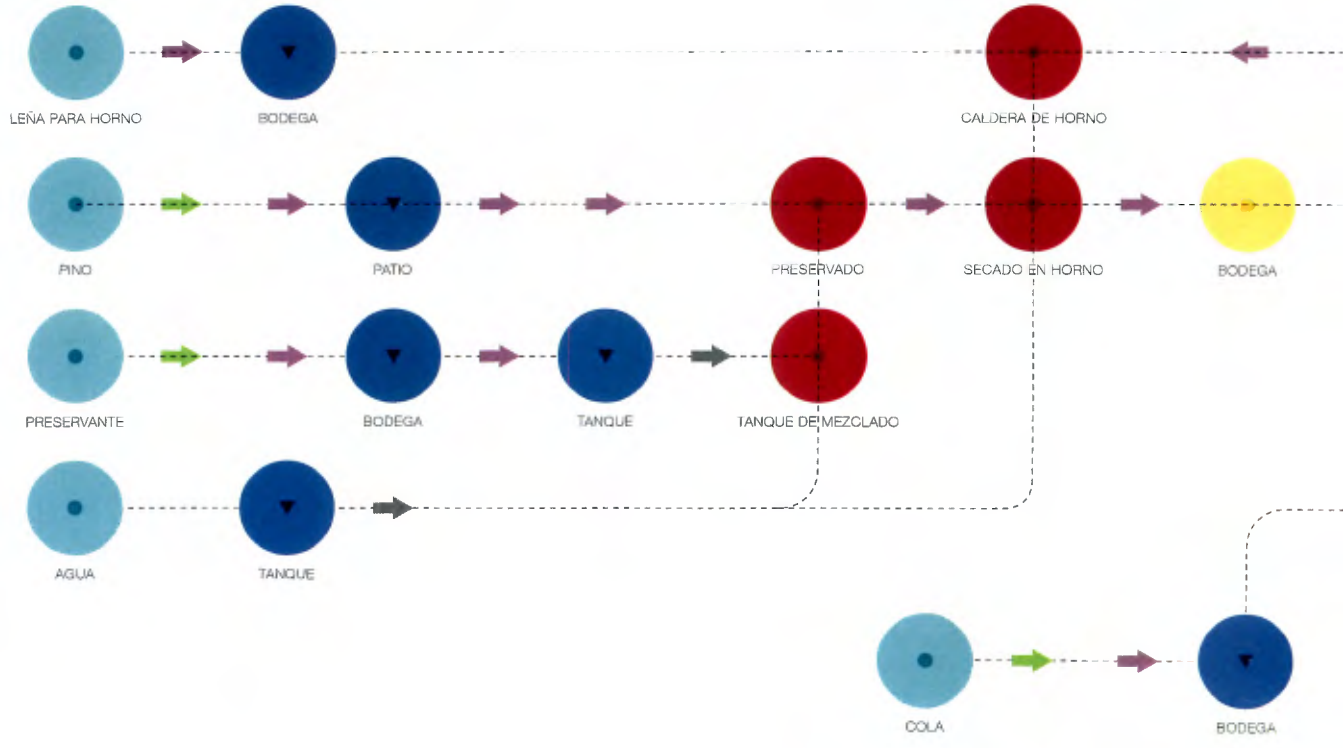
La pérdida de material en esta etapa es aserrín, aunque no se considera como tal, ya que es reutilizado para su combustión en los hornos.

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

ENTRADAS

PRODUCCIÓN





- Encolado: Se aplica la cola, se unen las piezas por medio del "finger joint" y se sujetan con presnas hidráulicas. Cuando la cola ya fraguó se utiliza un cepillo eléctrico para eliminar los sobrantes.

A las piezas unidas se les denomina lamelas, las cuales son encoladas nuevamente para unir varias y obtener una pieza formal. Se repite el proceso con el cepillo eléctrico para eliminar sobrantes, y con una sierra de banco se corta la pieza laminada en sus dimensiones definitivas para el proyecto solicitado.

- Cepillado: Se cepillan nuevamente las 4 caras del elemento para asegurar la eliminación de sobrantes de cola. Se lija para un acabado más uniforme y finalmente, mediante un "router", se suavizan los bordes del elemento.

Adjudicación de emisiones

El dióxido de carbono atmosférico (CO_2) es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma de materia orgánica (biomasa-madera). Una tonelada de carbono en la madera de un árbol implica la absorción de 3.67 toneladas de CO_2.

Según datos del IPCC, para la madera pino Caribe, se considera una presencia de 50% de carbono en su biomasa, lo que quiere decir que una tonelada de madera contiene 0,5 toneladas de carbono y por consiguiente absorbió 1,835 toneladas de CO_2.

Cuando la madera se descompone, emite la misma cantidad de CO_2 que capturó. Y como en el proceso de producción se considera que un 30% de la madera utilizada representa los desperdicios resultantes que son incinerados en la caldera para el proceso de secado, o son almacenados como desechos en descomposición; entonces se tiene que el factor de absorción por cada tonelada de madera sería de 1,2845 toneladas de CO_2.

Adicional a la liberación del CO_2 almacenado en la madera durante los procesos de combustión de da la liberación de Gases

Tabla 80. Recolección de datos / Bases de datos de em

Dato	Fuer
Datos diarios de preservado y secado de madera del 1 de Enero de 2013 al 31 de Diciembre de 2013	Empresa producto Laminada
Estudio de consumo eléctrico de Planta	Empresa producto Laminada
Reporte de pedidos mensuales Enero-Diciembre 2013 de elementos de madera laminada	Empresa producto Laminada
Datos mensuales de pedidos de materias primas. Enero 2013 a Diciembre 2013	Empresa producto Laminada

Tabla 81. Recolección de datos / Tiempos de proceso

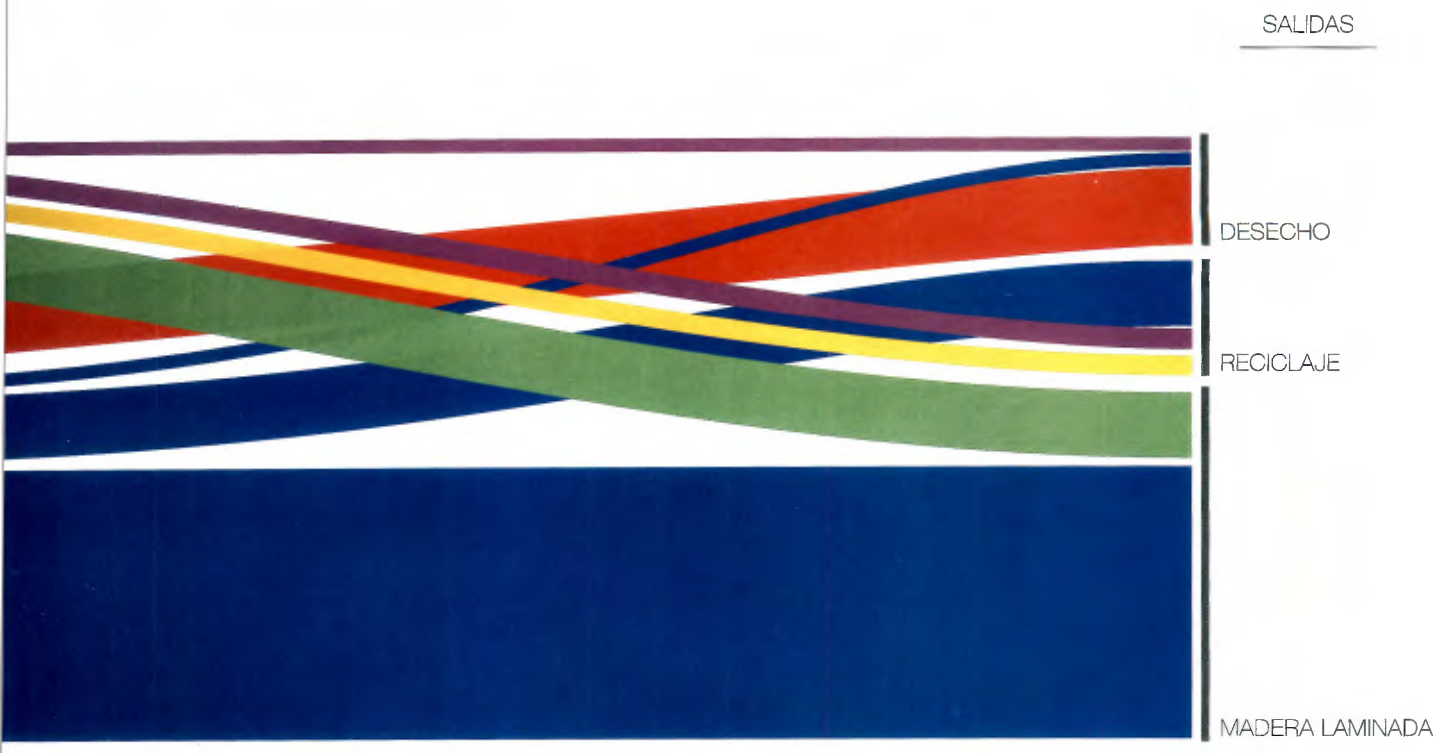
Dato	Fuent
Duración proceso preservado	Empresa productora de
Duración proceso de secado	Empresa productora de
Duración proceso de dimensionamiento de piezas	Mediciones en sitio
Duración proceso de eliminación de nudos.	Mediciones en sitio
Duración proceso de eliminación de nudos.	Mediciones en sitio
Duración procesos de Encolado	Medición en sitio
Duración procesos de cepillado	Mediciones en sitio
Duración procesos Acabados	Medición en sitio
Duración de procesos de transporte internos	Medición en sitio

Tabla 82. Recolección de datos / Factores de Emisión

Dato	Fuent
Factor de emisión Pino Radiata	Base de Datos Internaci
Factor de emisión cola	Base de Datos Internaci
Factor de absorción Pino Radiata	Instituto Tecnológico de
Factor de emisión diésel	Instituto Metereológico
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Instituto Costarricense
Transportes marítimos	Factores de emisión kilómetro LIPASTO

Tabla 83. Recolección de datos / Otros datos

Dato	Fuent
Densidad diésel	RECOPE
Densidad Madera Pino Radiata	Oficina Nacional Foresta
Densidad Leña	Oficina Nacional Foresta
Transportes terrestres	Factores de rendimie LIPASTO
Distancias de transporte marítimo	Sitio web "Sea route fin
Transporte por montacargas	Factores de rendimien técnica del montacarga de datos de LIPASTO



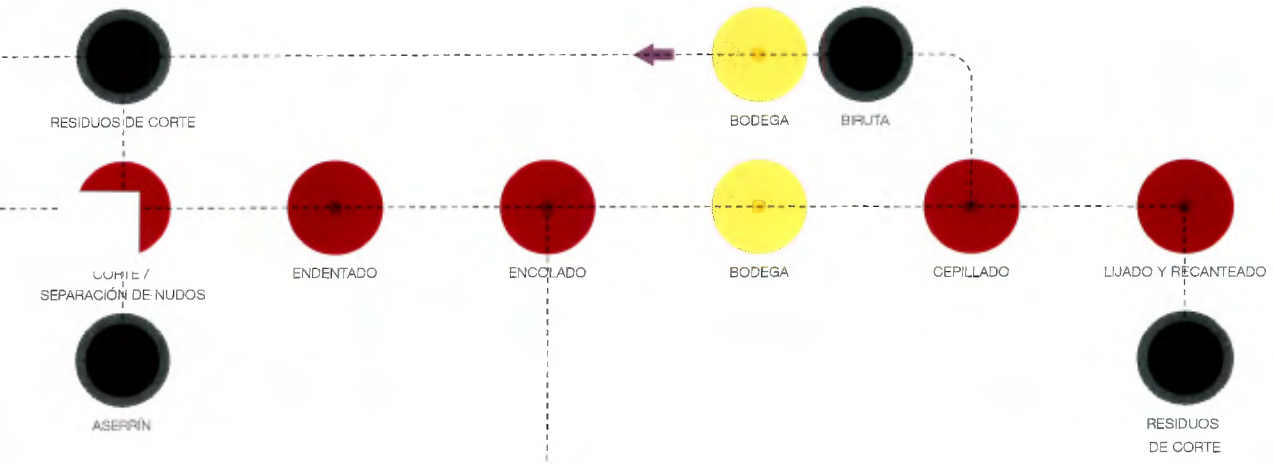


Gráfico 47. Composición de la madera laminada. Elaboración: Propia
Gráfico 48. Diagrama de proceso en planta de la madera laminada. Elaboración: Propia

oductora de madera

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
		Suma de metros cúbicos de madera preservada y secada.	Cantidad en metros cúbicos de madera preservados y secados en el periodo.
Madera	Primario	Diferencia y promedio de preservante por metro cúbico de madera preservada.	Cantidad de preservante por metro cúbico de pino para madera laminada
		Multiplicación de metros cúbicos de pino por factor de densidad.	Peso por metro cúbico de pino
		Promedio y porcentaje de preservante por tonelada de pino	Receta de composición de la madera laminada respecto de la cantidad de preservante
Madera	Primario	Asociación con porcentajes de producción de planta.	Cantidad de electricidad asociada a la producción de una tonelada de madera laminada.
		Promedio y porcentaje.	Metros cúbicos promedio en los pedidos de elementos de madera laminada.
Madera	Primario	División de metros cúbicos de madera pino procesados para cada pedido entre los metros cúbicos resultantes por elemento laminado.	Porcentaje de desperdicios de madera.
Madera	Primario	División de toneladas de materias primas entre las toneladas de madera laminada.	Rendimiento de materias primas.

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
aminada	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
aminada	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	División tiempo entre volumen de pino.	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	Promedio de tiempo entre volumen de pino	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	Promedio de tiempo entre volumen de pino	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.
	Primario	Promedio	Tiempo de proceso por metro cúbico de producto.

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Secundario	No aplica	Factor de emisión Pino.
	Secundario	No aplica	Factor de emisión Cola
ca	Secundario	Multiplicación del carbono contenido en un metro cúbico de madera por los Kilogramos de CO_2 necesarios para obtener esa cantidad de biomasa.	Absorción de CO_2 del pino durante su proceso de crecimiento
	Primario	No aplica	Factor de emisión diésel
idad	Primario	No aplica	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica
lada por	Secundario	No aplica	Factores de emisión por tonelada por kilómetro

	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
	Primario	Innecesario	Densidad diésel
	Secundario	Multiplicación de metros cúbicos de madera por densidad nominal (seca al 12% de humedad)	Toneladas de madera por metro cúbico
	Secundario	Multiplicación de metros cúbicos de madera por densidad nominal (seca al 12% de humedad)	Toneladas de leña por metro cúbico
kilómetro	Secundario	No aplica	Consumo de combustible en transportes terrestres
	secundario	No aplica	Distancias de transporte marítimo
potencia de base	Secundario	No aplica	Consumo de combustible en montacargas.

de Efecto Invernadero N_2O y CH_4 los cuales son contabilizados dentro de los procesos de producción de la empresa que provoquen estas emisiones.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por el equipo investigador para obtener los datos requeridos.

Bases de datos empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Tiempos de proceso en empresa productora de madera laminada
Algunos casos específicos son dados por la empresa directamente; sin embargo, otros son obtenidos por mediciones realizadas en sitio, que son promediadas y posteriormente calculadas por tonelada elemento terminado de madera laminada.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

En este apartado se considerará la absorción de CO_2 de la madera durante su proceso de crecimiento y la liberación de CO_2 de la misma por procesos de combustión.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.

Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. No se tiene exactitud del porcentaje de humedad con el que ingres la madera a la empresa. Por tal motivo se considera una densidad nominal (al 12% de humedad) para hacer la conversión a kilogramos de madera ingresada y posteriormente a toneladas de madera.

2. Para el proceso de preservación la empresa cuenta con dos autoclaves con capacidad de 5 y 7 metros cúbicos de madera. Como la madera destinada a la fabricación de vigas laminadas pasa por este proceso junto con madera destinada a otros productos, se hizo un promedio a partir de la cantidad de veces que se utiliza cada autoclave, un 56.67% el de 5m³ y el de 7 m³ un 43.33%.

3. Para el proceso de secado la empresa cuenta con 3 hornos, dos de ellos con una capacidad de 20 m³ y uno con una capacidad de 50 m³. No se tuvo datos de que porcentaje de madera del proceso de estudio fue secada en uno u otro horno, por lo que se dividió el total de metros cúbicos del período de estudio en 3 partes iguales.

4. Se decidió contabilizar la fijación de CO_2 durante los procesos de crecimiento de la madera, ya que por los alcances de la presenta investigación, al momento en que el producto sale de la empresa, todavía tiene CO_2 almacenado como biomasa. Sin embargo no se tiene certeza de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero no CO_2 que se den como producto de procesos fuera del país como aplicación de fertilizantes, descomposición de madera o combustión, por lo que no serán

contabilizados.

5. No se cuenta con con el factor de emisión del preservante por lo que se dejó por fuera del cálculo, este corresponde a un 0,5% de la composición de la madera laminada.

6. Las mediciones en sitio han sido realizadas por un cronómetro manual de centésimas de segundo.

7. Las mediciones de tiempo durante el proceso de eliminación de nudos, se promediaron a partir de condiciones críticas donde la madera presenta una gran cantidad de nudos y condiciones donde las piezas de madera presentan pocos nudos.

8. Las mediciones de tiempo para las fases de encolado y acabados se hicieron sobre elementos laminados que se aproximan a las dimensiones más comunes que se solicitan a la empresa, para asociar una duración de tiempo por metro cúbico de producto terminado.

9. No se tiene la especificación de la(s) especie(s) de madera leña utilizada para la combustión en caldera, por lo que se hizo un promedio de las densidades de especies de madera que se desarrollan en territorio nacional y son comúnmente utilizadas con este fin para obtener la conversión de los metros cúbicos peso.

10. Las distancias de transportes terrestres y marítimos se asumieron según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

11. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad especificada por proveedores y la planta.

12. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

13. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la elaboración de elementos estructurales de madera laminada encolada, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final. Posteriormente se establece la absorción de CO_2e como resultado de los procesos biológicos de la madera.

- Producción de materias primas
- Trnasporte Internacional
- Transporte Nacional.
- Procesos Línea de Producción.
- Procesos de combustión y descomposición
- Fijación

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

Tabla 84. Resultados de inventario / Materias Primas

Producción de Materias Primas	ton CO_2e/ ton producto	Porcentaje
Total	0.75	48.38%
Pino Radiata	0.59	38.06%
Cola	0.16	10.32%

Tabla 85. Resultados de inventario / Transporte internacional

Transporte internacional	ton CO_2e/ ton producto	Porcentaje
Total	0,1976	12.74%
Pino Radiata	0.19	12.25%
Preservante	0,004	0.25%
Cola	0,0031	0.20%

Tabla 86. Resultados de inventario / Transporte Nacional

Transporte Nacional	ton CO_2e/ ton producto	Porcentaje
Total	0.153	9.87%
Pino Radiata	0.15	9.67%
Preservante	0.0006	0.03%
Cola	0.0019	0.12%
Leña	0.00037	0.02%

Tabla 87. Resultados de inventario / Línea de producción

Línea de producción	ton CO_2e/ ton producto	Porcentaje
Total	0.079	5.09%
Preservación	0.0025	0.16%
Secado	0.022	1.41%
Corte	0.020	1.29%
Encolado	0.021	1.35%
Acabados	0.015	0.96%

Tabla 88. Resultados de inventario / Liberación de CO_2e por procesos de combustión

Liberación de CO_2e por procesos de combustión	ton CO_2e/ ton producto	Porcentaje
Total	0.3719	23.99%
Liberación CO_2	0.37	23.87%
Liberación Gases no CO_2 (resultado en CO_2e)	0.0019	1.22%

Tabla 89. Resultados de inventario / Madera Laminada Encolada Resultado Preliminar

Madera Laminada Encolada	Factor de Emisión
Total	1.55ton CO2e/ton

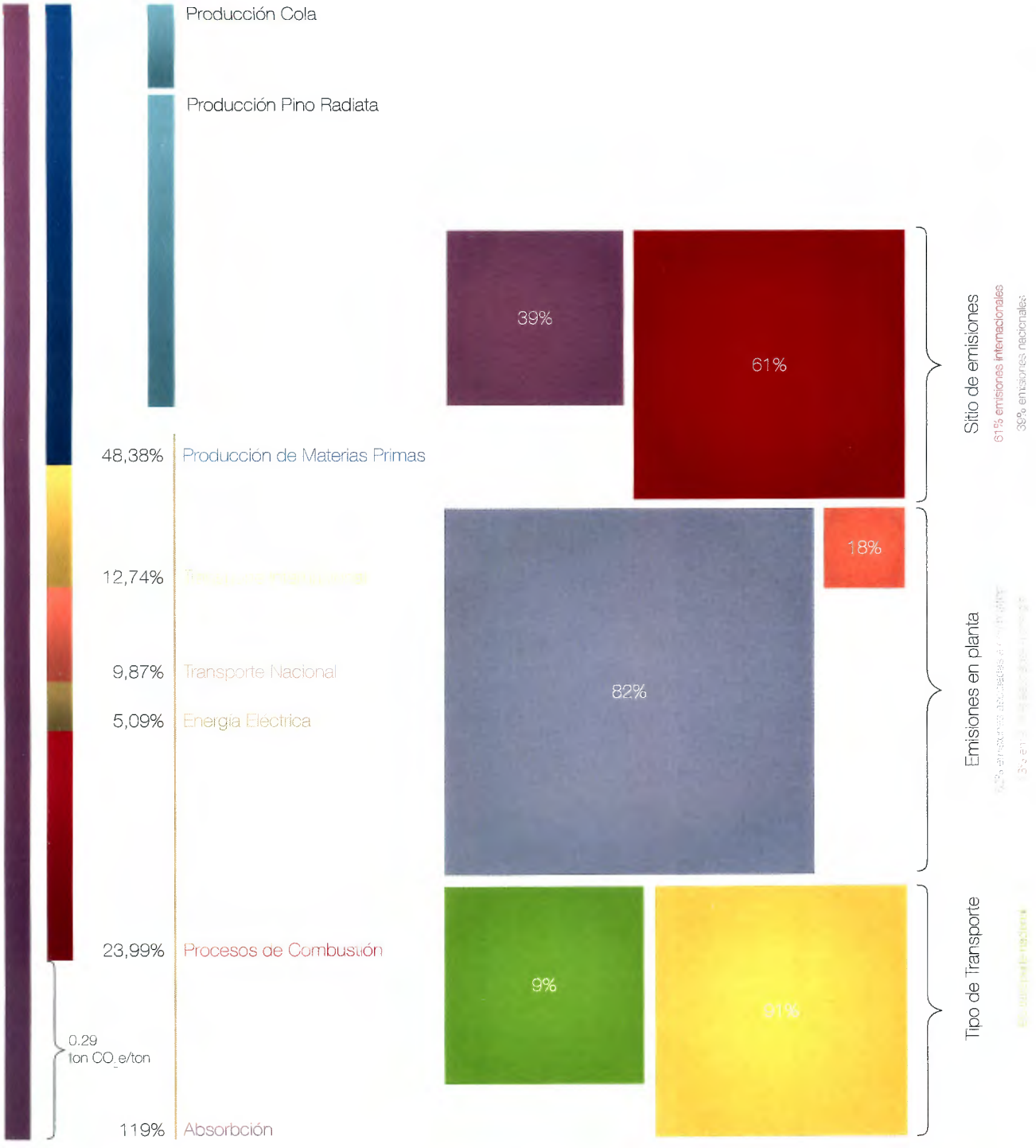
Tabla 90. Resultados de inventario / Fijación

Proceso Biológico	Factor de Emisión
Total	-1.84 ton CO_2e/ton

Tabla 91. Resultados de inventario / Resultado Final

Proceso Biológico	Factor de Emisión
Emisiones totales	1.55 ton CO_2e/ton
Absorciones totales	-1.84 ton CO_2e/ton
TOTAL	-0.29 ton CO_2e/ton

-0.29 ton CO2e/ton



Vidrio (6 mm de espesor)

Información general

Definición de unidad funcional

La empresa trabaja con ocho espesores diferentes en láminas de vidrio, de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 y 12 milímetros. Para la selección del tipo de vidrio que se va a analizar, se parte con la referencia de que el tipo de sistema de ventanería más vendido en el país, utiliza vidrios de 4, 5 o 6 mm. Luego se analiza el control de toneladas de vidrio que entran a la parte de producción, y se obtiene el dato de que el vidrio de 6 mm, con un 30% de las toneladas totales procesadas, es el que llega a tener mayor salida al mercado.

Los datos son estimados en toneladas de CO_2e por tonelada de vidrio de 6 mm producido; y todas las conversiones se encuentran especificadas en las tablas y memorias de cálculo

Fecha del inventario

El proceso de recolección de información con la empresa se desarrolló de Mayo a Diciembre del 2014. En este período se realizaron visitas a la planta para el estudio de los procedimientos, recolección de datos, mediciones de tiempo en sitio, consultas y entrevistas varias.

Mientras que la información provista por la empresa, a partir de sus registros, para el cálculo del inventario, abarca de Enero a Julio del 2014.

Delimitación del sistema

El presente inventario consiste un análisis de producto de la cuna a la puerta. Para facilitar la lectura de las fases que se incluyen en el análisis, se hace un trazado del ciclo de vida del vidrio (Ver gráfico 50).

Los procesos anteriores a la planta son realizados por terceros, y fuera del territorio nacional; por lo que la información recopilada consiste en datos secundarios y no se estudian dichos procesos a detalle.

Composición

El vidrio como producto final producido proviene de una materia prima única (lámina de vidrio flotado) y de una fuente única (México) entonces el desglose de composición es simplificado a:

- Materiales contenidos en el producto terminado: lámina de vidrio flotado.
- Materiales que forman parte del proceso pero no se encuentran embebidos en la unidad funcional: diesel y agua.

Proceso de Planta y cálculo asociado

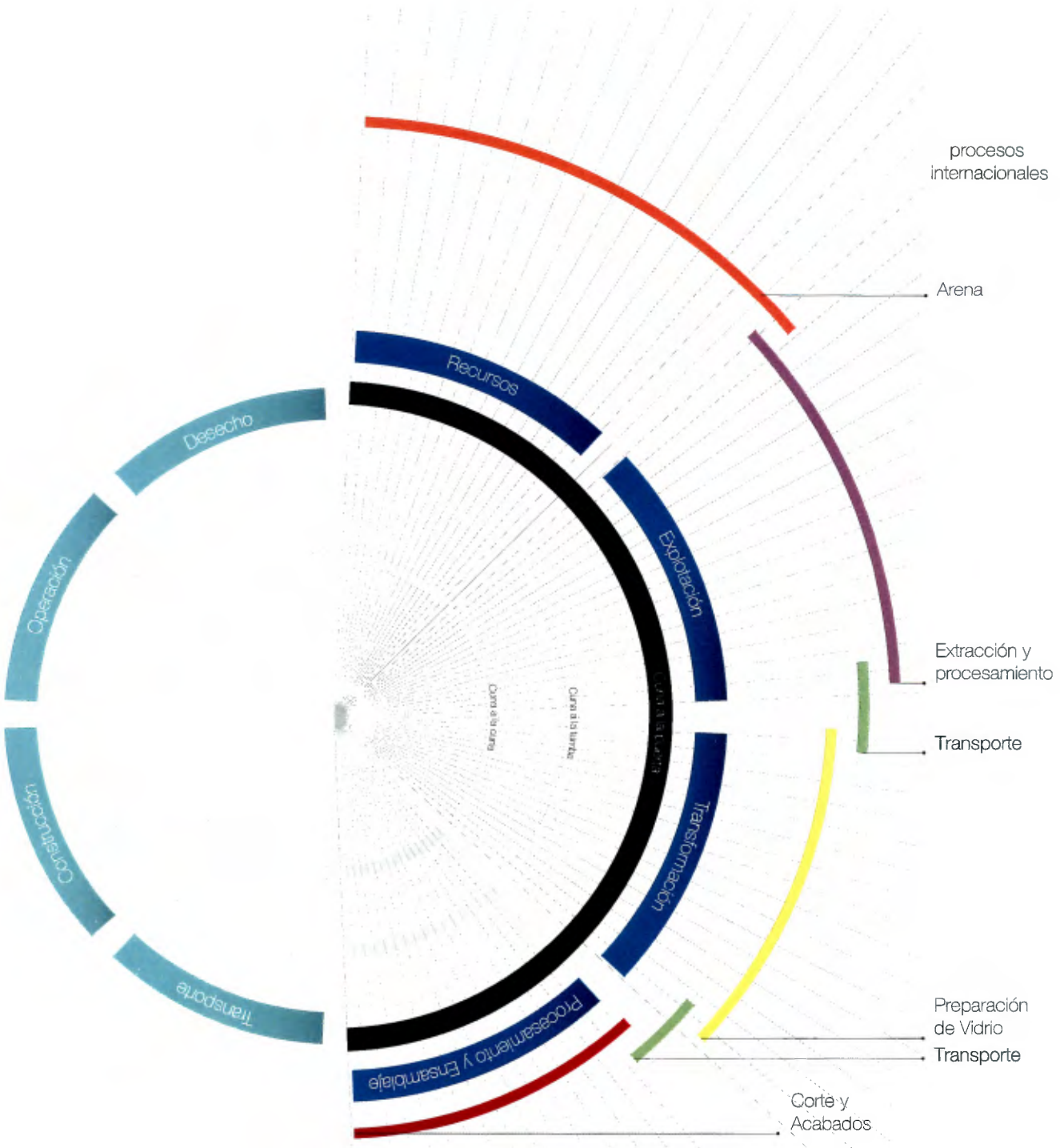
El proceso de producción del vidrio se divide varias etapas para facilitar el cálculo de las emisiones de CO_2e, en orden cronológico son:

- Extracción y producción de las materias primas
- Transporte internacional.
- Transporte dentro del territorio nacional.
- Procesos de línea de producción.

El diagrama de proceso (gráfico 51) presenta todas las entradas y salidas de material así como el tipo de energía utilizado en los diferentes procesos de transporte y formación; por lo que consiste en la base para las tablas de cálculo y el proceso involucrado se detalla a continuación.

Generalidades

-Las emisiones derivadas de los transportes terrestres se calculan por medio del rendimiento de combustible por kilómetro obtenido de la base de datos LIPASTO, y este se multiplica por el factor de emisión que brinda el IMN para el combustible específico. Este tipo de transporte implica considerar en el cálculo el viaje lleno y el viaje vacío, con sus respectivas variaciones en rendimiento.



procesos en planta

-El cálculo de las emisiones asociadas a la energía eléctrica se hace con el dato de los kilowatts hora asociados a una tonelada de producción (consumos y tiempos fueron provistos por la empresa durante medición en sitio) y se multiplican por el factor de emisión de consumo brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad. Todas las máquinas involucradas en el proceso funcionan con electricidad.

Producción y transporte de materias primas

- Láminas de vidrio flotado: son producidas por terceros fuera de suelo nacional, por lo que las emisiones asociadas a su proceso de producción, son calculadas por medio del factor de emisión vidrio primario obtenido de la base de datos del ICE de la universidad de BATH en el Reino Unido.

Se calcula el transporte marítimo asociado por medio del factor de tonelada por kilómetro y el transporte del puerto a la bodega mediante tráiler de capacidad aproximada a 25 toneladas.

- Diésel: se obtiene del punto de distribución más cercano, se calcula el transporte hasta la fábrica en un vehículo liviano con capacidad aproximada para 1,2 toneladas.

- Agua: Se obtiene directamente de la acometida de Acueductos y Alcantarillados. Sin embargo, la institución no brindó un dato respecto al procesamiento que realizan, por lo que se utilizó un factor de emisión internacional obtenido de la base de datos del ICE de la universidad de BATH en el Reino Unido.

Procesos de línea de producción.

- Almacenamiento: Las cajas de láminas de vidrio flotado son descargadas del tráiler por medio de un puente grúa. Se desarman las cajas manualmente, y los grupos de láminas son trasladados de nuevo en puente grúa a la bodega principal de vidrio.

- Línea de corte: Un puente grúa pequeño, transporta la lámina seleccionada para trabajar, desde la bodega hasta el sector de corte y la coloca en la mesa basculante. Esta se encarga de posicionar la lámina horizontalmente para que pase a la mesa de corte, donde se realizan los diferentes cortes con láser, de acuerdo a la configuración que establecen la computadora.

Desafilado de bordes: Luego de cortar el vidrio de acuerdo a las variadas dimensiones solicitadas por los clientes, las diferentes secciones se transportan manualmente hacia la canteadora. El agua que entra a esta máquina es necesaria para no rayar la lámina de vidrio, y se convierte en producto de desecho al final del proceso pues se mezcla con el polvo de vidrio resultante; por lo que pasan a una centrífuga, que los separa, y el agua es bombeada nuevamente a la canteadora.

Aparte de la lámina de vidrio terminada para ventanería, los desperdicios de material se convierten en las salidas. Los recortes de vidrio que quedan inutilizables después de pasar por la cortadora, primero son transportados manualmente en pequeñas piletas desde el lugar en que se generan hasta un depósito exterior, y luego en montacargas para cargar el camión que los lleva a la empresa que los utiliza como materia prima.

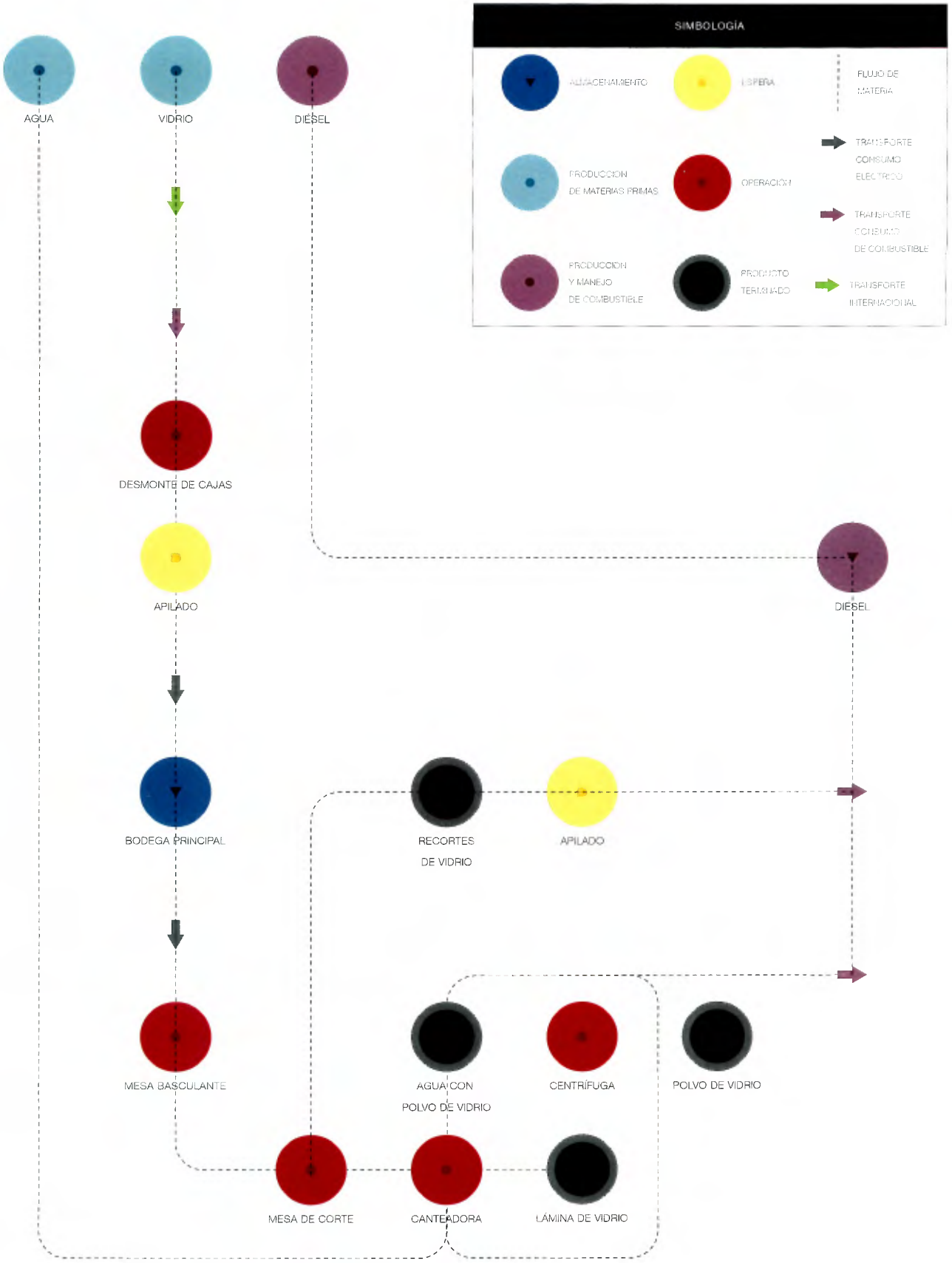
Y el polvo de vidrio producido al cantear los bordes de las láminas cortadas, es expulsado directamente de la centrífuga a unos sacos, que cuando se llenan; son transportados en montacargas para cargar el camión que los lleva a su lugar de desecho.

Adjudicación de emisiones

El proceso de producción del vidrio presenta adjudicación en dos momentos diferentes, por lo que las emisiones correspondientes quedan excluidas del cálculo final:

- Con el agua como entrada de materia para el correcto funcionamiento de la canteadora, pues el líquido es reutilizado después de pasar por una centrífuga, para separarla del polvo de vidrio que es producido como desecho por la misma canteadora.(Sólo se calcula el agua como entrada de materia prima para la centrífuga)

- Con el transporte externo de los recortes de vidrio


SIMBOLOGÍA
ALMACENAMIENTO
ESPERA
FLUJO DE MATERIA
PRODUCCION DE MATERIAS PRIMAS
OPERACION
TRANSPORTE CONSUMO ELECTRICO
TRANSPORTE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
PRODUCCION Y MANEJO DE COMBUSTIBLE
PRODUCTO TERMINADO
TRANSPORTE INTERNACIONAL
AGUA
VIDRIO
DIESEL
DESMONTE DE CAJAS
APILADO
DIESEL
BODEGA PRINCIPAL
RECORTES DE VIDRIO
APILADO
MESA BASCULANTE
AGUA CON POLVO DE VIDRIO
CENTRÍFUGA
POLVO DE VIDRIO
MESA DE CORTE
CANTEADORA
LÁMINA DE VIDRIO

que se desechan después de pasar por la cortadora; pues se convierte en transporte de materia prima para otra empresa en la producción de botellas de vidrio.

Recolección de datos

Los datos recolectados provienen de múltiples fuentes y requieren distintos procesamientos por lo que en esta sección se procede a enumerar la información obtenida, sus fuentes y los procesos realizados por los investigadores para obtener los datos requeridos.

Bases de datos de la empresa productora
Son obtenidas directamente de distintos departamentos. Por cada una de estas bases de datos, se puede obtener más de un dato pertinente a la investigación, y en algunos casos la información debe ser extrapolada de una fuente y utilizada en otro cálculo.

Tiempos de procesos en empresa productora de baldosa
Algunos casos específicos son dados por la empresa directamente; sin embargo, otros son obtenidos por mediciones realizadas en sitio, que son promediadas y posteriormente calculadas por tonelada de baldosa terminada.

Factores de emisión
Se utilizaron factores de emisión para obtener las emisiones asociadas a los productos intermediarios y materias primas que no son producidas en la planta.

Datos complementarios
Son aquellos necesarios para hacer otros cálculos, la mayoría de estos datos son obtenidos directamente del productor o proveedor.

Incertidumbre

A pesar de la rigurosidad metodológica con la que se ha realizado el inventario existen una serie de suposiciones consecuencia de información faltante en la empresa.

Además del posible margen de error que se puede derivar de los cálculos descritos en las tablas de la sección anterior, a continuación se presenta una lista de suposiciones, decisiones y extrapolaciones hechas en el proceso.

1. No se logró obtener el dato específico para el factor de emisión del agua correspondiente al procesamiento que realiza el A y A en Costa Rica, por lo que se utilizó un factor de emisión internacional obtenido de la base de datos del ICE de la universidad de BATH en el Reino Unido.

2. Para calcular cuántas toneladas del tipo de vidrio estudiado se necesitan por cada tonelada producida, se utiliza el factor de rendimiento general que tiene la planta de producción para todos los tipos de vidrio.

3. Las mediciones en sitio fueron realizadas con un cronómetro manual de centésimas de segundo; sin embargo las emisiones asociadas a dichos procesos representan un 0.10% de las emisiones totales.

4. Para hacer la asignación de los kilowatts hora por tonelada de vidrio en el funcionamiento de la maquinaria, se hizo la proporción a partir de la cantidad de vidrio procesado durante las mediciones en sitio.

5. Las distancias de transportes terrestres y marítimos se asumieron según las declaraciones de la empresa y las principales rutas de transporte según las fuentes consultadas, por lo que en caso de existir rutas alternas no se contemplaron en el inventario.

6. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes utilizados se procede a utilizar un estándar

Tabla 92. Recolección de datos / Bases de datos de empresa productora de vidrio

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Toneladas de vidrio que entran a producción por mes. Enero 2014-Julio 2014	Empresa productora de Vidrio	Primario	Asignación de porcentaje de salida a cada tipo de espesor.	Espesor de vidrio que más se procesa para la venta
Contenedores que ingresan a la fábrica por mes. Enero 2014-Julio 2014	Empresa productora de Vidrio	Primario	Relación con toneladas totales que ingresan por mes.	Promedio de toneladas transportadas por contenedor
Toneladas de polvo de vidrio por mes. Enero 2014-Julio 2014	Empresa productora de Vidrio	Primario	Relación con toneladas de vidrio producidas.	Toneladas de polvo de vidrio resultantes por tonelada de vidrio producido
Metros cúbicos de agua por medidor interno. Enero 2014-Julio 2014	Empresa productora de Vidrio	Primario	Relación con toneladas de vidrio producidas.	Metros cúbicos de agua consumidos por tonelada de vidrio producido

Tabla 93. Recolección de datos / Mediciones en sitio: empresa productora de vidrio

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Transportes internos (puente grúa)	Voltios/ Amperios/ Tiempo	Primarios	Multiplicación de datos	kWh por unidad transportada
Mesa basculante	Voltios/ Amperios/ Tiempo	Primarios	Multiplicación de datos	kWh por unidad transportada
Corte	Voltios/ Amperios/ Tiempo	Primarios	Multiplicación de datos	kWh por unidad transportada
	Metros lineales cortados	Primarios	Equivalencia en m^2 multiplicado por peso	Equivalencia en toneladas
Canteado (desafilar bordes)	Voltios/ Amperios/ Tiempo	Primarios	Multiplicación de datos	kWh por unidad transportada
	Metros lineales canteados	Primarios	Equivalencia en m^2 multiplicado por peso	Equivalencia en toneladas

Tabla 94. Recolección de datos / Factores de emisión

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Factor de emisión producción de vidrio	Base de Datos Universidad de Bath	Secundario	No aplica	Factor de emisión producción de vidrio
Factor de emisión diésel	Base de Datos Instituto Meteorológico Nacional	Secundario	No aplica	Factor de emisión diésel
Factor de emisión por consumo de energía eléctrica	Base de Datos Instituto Costarricense de Electricidad	Secundario	No aplica	Factor de emisión por consumo de energía eléctrica
Factor de emisión de buque para transporte marítimo	Base de datos LIPASTO	Secundario	No aplica	Factor de emisión de buque para transporte marítimo

Tabla 95. Recolección de datos / Datos complementarios

Dato	Fuente	Tipo	Calculo Posterior	Dato obtenido
Dimensiones de la lámina importada	Empresa productora de Vidrio	Primario	Multiplicación de ambos datos	Peso de lámina con el espesor a analizar
Peso del m^2 de lámina con el espesor a analizar	Empresa productora de Vidrio	Primario		
Factor de aprovechamiento de materia prima	Empresa productora de Vidrio	Primario	Relación de porcentajes	Toneladas de vidrio crudo necesarias por tonelada de vidrio procesado
Capacidad de caja de vidrio importada	Empresa productora de Vidrio	Primario	Multiplicación por peso de lámina unitaria	Peso de caja que contiene láminas con el espesor a analizar
Tiempo de trabajo del montacargas por proceso	Empresa productora de Vidrio	Primario	Multiplicación por factor de rendimiento de base de datos LIPASTO	Combustible consumido por proceso
Potencial eléctrico de centrífuga (voltios)	Empresa productora de Vidrio	Primario	Multiplicación de ambos datos	Potencia de centrífuga (watts)
Intensidad de corriente de centrífuga (amperios)	Empresa productora de Vidrio	Primario		
Tiempo de trabajo de la centrífuga	Empresa productora de Vidrio	Primario	Conversión a horas de la jornada laboral completa	Horas por tonelada de agua
Transportes terrestres	Factores de rendimiento (LIPASTO)	Secundario	Rendimiento de litros de diesel por kilómetro	Litros de diesel consumidos
Rendimiento de montacargas	Factores de rendimiento y potencia teórica(LIPASTO)	Secundario	Rendimiento de litros de diesel por tiempo de trabajo	Litros de diesel consumidos

internacional genérico según la capacidad especificada por los proveedores y la planta.

7. Al no existir un control sobre el tipo y año de los transportes marítimos utilizados, se procede a utilizar un estándar internacional genérico según la capacidad del puerto de Moín.

8. En varios casos de transporte, el volumen especificado por los proveedores no coincide con las opciones que da la base de datos para calcular el factor de rendimiento, por lo que se utiliza el valor más aproximado según el porcentaje utilizado de capacidad del camión.

Resultados de inventario

Este apartado presenta un resumen de los procesos de cálculo realizados para la cuantificación de las emisiones asociadas a la producción de vidrio de 6 mm de espesor, se enlistan los aportes de CO_2e en toneladas para cada operación por tonelada de producto terminado y los porcentajes asociados a dichas emisiones con respecto al total final.

- Producción de materias primas : Estos cálculos corresponden a la multiplicación de factores de emisión por la cantidad utilizada de cada materia prima. Todas las materias primas detalladas a continuación son producidas fuera de la fábrica.
- Transporte Internacional.
- Transporte Nacional.
- Procesos Individuales.
- Procesos Línea de Producción.
- Combustible y energía: El combustible diésel ha sido calculado a partir de datos contables de la empresa, los cuales se han asocian a la producción de toneladas de baldosa y posteriormente se multiplican los litros consumidos por el factor de emisión obtenido del Instituto Meteorológico Nacional.

Tabla 96. Resultados de inventario / Extracción y producción de materias primas

Extracción, producción de materias primas	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	1,10978	87,83%
Lámina de vidrio flotado	1,10976	87,83%
Agua	0,00002	0,00%

Tabla 97. Resultados de inventario / Transporte Internacional

Transporte Internacional	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,0879	6,96%
Lámina de vidrio flotado	0,0879	6,96%

Tabla 98. Resultados de inventario / Transporte Nacional

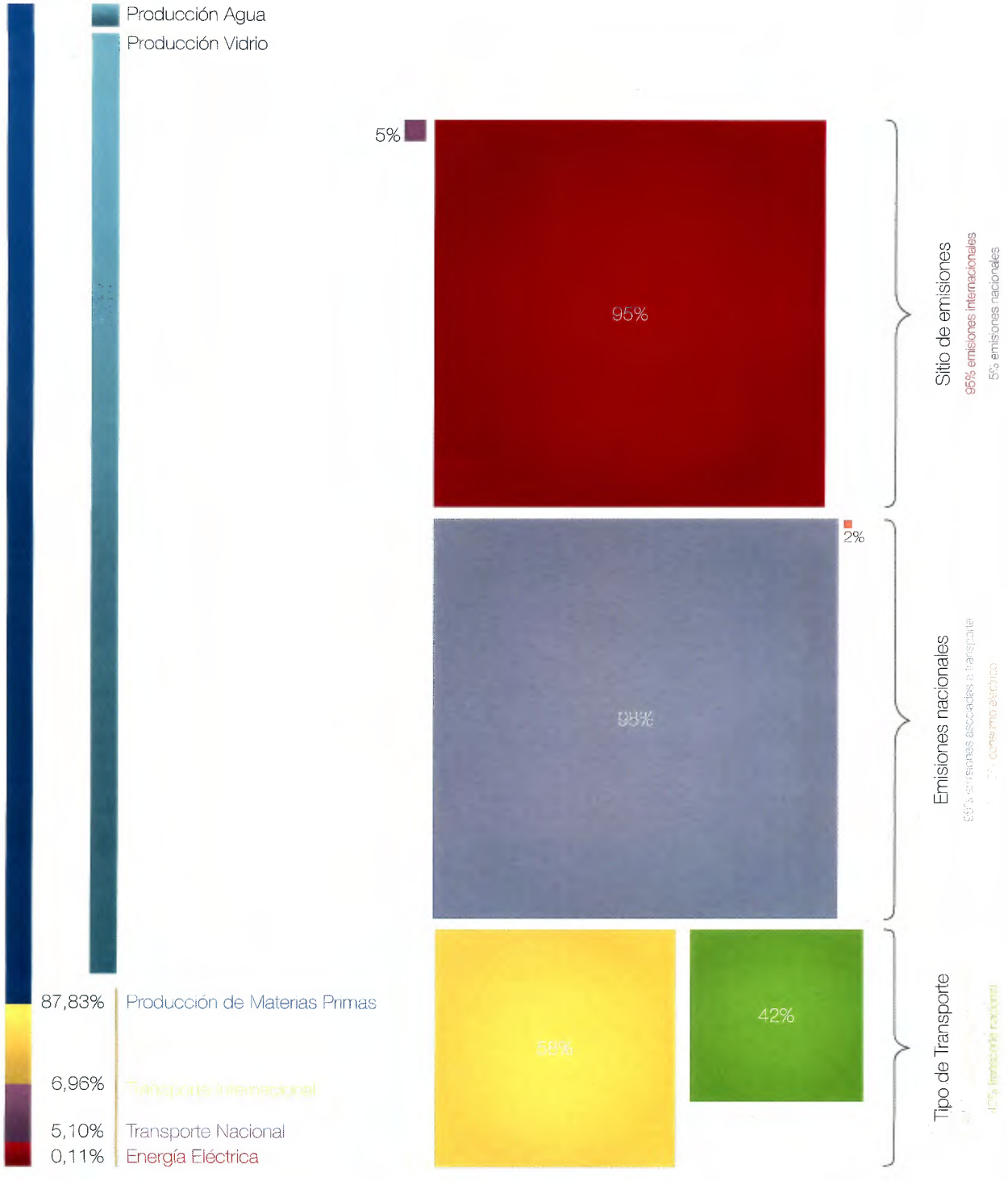
Transporte Nacional	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,06447	5,10%
Lámina de vidrio flotado	0,06445	5,10%
Diésel para montacargas	0,00001	0,00%
Polvo de vidrio	0,00001	0,00%

Tabla 99. Resultados de inventario / Procesos línea de producción

Procesos línea de producción	Factor de Emisión (ton CO_2e / ton de producto)	Porcentaje
Total	0,00134	0,11%
Descarga y bodegaje	0,00002	0,00%
Puente grúa 1	0,00001	0,00%
Puente grúa 2e	0,00001	0,00%
Corte	0,00004	0,00%
Puente grúa	0,00001	0,00%
Mesa basculante	0,00001	0,00%
Mesa de corte	0,00002	0,00%
Desafilado de bordes	0,00102	0,08%
Canteadora	0,00094	0,00%
Centrifuga	0,00008	0,07%
Transporte interno de desechos	0,00026	0,02%
Interno - recorte de vidrio	0,00025	0,02%
Interno – polvo de vidrio	0,00001	0,00%

factor de emisión
vidrio 6mm

1,263 ton CO2e/ton



Capítulo VI

- Análisis de resultados por peso
- Definición de unidades de mercado
- Herramienta de Visualización

Comparación de resultados

Con el objetivo de establecer parámetros acerca del posicionamiento de los resultados de los factores de emisión obtenidos en la presente investigación, se realizan una serie de comparaciones con resultados de emisiones expuestos en investigaciones desarrolladas en otros países alrededor del mundo; para lo cual se recopilaron y analizaron diferentes estudios destinados a la estimación de factores de emisión en materiales de la construcción.

Las investigaciones fueron seleccionadas luego de ser evaluadas con el fin de determinar la correspondencia en los criterios utilizados para hacer las diferentes estimaciones. Se buscó similitud en las fuentes metodológicas en las que se basaron, el establecimiento de la metodología como tal para la cuantificación de las emisiones y el alcance abarcado en los diferentes estudios.

A través del análisis del ciclo de vida de los diferentes materiales de construcción, es posible registrar y evaluar el impacto de los procesos productivos de una manera sistemática; ya que se mantiene un equilibrio de criterios en cuanto a los aspectos tomados en cuenta para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los procesos productivos.

Además, la unidad funcional representa la medida del sistema en análisis que permite la comparación de elementos equitativos, por lo que se buscó que las investigaciones brindaran los resultados en kilogramos de dióxido de carbono equivalente por kilogramo de producto fabricado. En caso de que no se presentaran basados en dicha equivalencia, se trasladaron a este lenguaje.

Si bien la comparación de cada material se realizó con distintas investigaciones, se genera una estructura general de análisis para facilitar la lectura de los hallazgos obtenidos. En el gráfico 53 se pueden observar las comparaciones directas de los nueve productos analizados, y posteriormente se detallan para cada uno de ellos los siguientes aspectos:

-Definición del estudio de comparación
-Descripción del producto
-Definición de alcances
-Conclusiones.

Columnas prefabricadas de concreto

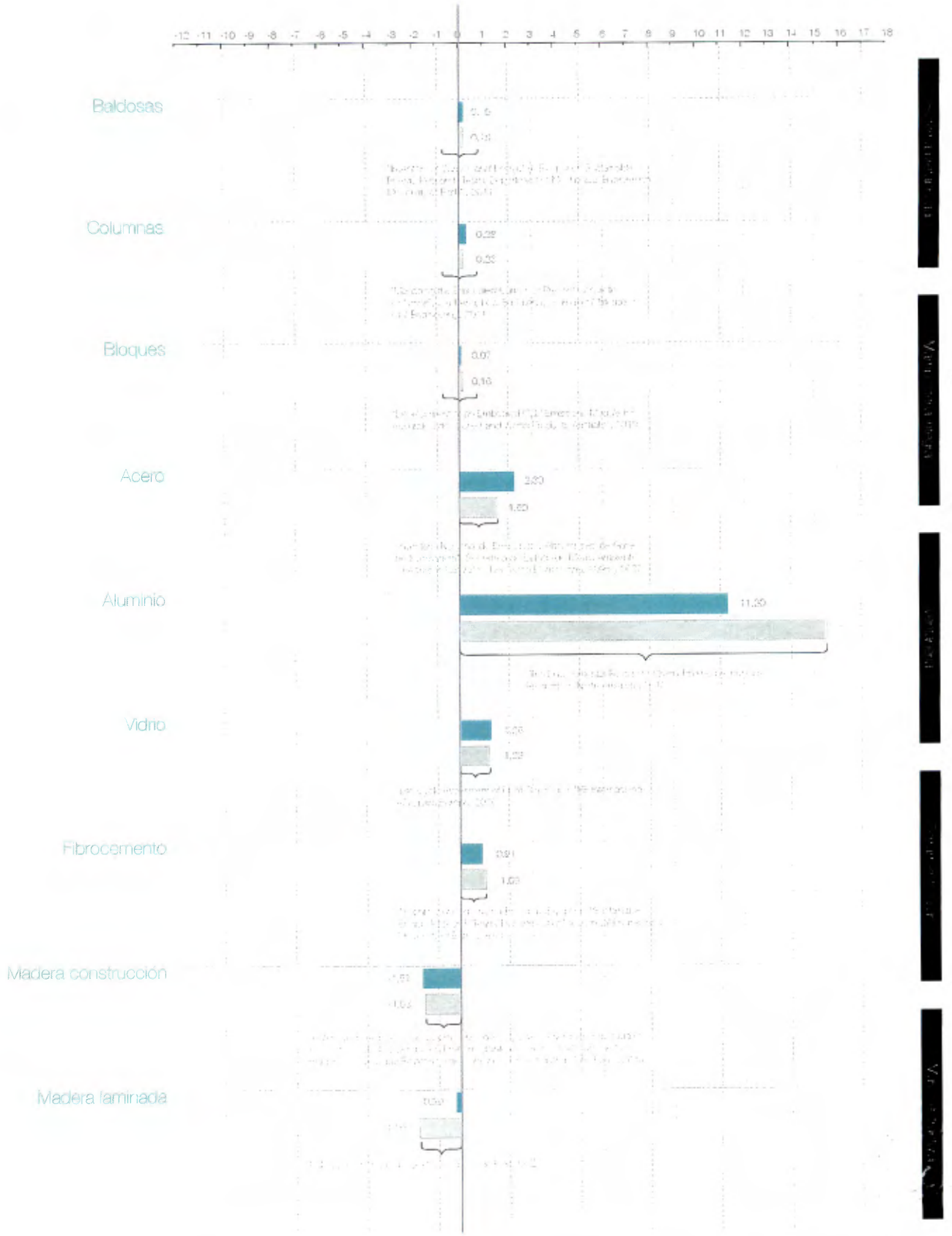
Investigación nacional: 0,28 $kgCO_2e/kg$ de producto
Investigación internacional: 0,33 $kgCO_2e/kg$ de producto

-Definición del estudio de comparación
El documento "Managing the Embodied Carbon of Precast Concrete Columns" publicado en la Revista de Materiales de Ingeniería Civil, por los profesores Wu Peng y Low Sui Pheng, en el año 2011; como aporte del Máster de Ingeniería Civil a la industria de la construcción en el país de Singapur.

-Descripción del producto
La unidad funcional que se analiza es una columna de concreto prefabricado, conocida como modelo 16HPC1 y que normalmente se utiliza en los proyectos de vivienda pública. Este tipo de columna de núcleo hueco pesa 1.864 toneladas, de las cuales 0.178 corresponden al refuerzo y 1.686 toneladas al concreto.

El refuerzo utilizado incluye dos barras en el núcleo de refuerzo con un diámetro de 25 mm y cuatro barras de esquina con un diámetro de 13 mm. Los enlaces de refuerzo se insertan a intervalos de 200 mm para evitar que la columna se pandee bajo carga.

-Definición de alcances
El análisis del ciclo de vida, tratando de cumplir con lo establecido con los ISO 14040/44, se realiza con un alcance de la cuna a la puerta, abarcando la fabricación de materias primas, que incluye el molde de acero, barras de refuerzo y los componentes de la



Factor de emisión de referencia principal

Factor de emisión obtenido

*Todos los datos están expresados en t g de CO_2e.

mezcla de concreto; el transporte internacional de estas materias primas a los comerciantes locales, considerando la vía marítima y la terrestre; la producción de concreto en una planta local, transporte local y el proceso de los productos prefabricados en planta.

A pesar de que trataron de darle prevalencia a las fuentes de información provenientes del propio Singapur, tuvieron que recurrir a bases de datos europeas para consultar sobre las emisiones correspondientes al cemento, los agregados y el acero, y al transporte de los mismos. Por ejemplo se utilizó la referencia DEFRA 2005, para obtener los factores de emisión de las embarcaciones; promediando entre el valor mayor y el valor menor, por desconocer el tipo específico de embarcación que se emplea.

El factor de la electricidad si se obtuvo de una investigación propia del país, para calcular los consumos de las operaciones que sucedían en la fábrica; aunque los rendimientos de maquinaria los obtuvieron de estimados de plantas canadienses.

-Conclusiones

Los autores no establecen el factor de emisión como un resultado en sí, pero se puede hacer la relación entre el total de emisiones y el peso de la unidad funcional, para obtener proporción de kilogramos de CO2e por kilogramo de producto

Al analizar la proveniencia de las emisiones, se encuentran semejanzas con el factor nacional, entre ellas que las emisiones correspondientes al procesamiento y extracción de materias primas corresponde a más del 75%, y dentro de ese porcentaje el cemento utilizado para la mezcla, también se aproxima a un 70% de las emisiones.

Sin embargo, una diferencia significativa es lo referente al transporte internacional, ya que Singapur debe importar la mayoría de las materias primas, entonces representa un 17,30% de las emisiones contra menos de un 1% del producto costarricense.

Bloques de concreto

Investigación Nacional: 0.07 $kgCO_2e/kg$ de producto
Investigación Internacional: 0.16 $kgCO_2e/kg$ de producto

Definición del estudio de comparación

El estudio de origen australiano denominado "Development of an emboided CO_2 Emissions Module for AccuRate", se genera con el fin de establecer una base de datos para estimar las emisiones de dióxido de carbono equivalente asociadas a la fabricación de materiales de construcción en este país. La investigación publicada en el 2010, fue desarrollada en conjunto por "Forest and Wood Products Australia Ltd" y "National Climate Adaptation Flagship".

No expone en forma explícita las metodologías utilizadas como guía para determinar las etapas necesarias en la obtención del factor de emisión. Sin embargo, tras hacer la revisión general respectiva, se determinaron semejanzas considerables en cuanto a la delimitación del sistema y a las consideraciones hechas para dar lugar a los resultados finales, situación que permitió establecer la comparación.

Descripción del producto

El estudio presenta las diversas posibilidades de aplicación del bloque de concreto que incluyen presentaciones de bloques de diferentes dimensiones, hasta inclusive consideraciones tales como contabilizar el bloque con una o dos de sus celdas rellenas. Por motivos de equivalencia respecto al producto que se está evaluando en la investigación costarricense, se utilizó el bloque de concreto con las celdas sin relleno.

La investigación australiana muestra sus resultados en kilogramos de dióxido de carbono equivalente por metro cúbico de producto, utilizando una densidad de 550 kg/m^3; por lo que se hace la conversión del dato a la unidad de peso, en este caso kilogramos de producto fabricado.

Definición de alcances

La delimitación coincide con los alcances de la cuna a la puerta,

pues define las emisiones embebidas como el total de emisiones GEI causadas por los procesos de extracción, transporte, manufactura y fabricación del producto o sistema.

Los autores de la investigación australiana mencionan que en los casos en que la información no estuvo disponible o los procesos que no se habían cuantificado en territorio australiano, también adoptan factores de emisión por defecto para algunas etapas de los procesos. Utilizaron bases de datos europeas como Ecoinvent, ETH, entre otras; aclarando la similitud que se encontró al evaluar los procesos productivos en países europeos.

No obstante, no se hace la especificación de cuales materiales y cuales procesos fueron asociados a una base de datos. Y también realizan suposiciones muy generalizadas, como por ejemplo, para la etapa de transporte de materias primas hasta la planta de fabricación, asumen 100 km de distancia recorrida sin una medición más específica.

Conclusiones

Se evidencian similitudes en la aplicación de los procesos de obtención de la información requerida al usar datos de bases internacionales ante la ausencia de fuentes dentro del mismo país para evaluar los procesos.

Aunque la investigación estudiada hace la especificación de cual base de datos europea toma como referencia, y determina semejanzas en los procesos de uno y otro país que reducen el margen de incertidumbre; estos supuestos pueden llevar a alejarse de la estricta realidad de los procesos de producción dados en el propio país de la investigación.

Situación que posiblemente se ve reflejada en la diferencia entre los resultados finales. Ya que en la investigación nacional, como se evalúan procesos que tienen lugar en su totalidad a lo interno del país, se tiene mayor control sobre la extracción y transporte de materias primas; lo que genera una rigurosidad mayor en cuanto a los resultados obtenidos y se obtiene un factor de emisión más bajo.

Varilla de acero

Investigación Nacional: 2.3 $kgCO_2e/kg$ de producto fabricado
Investigación Internacional: 1.60 kg CO_2e/kg de producto fabricado

Definición del estudio de comparación

Corresponde al Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero realizado en República Dominicana por la secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el cual fue publicado en el año 2006. Surge en el marco del proyecto "Cambio Climático" dirigido a apoyar la preparación de la Segunda Comunicación Nacional del país caribeño a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Descripción del producto

Se especifica la evaluación sobre los procesos productivos de varillas de refuerzo que es uno de los productos de mayor producción en el sector acero de dicho país. En este caso se presenta el factor de emisión en toneladas de dióxido de carbono equivalente por tonelada de producto terminado.

Contabilizaron los diferentes gases de efecto invernadero de manera individual, tomando en cuenta dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre; por lo que cada uno de los resultados debió ser trasladado a su potencial de calentamiento global en dióxido de carbono equivalente.

Definición de alcances

El estudio se basa en la normativa ISO 14040, ISO 14064 y el GHG Protocol para determinar un análisis del ciclo de vida delimitado de la cuna a la puerta, que incluye las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, el transporte previo a la producción y las actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado.

El diagnóstico inicial a las operaciones del área productiva de varilla de acero, permitió identificar las fuentes generadoras de emisiones de gases de efecto invernadero, clasificando sus

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

actividades de acuerdo a los alcances señalados por el IPCC. En lo que se refiere propiamente a los procesos en planta, se consideraron emisiones de hornos, equipo estático, transportes internos, consumos eléctricos y emisiones asociadas a desechos sólidos y líquidos. Estos datos se obtuvieron a partir de información mensual generada por el consumo de las distintas actividades.

Conclusiones

Como pudo observarse en el apartado del proceso de cálculo para este material, la producción de acero como materia prima de la varilla, representa el mayor porcentaje de las emisiones del producto final; procesos que a su vez se dan fuera del territorio nacional.

Esta situación, al conllevar la utilización de un factor de emisión internacional por defecto, asume los valores de una base de datos, sin que necesaria y estrictamente se apeguen a la realidad del producto importado a territorio costarricense. El hecho de tener claridad apenas sobre un 4% de las emisiones que generan los procesos productivos aumenta el margen de incertidumbre en las estimaciones realizadas.

Si bien la extracción de acero no es posible en suelo nacional por razones de disposición de este mineral, sí es recomendable adoptar medidas de control sobre su importación en términos de emisiones contaminantes durante sus procesos de extracción; pues es a este aspecto que puede obedecer la diferencia entre los resultados.

Perfil de aluminio

Investigación nacional: 11,20 kgCO_2e/kg de producto
Investigación internacional: 15,50 kgCO_2e/kg de producto

Definición del estudio de comparación

La publicación titulada "The Environmental Footprint of Semi-Finished Aluminum Products in North America" fue elaborada como un reporte de análisis del ciclo de vida por parte de "The Aluminium Association", y publicada en diciembre del 2013. Y con la referencia a Norteamérica abarca Estados Unidos, Canadá y México.

Descripción del producto

Los productos analizados son productos de aluminio semi-elaborados genéricos; específicamente incluye extruido, laminado plano y los fundidos en molde. Y los analiza desde sus dos opciones de obtención: de extracción primaria o con procesos de reciclaje para lograr una tonelada de producto.

La función de los productos es la de servir como componentes individuales, piezas, unidades o productos integrados que se utilizarán para el transporte, la edificación y construcción, embalaje, bienes de consumo duraderos, eléctrica, o para otros fines. Pero se aclara que no incluye procesos adicionales fabricación en cuanto a ensamblaje o montaje.

Definición de alcances

Aunque la publicación se realizó en el 2013, el período de recolección de datos fue designado en el 2010, para la obtención de los datos primarios sobre las actividades operativas de las empresas participantes. La información adicional necesaria se consiguió desde la base de datos de sistema de software 6.0 GaBi.

Se hace la salvedad que un pequeño grupo de instalaciones donde se realizan procesos de semi-fabricación reportó datos operativos correspondientes a 2008, 2009 o 2011; pero que esta desviación del año de referencia no supone cambios radicales en el uso de tecnología, por lo que no altera los resultados.

Los aspectos incluídos en la investigación fueron la extracción de materias primas, las entradas de extracción, procesamiento y entrega de la energía y el combustible, la extracción y procesamiento de las materias auxiliares (productos químicos, disolventes, lubricantes, envases, etc.), el transporte de materiales y productos crudos y procesados, la producción del metal y su procesamiento en productos semi-acabados (productos intermedios y salidas de subproductos), el tratamiento superficial y acabado del producto (por ejemplo, anodizado, recubrimiento, etc.), liberaciones ambientales como aire, agua

y libera de residuos sólidos, el mecanismo de tratamiento de residuos (si es tratado o no, reciclado, vertederos, etc.) y por último, la calefacción e iluminación de instalaciones de fabricación.

Conclusiones
Una de las observaciones más importantes en el caso del aluminio, y lo que genera la diferencia tan significativa, es que la investigación internacional separa la obtención del lingote como tal proceso de extrusión posterior.

Entonces el estudio norteamericano tiene para aluminio de extracción primaria un factor de emisión de 8,937 ton de CO_2e/ ton de aluminio y para la extrusión 6,57 ton CO_2e/ton de aluminio.

Aunque el factor de emisión para aluminio reciclado es muchísimo menor (1,23 ton CO_2e/ton de aluminio), no se consideró; debido a que para la investigación nacional el dato que se extrajo de la base de datos buscaba abarcar los procesos de la minería de bauxita, el refinado de alúmina, la electrólisis (incluida la producción de ánodos y fundición) y la fundición de lingote primario.

Como no o hay ninguna diferencia funcional entre aluminio primario y reciclado para la obtención de productos semi-fabricados o finales, se vuelve primordial ahondar más en las especificaciones del proveedor de la materia prima que entra a suelo nacional, el lingote de acero. Si bien la empresa analizada no pudo proporcionar este dato en su momento, vendría a reducir notablemente el resultado final, de darse el caso que utilicen acero reciclado.

Lámina de vidrio

Investigación nacional: 1,26 kgCO_2e/kg de producto
Investigación internacional: 1,23 kgCO_2e/kg de producto

Definición del estudio de comparación
La publicación de referencia se titula "Life Cycle Assessment of Float Glass" y corresponde a un estudio realizado por "PE Internacional AG" a solicitud de la empresa "Glass of Europe" (GfE). Fue puesto en marcha en el contexto de un estudio para el desarrollo de una Declaración Ambiental de Producto (EPD) para ventanas, y fue publicado en el 2010.

Descripción del producto
Se analiza la producción de vidrio flotado utilizado como parte de una ventana, con un resultado expresado en kilogramos de vidrio flotado como producto final. El informe explícitamente excluye el resto de los componentes del sistema de ventanería, refiriéndose al marco; y también procesamientos posteriores como recubrimientos al vidrio, quedan excluidos de la revisión

Definición de alcances
La empresa que provee el servicio de hacer el análisis y evaluación del Ciclo de Vida, hace la aclaración de que aunque siguieron los lineamientos básicos para este tipo de estudios, no contemplaron con total rigurosidad las normativas ISO por tratarse más que todo de un interés privado.

Por esto, los datos primarios de flujos de materia y energía en su alcance de puerta a puerta fueron proporcionados por la empresa estudiada a partir de un promedio regional de producción anual en todo el sector europeo de la tecnología de flotación para el año 2005; que comprendía 25 sitios, representando 3 empresas, así como un aproximado de 50% del volumen del mercado europeo.

Y los valores correspondientes de cuna a la puerta los calculó la empresa asesora a partir de la utilización del software GaBi 4 (2006).

El estudio no contabilizó el impacto del transporte de materiales a los sitios, justificando que los resultados aportaban por debajo de un 1% al ser trabajados a partir de supuesto;, que no reflejaban en detalle los modos de transporte utilizados y las distancias para cada una de las instalaciones incluidas en el promedio.

Conclusiones
Esta comparación en especial, presenta un escenario bastante

curioso; pues aunque los resultados finales son parecidos, los procesos de cálculo presentan varias diferencias significativas.
En primer lugar en la investigación nacional, el transporte implica casi un 7% de las emisiones finales, debido al hecho de que debe considerarse el proceso de la importación como tal, mientras que en la referencia internacional se elimina del estudio por no ser significativo.

Lo cual tiene relación directa con el hecho de que en suelo europeo el 57% de las emisiones obedece a procesos en el sitio de producción, al tratarse de la conformación de las láminas a partir de los minerales como materias primas iniciales, lo que conlleva consumos de combustibles para el funcionamiento de los hornos respectivos.

En contraposición al 0,11% de emisiones que genera la fábrica nacional, al modificar un producto que entra bastante avanzado y sólo necesita acabos realizados a partir de maquinaria que opera con electricidad.

Fibrocemento

Investigación nacional: 0,91 $kgCO_2e/kg$ de producto
Investigación internacional: 1,09 $kgCO_2e/kg$ de producto

Definición del estudio de comparación
La base de datos publicada por la Universidad de Bath en su versión 2011, se eligió como fuente de comparación debido a la consistencia y al cumplimiento con otras metodologías y estándares internacionales que la misma maneja.

Considera las determinaciones de la Asociación Británica del Cemento y para para el establecimiento del factor de emisión de los paneles de fibrocemento se cita el "Institut Bauen and Umwelt-German Institute of Construction and Environment" a través de la declaración ambiental acorde con la ISO 14025 de los paneles de fachada y de suelo de "Textura / Natura" y " Eterplan".

Descripción del producto
Esta referencia trabaja con productos con densidades de 1650 a 1800 kg por m^3, y que presentan las siguientes especificaciones de acabados: "Textura" es acabado granular y apariencia en diferentes colores, "Natura" es un acabado liso y apariencia en diferentes colores y "Eterplan" es un acabado liso y sin cubrimiento. Esta última se tomará como referencia principal debido a su similitud con la lámina trabajada en la investigación nacional.

Definición de alcances
Al darle preferencia a los datos que respetan las exigencias de las metodologías internacionales, en un caso ideal, con las determinaciones de la ISO 14040/44, se establece una delimitación del ciclo de vida de la cuna a la puerta.

La información proviene de forma prioritaria a partir de fuentes modernas pertenecientes a las islas británicas. En caso de que no existan fuentes apropiadas, se utilizan estándares europeos o de otros países. Igualmente, se prefirieron fuentes del Reino Unido para mantener uniformidad en la información, debido a las diferencias nacionales en cuanto a mezclas de combustibles y generación de electricidad.

Se incluyen todas las materias que aportaran más de un 1% de la masa total del producto final: cemento Portland (84%), tipo de roca volcánica denominada "trass" (9%), celulosa (3%),fibras de polietileno (2%) y fibras de alcohol polivinilo (2%). Para los distintos cubrimientos se utilizan otra serie de ingredientes como acrilatos, ceras y persevantes.

Las fuentes de extracción y producción de dichas materias primas provienen de depósitos locales con una distancia promedio de 20 km de estos sitios a la fábrica.

Entre los procesos considerados se incluyen: extracción, producción, transporte y empacado de materias primas. Los datos no tienen más de 5 años y fueron tomados a partir de muestras dentro de la fábrica. El proceso de fabricación comienza con la hidratación y la mezcla de las materias primas, la formación, el corte y la reintegración de los desperdicios. Al final de estos procesos, las láminas son sometidas a presión y secadas a la intemperie. Se utiliza el factor de emisión asociado

a la producción de energía eléctrica alemana.

Conclusiones

Para un producto similar sin acabados, se interpreta que la diferencia en los resultados proviene de la cantidad de cemento utilizada en las mezclas, ya que el factor asociado a este producto es sumamente alto; en contraposición con las proporciones de agregados gruesos y fibras utilizadas, que a pesar de los desperdicios mencionados, generalmente conllevan factores de emisión de menor impacto.

Además, debido a que se observa un proceso más eficiente y menos complejo, asociado a fuentes de energía completamente renovables, la diferencia también se resume a un menor aporte por parte de los consumos de electricidad en planta.

Las etapas de transporte aportaron un total de 25,86 kg CO_2e dentro de la investigación de referencia, comparado con solamente 4 kg CO_2e obtenidos en el caso de estudio nacional, en lo que influye la cercanía en términos de distancias para la obtención de las materias primas.

Madera sólida para construcción

Investigación nacional:-1.57 kgCO_2e/kg de producto
Investigación internacional:-1.53 kgCO_2e/kg de producto

Definición del estudio de comparación

La investigación publicada en el 2014 por la Universidad Politécnica de Cataluña en España y la Universidad de Sao Paulo en Brasil se denomina "Potencial de Reducción de las emisiones de CO_2 y de la Energía Incorporada en la Construcción de Viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de madera". Se estructura en seis capítulos, siendo el quinto de ellos, en el que se enfoca la presente revisión, denominado "Evaluación de las emisiones de CO_2 y energía incorporada de los productos de madera para la construcción".

En este capítulo se evalúan los procesos de obtención de madera sólida para construcción de diferentes empresas productoras brasileñas. Es importante aclarar que la evaluación fue realizada para cada uno de los procesos de cada empresa en las etapas de producción, y en el apartado de conclusiones del mismo capítulo se hace una estimación de la media de los resultados; que corresponde al dato que se muestra como referencia comparativa.

Descripción del producto

Si bien se presenta en el estudio una variada gama de productos que las empresas brasileñas producen, será la madera aserrada cepillada la que interesa para establecer una comparación equitativa.

Y el sistema de producción de más interés es el de plantado, ya que se refiere al procesamiento de especies no nativas incluida el pino, provenientes de forestas plantadas, consideradas monocultivo, destinadas a fines específicos y localizadas cerca de los principales mercados de consumo brasileños.

Definición de alcances

A partir de la normativa internacional ISO 14000, el límite del sistema que se va a comparar engloba las siguientes actividades: producción de semillas (preparación del suelo para la siembra, plantación, mantenimiento y cuidado de la plantación hasta la edad de corte, apertura de vías de acceso y patios de almacenamiento en la plantación), extracción (corte del árbol, arrastre dentro de la plantación y carga del vehículo que transportará el tronco hasta la unidad de procesamiento), transporte1 (desde la plantación hasta la unidad de procesamiento), procesamiento 1 (carga y descarga de los vehículos, almacenamiento, transportes internos de materia prima y productos y procesamiento de la madera), transporte 2 (entre unidades de procesamiento) y procesamiento 2 (carga y descarga de los vehículos, almacenamiento, transportes internos de materia prima y productos y procesamiento de madera).

Una vez definidas estas etapas se consideran las siguientes entradas al sistema:

Los insumos analizados fueron la madera bruta (tronco) utilizada como única materia prima, no se estimaron los consumos de otros materiales de conservación o acabado como pinturas,

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

barnices o preservantes; la electricidad, los combustibles fósiles, licor negro y la biomasa para combustión consumidos directa y exclusivamente en las actividades productivas del sistema analizado.

En cuanto a las densidades para la madera utilizada, se consideró esta seca al 12% a partir de datos del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables.

Para los consumos de combustibles y energía eléctrica utilizaron mayoritariamente factores de conversión con índices brasileños y, en caso de no obtener estos del mismo país, se utilizaron factores internacionales.

En cuanto a las salidas se consideró la quema directa de los combustibles y se contabilizaron solamente los residuos de madera producidos en las diversas fases de producción, para los que se calcularon las emisiones de CO_2 según la cantidad de carbono en la materia seca (0.49tC)

Las consideraciones tomadas en cuenta por el estudio para los procesos de absorción y liberación de CO_2e de los productos estimados fueron que las emisiones provenientes de la quema o degradación de la madera se consideran nulas para las plantadas, no se ha considerado el carbono bajo tierra y las emisiones producto de la quema de residuos de madera se calcularon según el contenido de carbono incorporado.

Conclusiones
Como se puede observar los factores de emisión obtenidos del estudio de proceso nacional son similares a los datos obtenidos de la operaciones llevadas a cabo en suelo brasileño; al ser un producto con una línea de producción relativamente sencilla, los márgenes para que existan variaciones disminuyen. Sin embargo se debe tener en cuenta variables a partir de la matriz energética y de diferencias respecto a las diferentes tecnologías utilizadas.

La mínima diferencia puede obedecer a la etapa intermedia de producción que contabiliza un proceso de transporte adicional en el estudio internacional.

El resultado de ambos estudios es negativo ya que en ambas investigaciones se consideran los procesos de absorción de dióxido de carbono durante la etapa de desarrollo de los árboles. Al considerarse la absorción, los porcentajes más elevados de emisiones se atribuyen entonces a la quema de combustibles, situación que se presenta de manera similar en ambas investigaciones.

Madera laminada

Investigación Nacional: -0.29 kgCO_2e/kg de producto
Investigación Internacional:-1.79 kg CO_2e/kg de producto

Definición del estudio de comparación
El estudio comparativo se realiza en contraposición con la publicación de la Sociedad Española de Ciencias Forestales denominado "La huella de carbono de productos de madera: herramienta de competitividad para la industria" realizado con motivo del sexto congreso forestal español en el año 2013.

Dicho documento tiene como finalidad presentar una metodología de estimación de la huella de carbono en productos de madera y su potencial como herramienta clave para el posicionamiento de dichos productos en el mercado.
La recopilación de la información se dio por un período no mayor de un año delimitando el área de estudio a empresas del territorio español.

Descripción del producto
Por la naturaleza tan variable de los productos que se pueden obtener con este material, se establece el producto como el metro cúbico de madera laminada encolada.

Definición de alcances
La metodología establecida para el desarrollo del estudio tomado como marco referencial, establece el análisis del ciclo de vida del producto delimitando este mismo a un alcance de la cuna a la puerta, en el que se incluyen todas las actividades desde la extracción de los materiales hasta la salida del producto de la fábrica.

Se basa en una serie de estándares reconocidos internacionalmente para el cálculo de huella de carbono en productos y que coinciden fielmente con las metodologías adoptadas por el equipo investigador para el estudio realizado a nivel costarricense: ISO 14000, PAS 2050 2011 y GHG PROTOCOL.

Los datos referentes a entradas y salidas son unidades exactas estudiadas y calculadas en las fábricas. Los detalles fueron captados por observación directa de los informes, registros y entrevistas con el personal pertinente de diversas etapas del proyecto.

Se utilizaron factores de emisión por defecto para obtener las emisiones derivadas del consumo de energía, combustibles y otros productos auxiliares; la fuente fue el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2009).

Dentro de los supuestos tomados por este estudio hay dos que son de particular interés a la hora de hacer una comparación con la presente investigación. El primero es el contenido almacenado de CO_2 que se está considerando de 1,83 kilogramos de CO_2 por kilogramo de madera, que refleja la capacidad de la madera, en este caso del pino, de secuestrar CO durante los procesos de fotosíntesis; en este caso se presenta el porcentaje de dióxido de carbono almacenado por cada una de las partes del árbol. Y por otro lado se está tomando el supuesto de utilizar el mismo tipo de camión para el transporte.

Conclusiones

Si bien el resultado obtenido en la presente investigación es negativo, situación que representa que las emisiones son menores a la capacidad de absorción de la especie de la que se obtiene el producto; llama la atención la amplia diferencia entres los resultados. Aun más, el hecho de que el factor de emisión de madera laminada de la investigación internacional también sea menor que el obtenido para madera de construcción tanto en el estudio nacional como en la referencia brasileña.

Esto se explica con diferentes razones, siendo la más notable las emisiones producto del manejo forestal asociado en este caso a la especie pino radiata. Esta materia prima producida fuera de territorio costarricense, representa un porcentaje elevado de incertidumbre respecto a los procesos que se dan fuera del territorio nacional, ya que la empresa productora participante del presente estudio no maneja información de los procesos de obtención y producción de la madera que ingresa al país.

El desconocimiento que se tenía de estos procesos y ante la falta de información, se utilizó un valor por defecto de la base de datos I.C.E. de la Universidad de BATH, para las emisiones asociadas a la plantación, mantenimiento y extracción de la madera, así como los procesos llevados a cabo hasta obtener el producto tal cual ingresa al país.

Aunque no se presenta en el estudio el desglose específico de los consumos asociados a cada etapa, los diagramas de flujo descritos se asemejan a los procesos evidenciados en suelo costarricense. Pero también se observan variaciones en torno a la matriz energética de uno y otro país o por la aplicación de diferentes tecnologías para realizar las diferentes etapas.

Introducción de estimación y visualización de resultados

En un proyecto arquitectónico, la selección de materiales va ligado al hecho de que estos no se utilizan de manera asilada, forman parte de un conjunto, porque vienen a cumplir funciones específicas dentro de sistemas constructivos; cada uno posee propiedades distintas que repercuten en la forma en la que se aplican para el cumplimiento de una función o necesidad, en búsqueda de la satisfacción de los requerimientos del sitio y el usuario.

La escogencia depende de un sin número de variables que van desde propiedades técnicas, sean estas físicas mecánica o químicas; requisitos económicos, ecológicos, adecuación al uso como por ejemplo la durabilidad, confort y mantenimiento; o bien las propiedades perceptivas que generen.

La obtención del factor de emisión, se convierte en una nueva entrada de información a considerar dentro de ese análisis previo. Se presenta como un mediador, el cual puede desempeñarse como una base comparativa, traduciendo procesos dispares y no siempre proporcionado hacia el lenguaje común del CO_2e. Sin embargo, el manejo de los resultados en unidades de masa (kilogramos de CO_2e por kilogramo de producto o su correspondencia en toneladas), a pesar de que se ajusta a los estándares internacionales, presenta la dificultad de ser una equivalencia abstracta en el quehacer de la construcción.

Como esta investigación es de índole arquitectónica, se busca utilizar un lenguaje reconocible y aplicable en el proceso de diseño; y también que en general los resultados puedan ser manejados de manera más tangible y accesible a lo largo del proceso constructivo.

Por esta razón, el equipo investigador se plantea el objetivo de adaptar la información obtenida en los procesos de cálculo, en bases de datos y/o herramientas con injerencia directa en la conceptualización de un proyecto. De esta manera el usuario puede visualizar y entender las implicaciones de las decisiones que tome respecto de uno u otro material, en términos de emisiones de CO_2e

Definición de unidades de Mercado

El presente capítulo plantea demostrar la aplicación de los resultados calculados en el capítulo anterior en una serie de ejemplos prácticos, que ilustren el impacto ambiental que tienen los materiales a través de los sistemas constructivos más utilizados en el país.

La valoración del impacto ambiental de los materiales a través de un resultado basado en los procesos de fabricación, corresponde a una evaluación parcial del verdadero panorama, que es estudiada dentro del alcance "cuna a la puerta" de esta investigación; no se estudian los procesos ni los desperdicios asociados a las etapas de construcción, uso o disposición de estas unidades.

En la tabla 100, se asigna a cada unidad de producto, como sale de la fábrica, su equivalencia en CO_2e. El cálculo de las emisiones relacionadas a la producción de una unidad funcional por tipo de material, se hace en relación proporcional al peso promedio de las unidades de producto terminado.

Herramienta de visualización

Debido a la naturaleza del proceso de creación, puede llegar a ser muy complejo el cálculo de emisiones de acuerdo a como se van planteando variaciones del diseño en tiempo real. Por lo que se plantea el futuro desarrollo de un software auxiliar de diseño, que pueda mostrar al arquitecto las emisiones de CO_2e embebidas en los materiales que utiliza, y que así pueda tomar decisiones más inmediatas en cuanto a la modificación de estos en el producto que está creando.

Tabla 100. Conversión a Unidades de Mercado

Cálculo de emisiones asociadas a unidad funcional

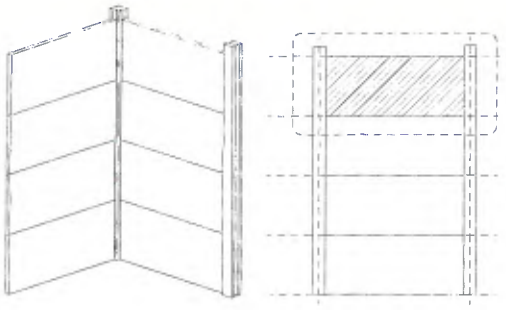
Emisiones unidad x = Wx X Fx

Wx : peso de la unidad funcional por tipo de material

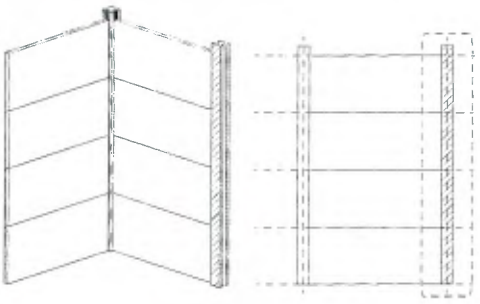
Fx: factor de emisión por tonelada de producto terminado por tipo de material

Material	Unidad de Mercado	W (kg)	F (kg de CO_2e/ kg o m^2)	Emisiones por unidad (kg de CO_2e)
Acero	Varilla deformada Grado #3 6m de largo	6,34	2,30	14,59
Aluminio	Perfil de aluminio anodizado 6,40 m de largo	2,19	11,20	24,50
Concreto	Baldosas de 1,5 m x 0,63 m	72,9	0,19	13,78
	Bloques tipo A 12 cm x 20 cm x 40 cm	11,19	0,07	0,76
	Columnas tipo C 0,12 m x 0, 12 m x 3,15 m	84,08	0,28	23,54
Fibrocemento	Lámina de fibrocemento lisa, borde liso, sin acabado 1,22 m x 2,44 m espesor 6 mm	18,75	0,91	17,07
	Lámina de fibrocemento lisa, borde liso, sin acabado 1,22 m x 2,44 m espesor 8 mm	25,01		22,76
	Lámina de fibrocemento lisa, borde liso, sin acabado 1,22 m x 2,44 m espesor 10 mm	31,26		28,45
	Lámina de fibrocemento lisa, borde liso, impermeabilizada 1,22 m x 2,44 m espesor 14 mm	43,76		39,83
	Tablilla general de fibrocemento, impermeabilizado 0,18 m x 2,44 m espesor 11 mm	5,07		4,66
	Tablilla general de fibrocemento, impermeabilizado 0,24 m x 2,44 m espesor 14 mm	8,61	0,92	7,91
Madera	Metro cúbico de madera laminada	459	-0,29	-133,11
	Metro cúbico de madera de construcción	512	-1,57	-803,84
Vidrio	Metro cuadrado de vidrio, espesor 6mm	15	1,26	18,95
	Metro cuadrado de vidrio templado , espesor 6mm	15	1,3	19,50

Sistema constructivo de baldosas y columnas prefabricadas

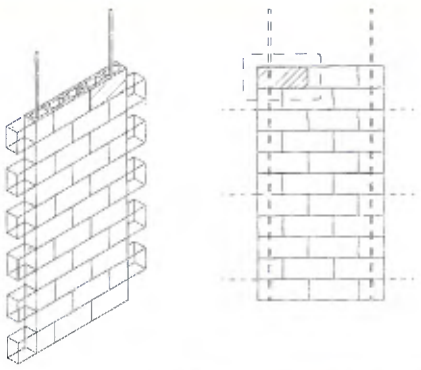


Unidad de mercado	Baldosa de 1.5 m por 0.63 m
Peso	72.90 kg
Emisiones por peso	0.19 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	13.78 kg CO2e

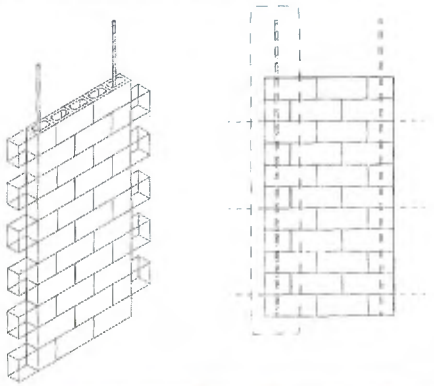


Unidad de mercado	Columna de 0.12 m por 3.15 m
Peso	84.10 kg
Emisiones por peso	0.28 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	23.54 kg CO2e

Sistema constructivo de mampostería integral

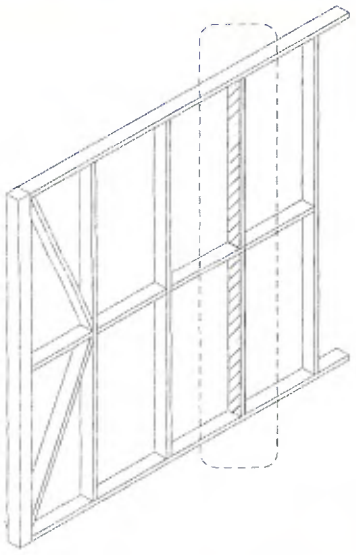


Unidad de mercado	Bloque de concreto de 0.12 m por 0.2m por 0.4 m
Peso	11.19 kg
Emisiones por peso	0.07 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	0.76 kg CO2e



Unidad de mercado	Varilla deformada #3 de 6 m
Peso	6.34 kg
Emisiones por peso	2.30 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	14.59 kg CO2e

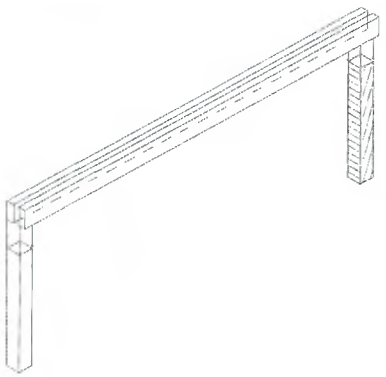
Sistema constructivo de cerramiento liviano



Unidad de mercado	Alfajilla de madera de 2.44 m
Peso	512.00 kg/m3
Emisiones por peso	-1.57 kg CO2e/m3
Emisiones por unidad	-7.59 kg CO2e (alfajilla de 0.05 m por 0.08 m), -10.12 kg CO2e (alfajilla de 0.05 m por 0.10 m)

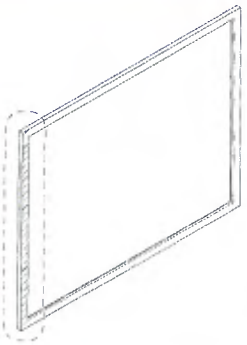
Sistema constructivo de marco estructural

Unidad de mercado	Viga de madera laminada de 0.3 m por 0.04 m por 8.5 m
Peso	459 kg/m3
Emisiones por peso	-0.29 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	-13.58 kg CO2e

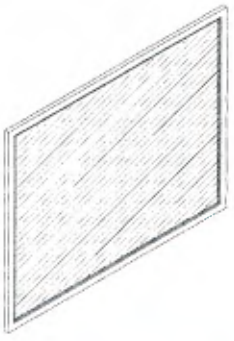


Unidad de mercado	Columna de madera laminada de 0.3 m por 0.3 m por 2.5 m
Peso	459 kg/m3
Emisiones por peso	-0.29 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	-29.95 kg CO2e

Sistema constructivo de ventanería

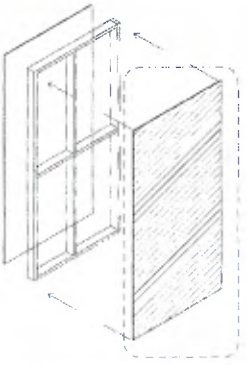


Unidad de mercado	Perfil de marco de aluminio de 6.4m
Peso	2.19 kg
Emisiones por peso	11.20 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	24.50 kg CO2e

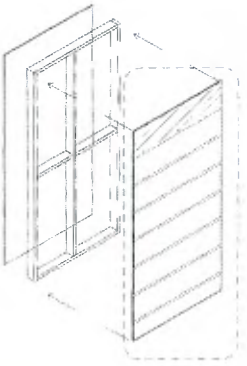


Unidad de mercado	Lamina de vidrio de 6mm de grosor
Peso	15 kg
Emisiones por peso	1.26 kg CO2e/kg (sin templado) 1.3 kg CO2e/kg (templado)
Emisiones por unidad	18.95 kg CO2e (sin templado) 19.5 kg CO2e (templado)

Sistema constructivo de cerramiento liviano



Unidad de mercado	Lamina de fibrocemento de 1.22 m por 2.44 m, lisa, sin acabado
Peso	18.75 kg (6 mm) , 25.01 (8 mm) , 31.26 kg (10 mm)
Emisiones por peso	0.91 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	17.07 kg CO2e , 22.76 kg CO2e , 28.45 kg CO2e



Unidad de mercado	Lamina de fibrocemento tipo tablilla, lisa, sin acabado, 2.44 m
Peso	5.07 kg (0.18 m por 11 mm) , 8.61 (0.24 m por 14 mm)
Emisiones por peso	0.92 kg CO2e/kg
Emisiones por unidad	4.66 kg CO2e 7.91 kg CO2e

La iniciativa surge de la premisa que actualmente el profesional de la construcción lleva a cabo parte su labor en paquetes de diseño digitales que integran no solo dibujo y representación sino que también, presupuesto, instalaciones, cálculos estructurales e inclusive aclimatación. Se puede pues, capitalizar la existencia de una población de profesionales ampliamente versados en el uso y lectura de artefactos de representación; para integrar con más naturalidad una herramienta de visualización por encima de una de cálculo.

Considerando el alcance de la presente investigación, y el énfasis que tiene en los procesos de cálculo de los factores de emisión; la intención es sentar las bases desde el punto de vista de profesionales en el campo, de cómo debería ser el manejo de esta información obtenida, por parte de terceras personas que vengan a desarrollar la herramienta como tal.

Dentro de esta conceptualización, el software permitiría ingresar los datos del factor de emisión dentro de las propiedades de los materiales que formen la base de datos, asignarle uno de estos al elemento constructivo, segmento, o proyecto que se desea analizar y así visualizar la proporción en que es utilizado un material respecto a los otros que conforman el sistema del cual son parte y su aporte correspondiente en emisiones.

Una herramienta de visualización en base a factores de emisión tiene beneficios agregados:

- No depende de la rigurosidad asociada a un cálculo de emisiones para generar un impacto
- Se presta a múltiples usos pero no a múltiples interpretaciones.
- Permite repetidas iteraciones permutando posibles combinaciones de materiales hasta alcanzar un equilibrio óptimo.
- Existen multitud de estándares de visualización aceptados por el gremio de la construcción, así que no se depende de la creación de un lenguaje de lectura nuevo.
- El simplificar la representación de cálculos complejos suscita su uso por profesionales y su eventual lectura por consumidores.

Parámetros y restricciones de cálculo

Se establecen parámetros y restricciones para que dentro del rango de variaciones que pueda presentar la herramienta, estas se ajusten a realidades constructivas del contexto nacional; para obtener el resultado de la huella de carbono, lo más cercano posible al aporte que llegaría implicar la utilización de determinados materiales si se llega a construir el proyecto.

Para esto se procedió a consultar el Reglamento de Construcciones y el Código Sísmico, ya que establecen una serie de requisitos mínimos para la aplicación de los sistemas más comunes en la construcción de edificaciones. Las unidades constructivas presentan un cierto rango de incertidumbre debido los supuestos relacionados con las prácticas comunes en la industria nacional, pero permiten una operación suficientemente rápida para adaptarse a las variaciones que surgen durante la toma de decisiones en el diseño conceptual inicial de un proyecto.

Estas referencias constituyen la guía para determinar el dimensionamiento y las características de diseño de cada una de las unidades constructivas que involucran la utilización de los materiales estudiados. La idea es dejar claro el procesamiento interno de información que hace la herramienta para poder mostrar resultados.

El método utilizado inicia con la contabilización de unidades de producto utilizadas dentro de una unidad constructiva determinada. Luego, se multiplica cada material por el dato de emisiones obtenido en el apartado anterior, se realiza la sumatoria de los diferentes componentes y se determina la huella de carbono total.

Algunos sistemas involucran el uso de materiales no incluidos en el estudio de esta investigación, por lo que en el cálculo se consideran factores de emisión de bases de datos internacionales; con el fin de referenciar su posible aporte dentro de la totalidad. Aunque sólo se incluirán aquellos que puedan llegar a aportar más de un 5% del total de las emisiones.

Entonces se establecen parámetros y restricciones para los siguientes sistemas constructivos:

Pared de mampostería integral (bloques tipo A de 12 por 20 por 40 cm)

Parámetros generales del sistema constructivo (tabla 101)

-El espaciamiento máximo de las varillas de refuerzo vertical y horizontal debe ser de 80 cm. Se utiliza varilla # 3 según las especificaciones de las guías consultadas.

- Se considera que la varilla utilizada en ganchos, anclajes y traslapes está embebida en la huella de carbono de la pared, por lo tanto se asocia un 5% extra de material para incluir estos elementos.

-Se incluye el cálculo del mortero de relleno, debido al alto aporte cuantitativo dentro de la HC de la unidad. Como los materiales que lo componen no se calcularon dentro de la investigación, se toma como referencia un factor de emisión proporcionado por terceros. Se considera el volumen de mortero utilizado en la unidad y la composición de este según la dosificación especificada por el documento "Rendimiento de materiales" del Instituto Tecnológico recopilado por Erick Fallas Gallardo (306 kg/m3 de cemento, 592, 8 kg/m3 de arena y 1276,8 kg/m3 de piedra).

Pared de columnas y baldosas de concreto prefabricado

Parámetros generales del sistema constructivo (tabla 102)

- Compuesto por columnas de 0.12x 0.12 x 3.15 m y baldosas de 0.63 de altura x 1.50 de largo.

-Como es un sistema modular, y sus componentes responden a una integridad estructural, las dimensiones de la unidad constructiva se derivan de estos, pues no se pueden fragmentar. Este mismo principio preestablece la cantidad de elementos contenidos dentro de la unidad constructiva.

- Cumple con los requisitos estructurales determinados por el código sísmico en cuanto a refuerzos mínimos y características de la juntas; por lo tanto, no se incluyen materiales extra para el cumplimiento de la integridad vertical entre baldosas y la transmisión de fuerzas cortantes.

Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de fibrocemento (tabla 103)

Parámetros generales del sistema constructivo

- El código sísmico establece que para marcos de madera las piezas deben ser cómo mínimo de 5 y 7,5 cm nominales; y que el espesor de forro a forro no deber ser menor que 9 cm. Según estos lineamientos, se generan las siguientes combinaciones:

a) Estructura de piezas de madera de 2 por 3 pulgadas y láminas de fibrocemento de 8 mm de espesor para uso interno (Grosor total de unidad: 9,22 cm).

b) Estructura de piezas de 2 por 4 pulgadas con láminas de fibrocemento de 6 mm de espesor para uso interno (Grosor total de unidad: 11,36 cm).

c) Estructura de piezas de 2 por 3 pulgadas, forro interno de fibrocemento de 6 mm y forro externo de 10 mm (Grosor total de unidad 9,22 cm).

-Los marcos de madera deben estar separados a distancias no mayores a los 60 cm. Y como mínimo debe colocarse un elemento horizontal en la base, uno en la mitad de la altura y otro en la parte superior de la pared.

-En todas las esquinas o intersecciones debe colocarse riostras en diagonal con elementos de madera que posean el mismo grosor que los elementos de marco. Como la unidad constructiva corresponde a una sola lámina (no se dan intersecciones), para contabilizar el aporte por el uso obligatorio de riostras, se considera un porcentaje extra del resultado final, que se establece en un 5 % del total de madera por unidad.

Tabla 101. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared de mampostería integral (bloques tipo A de 12 por 20 por 40 cm)

Componente	Cálculo	Resultado unidades	Factor emisión componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Bloques de concreto	Área de pared/ Área de bloque	N° de bloques	0,76	
Varilla vertical	Altura de pared / Largo comercial de varilla			
Varilla horizontal	Cantidad x largo de módulo / Largo comercial de varilla	N° varillas	14,59	Resultado (kg de CO_2e)
Varilla total	(Vhorizontal + Vvertical) + 5% extra			
Mortero de relleno	Área de orificio de bloque x Metros de cada varilla vertical	m3		
Cemento	Cantidad de mortero x dosificación	Kg de cemento	0,77	
Arena	Cantidad de mortero x dosificación	Kg de arena	0,00264	
Piedra	Cantidad de mortero x dosificación	Kg de piedra	0,0024	

Tabla 102. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared de columnas y baldosas de concreto prefabricado

Componente	Resultado de unidades	Factor de emisión de componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Baldosas	N° de Baldosas	13,78	Resultado (kg de CO_2e)
Columnas	N° de columnas	23,54	

Tabla 103. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de fibrocemento

Componente	Cálculo	Resultado unidades	Factor de emisión de componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Piezas de madera vertical	Metros necesarios/Longitud de pieza			
Piezas de madera horizontal	Metros necesarios/Longitud de pieza	N° de piezas	-0,008	Resultado (kg de CO_2e)
Total de piezas de madera	(verticales + horizontales) + (extra por riostras)			
			28,45 (10mm)	
Lámina de fibrocemento	Área de pared (x2) / Área de lámina	N° de láminas	22,76 (8 mm)	
			17,07 (6 mm)	

Tabla 104. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de madera

Componente	Cálculo	Resultado de unidades	Factor de emisión de componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Piezas de madera vertical	Metros necesarios /Longitud de pieza			
Piezas de madera horizontal	Metros necesarios /Longitud de pieza	N° de piezas	-10,12	Resultado (kg de CO_2e)
Total de piezas de madera	(verticales + horizontales)			
Tablilla de madera	Área de pared (x2) /Área de tablilla	N° de tablillas	-37,36	

Tabla 105. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Ventana con marco de aluminio

Componente	Cálculo	Resultado de unidades	Factor de emisión de componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Vidrio	Área de apertura	Metros cuadrados de vidrio	18,95	Resultado (kg de CO_2e)
Aluminio	Perímetro de apertura / Longitud de perfil	N° de perfiles	24,50	

Tabla 106. Visualización del cálculo de emisiones para el sistema constructivo / Marco estructural con columnas y vigas de madera laminada

Componente	Cálculo	Resultado de unidades	Factor de emisión de componente (kg de CO_2 e /unidad)	
Metros cúbicos por columna	(Sección x altura) x 2	m3	-803,84	Resultado (kg de CO_2e)
Metros cúbicos por viga	ancho x peralte x largo	m3		

Pared liviana con estructura de madera y cubrimiento de madera

Parámetros generales del sistema constructivo (tabla 104)

Los marcos de madera deben estar separados a distancias no mayores a los 60 cm. Y como mínimo debe colocarse un elemento horizontal en la base, uno en la mitad de la altura y otro en la parte superior de la pared. Las piezas serán de 2 por 3 pulgadas.

Para el cubrimiento se utilizan tablas de madera cepillada de 3/4 de pulgada, de 0,12 m de ancho por 3,36 m de largo (ó 4 varas, medida más común para venta de tablas de madera de construcción).

Ventana con marco de aluminio

Parámetros generales del sistema constructivo (tabla 105)

Debido a la variabilidad en dimensiones, características y usos que pueden tener las aperturas para ventana, de acuerdo a las necesidades de los espacios, los módulos son muy diversos. Para ilustrar este sistema constructivo se usa el ejemplo de ventanería fija..

Marco estructural con columnas y vigas de madera laminada

Parámetros generales del sistema constructivo (tabla 106)

Al no haber medidas específicas para este tipo de unidad, pues las dimensiones de los productos se trabajan contra pedido de acuerdo a las necesidades del proyecto, el cálculo se relaciona directamente a la medida de volumen como estándar.

Definición de alcances

El paradigma de representación bajo el cual se conciben los alcances finales de esta herramienta, es lo que se conoce como B.I.M (building information modeling o modelado de información para la construcción), que a diferencia de los modelos de visualización basados en CAD (computer aided design o diseño asistido por computadora), BIM no dibuja, sino construye virtualmente.

De esta manera es posible concebir el modelo de un edificio en el que todos sus elementos son objetos con funciones y parámetros asociados, entre ellos el factor de emisión (gráfico 57). La herramienta pretende comportarse como una base de datos interactiva, al ejemplificar y visualizar la aplicabilidad de las diferentes unidades de mercado abarcadas en la investigación.

Dentro de la conceptualización, el software debe permitir ingresar los datos del factor de emisión de los materiales presentes en el elemento constructivo, segmento, o proyecto que se desea analizar, para obtener en tiempo real cifras dependientes de ciertas variables, como por ejemplo, con respecto a las diferentes combinaciones, dimensionamiento e iteraciones de los elementos, para analizar el comportamiento inmediato de lo diseñado.

La herramienta pretende funcionar con un sistema similar al de los programas normalmente usados en modelado en tres dimensiones, con diferentes vistas simultáneas desde diferentes perspectivas. A continuación se enlistan a modo de "user stories" ", término utilizado en el ámbito de la programación para referirse a la especificación de requisitos por parte de los potenciales usuarios del software; con el objetivo de plantear qué información, su presentación y ubicación posibles en el diseño de la interfaz en una plataforma determinada.

Paleta de propiedades:

Esta paleta permite mostrar las propiedades de cualquier elemento que se encuentre seleccionado, tales como altura,

metros cúbicos de material, composición de estructura. Una de las principales funciones de será que a partir de un panel de controles se pueda seleccionar si se desea o no hacer la cuantificación para el objeto seleccionado.

Debe permitir modificar parámetros como la modulación estructural de los perfiles o la distancia entre varillas. Estas propiedades pueden ser modificadas desde esta paleta afectando directamente al objeto seleccionado y dar la posibilidad de que modifique a otros del mismo tipo.

Hay que considerar que al tratarse de componentes paramétricos, esos se acoplarán a los datos listados por la paleta de propiedades. Es decir, no importa cuánto aumente la longitud de una pared de bloques, la dimensión del bloque se mantiene con respecto a lo establecido así como la modulación de la varilla.

Pestaña de cálculo de emisiones (cuantificación):

Dentro de la paleta de propiedades se desarrollará una pestaña que muestre a manera de índice todos los elementos que están sumando al total del proyecto.

Podrá mostrar la sumatoria de emisiones del componente seleccionado, cuánto CO_2e aporta el material de cada elemento de esos componentes, cuánto porcentaje representa del total y el factor de emisión de referencia.

Sin embargo el usuario debe poder manipular sumatorias de conjuntos o de la totalidad de los componentes que hayan activado la cuantificación, o ya sea por filtros aplicados por categorías, es decir, tener la posibilidad de saber cuál es el aporte por cerramientos o por cubiertas; o en su caso por determinado material.

Ejemplo:

Componente: Pared liviana. 1
-Composición:

- Cerramiento 1 : Material fibrocemento.

Factor de emisión asociado _____CO_2e

- Estructura interna: Material perfil de madera.

Factor de emisión asociado _____CO_2e

- Cerramiento 2: Material fibrocemento.

Factor de emisión asociado _____CO_2e

Introducir un nuevo material:

La lógica del componente virtual es que exista una comprensión de su sistema constructivo y que elementos lo componen; por ejemplo, una pared liviana se compone de estructura interna y dos cerramientos. Al generar un componente de este tipo, el usuario deberá poder ingresar todos los datos asociados a cada elemento, tales como dimensiones y material.

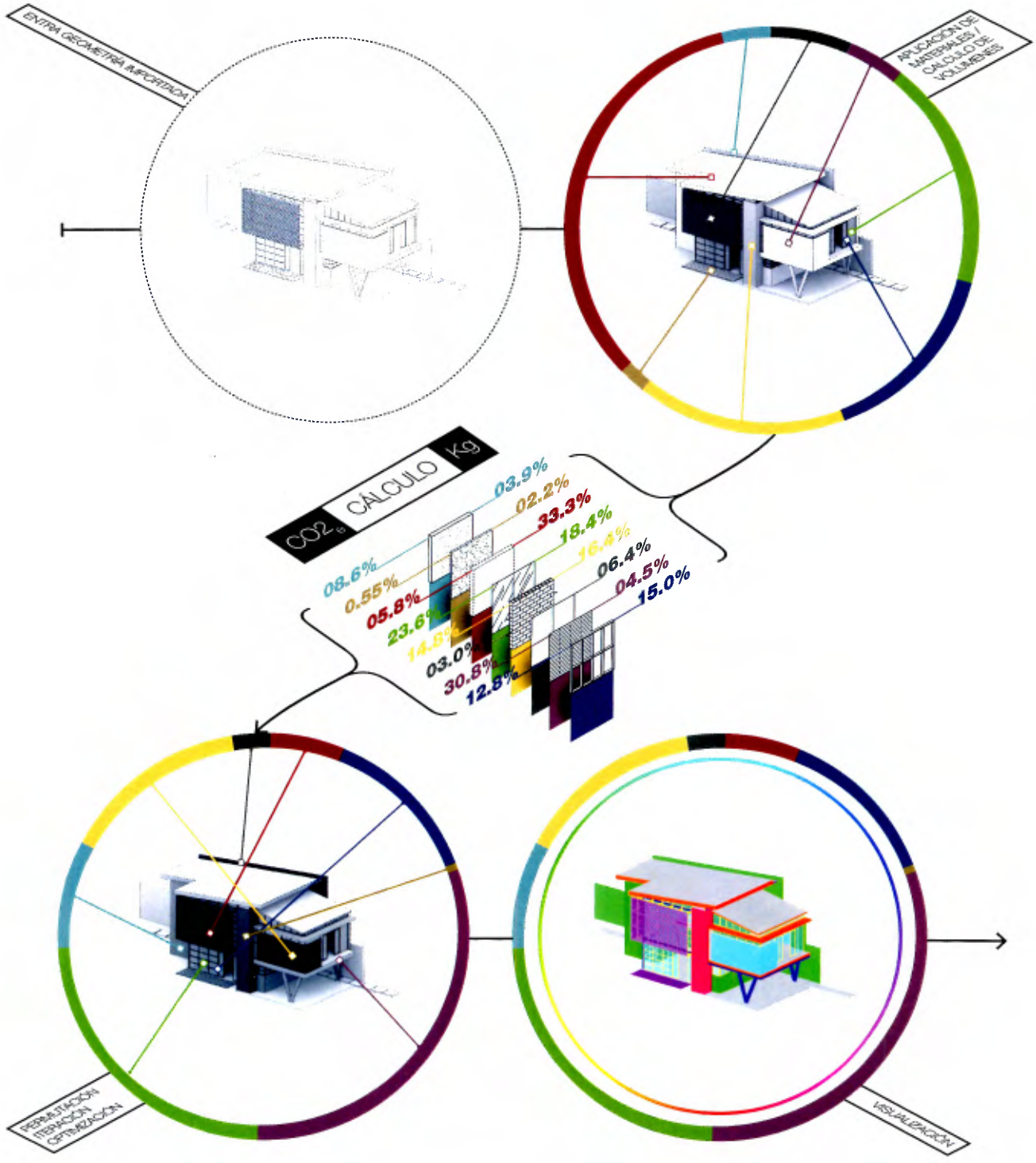
Y en este caso, el material también contiene datos asociados con sus propiedades físicas y/o químicas que se pueden introducir por el usuario. En este punto es donde se encuentra el dato del factor de emisión asociado a cada material.

De esta manera el componente tendrá la sumatoria de los factores de emisión de los tres materiales de los 3 elementos que lo constituyen. La paleta de propiedades generará la sumatoria del factor de emisión dependiendo de los metros lineales, cuadrados o cúbicos del componente que se tracen.

Si el usuario pretende introducir un material fuera de los analizados en la investigación, el software deberá facilitar la introducción de datos de estándares internacionales para que se puedan asociar al material nuevo. O también conforme se vaya actualizando o profundizando la investigación en torno a los factores de emisión de materiales de construcción, debe generarse la posibilidad de ingresar nuevos datos de factores de emisión, dentro de las propiedades de los materiales en específico.

Modelos genéricos:

Existen configuraciones que no exactamente se elaboran bajo estándares tradicionales de construcción. Por eso , cuando el usuario implemente dentro del proceso de diseño el modelado


ENTRA GEOMETRIA IMPORTADA
APLICACION DE MATERIALES / CALCULO DE VOLUMENES
CO2 CALCULO KG
08.6%
0.55%
05.8%
23.6%
14.9%
03.0%
30.8%
12.8%
03.9%
02.2%
33.3%
18.4%
16.4%
06.4%
04.5%
15.0%
DESMULTIACION ITERACION OPTIMIZACION
VISUALIZACION

de volúmenes o masas, la herramienta deberá permitir asociar datos de material a las diferentes geometrías modeladas, ya sea una moldura, o una escalera personalizada la cual podrá estar compuesta por diferentes materiales como madera, concreto o metal.

Visualización:

Otra característica de esta herramienta es que pretende mediante diferentes estilos de visualización, observar en tiempo real el comportamiento de las emisiones, según una escala de colores asociada al incremento o decrecimiento de las mismas. Esto le permitirá al usuario analizar el estado del proyecto, al localizar rápidamente cuáles elementos son los que están aportando más a la huella de carbono.

Por ejemplo una gama de colores del azul al rojo, que se pueda personalizar de acuerdo a una escala numérica establecida por el usuario. Se irá mostrando en tonos de azul los datos de menor impacto, por ejemplo los materiales con datos negativos, el tono puede ir variando a verdes, amarillos hasta llegar a las cifras más altas que se mostrarán en tonos naranja a rojos.

Esta escala emulara una representación de captación de calor por rayos infrarrojos. Si bien esta forma de visualización no muestra datos numéricos en sí, se presenta como una forma versátil al ojo del diseñador de jugar con la gama de materiales y la composición de los mismos en las fases de diseño del proyecto.

'Outputs' (Salidas de información):

Como documento físico del proyecto, el usuario podrá obtener las cuantificaciones totales mediante reportes o tablas en las que se de un desglose total de emisiones. El software podrá permitir filtrar y clasificar los datos, ya sea por componentes, materiales, por sectores o niveles del proyecto.

Así como un software de diseño utiliza diferentes tipos de vista para especificar acabados y otros detalles, el usuario podrá generar vistas tipo "render", axonométricas o elevaciones en escala de colores con respecto a la cantidad de emisiones.

Prueba de concepto de herramienta de cálculo (Prototipo)

Por medio de una plataforma más flexible en cuanto a programación, se realiza el ejercicio de constituir un prototipo de la herramienta, con el fin de plasmar con mayor claridad la idea que se tiene para la presentación y lectura de los gráficos con los que se visualizan los resultados de asignar un material a un elemento.

Se genera un primer prototipo de herramienta sobre la plataforma Rhinoceros creado por Robert McNeel & Asssociates. El software Rhinoceros es un programa de modelado en geometrías N.U.R.B.S. (Non Uniform Rational B-spline o Curvas Racionales no Uniformes), el cual es un modelo matemático para trabajar en la generación de superficies. Esto da al programa una enorme versatilidad en el modelado que lo ha posicionado en el ámbito del diseño, desde la construcción, aeronáutica, joyería o en el diseño de producto.

Las razones por las que se decidió usar este software para la concepción del prototipo reflejan las ventajas de Rhinoceros:

1. Cuenta con una amplia gama de formatos con los que es compatible para la exportación e importación de modelos.
2. Es una herramienta abierta a diferentes ámbitos del diseño sin perder la rigurosidad que se alcanza en los sistemas CAD.
3. Es un software comercial muy accesible a estudiantes, y presenta un bajo costo. Además tiene una fuerte acogida en el mercado.
4. Además de las posibilidades de modelado con los comandos básicos de Rhinoceros, presenta la posibilidad de insertar 'plugins' (aplicación que añade funciones adicionales al software). En el caso específico de esta investigación, se utilizó la plataforma de programación Grasshopper; en la que el usuario puede generar sus propios algoritmos geométricos.

Grass Hopper

Grasshopper es un lenguaje de programación visual que permite al usuario diseñar y generar algoritmos a partir de datos y geometrías. A diferencia de un lenguaje de programación convencional que conlleva cierta complejidad y conocimientos más específicos, el lenguaje gráfico proporciona los comandos a manera de cajas con entradas y salidas, que se interconectan entre sí.

Para usar Grasshopper el usuario debe tener un entendimiento total de la idea, el objetivo final que quiere lograr, para poder conceptualizarlo en un modelo matemático que se traducirá en el algoritmo de programación. Al pensar en procesos de diseño y no en objetos preestablecidos, el usuario puede manipular directamente las variables y entender que sucede con las distintas exploraciones, y no limitarse a obtener un dato concreto sin saber de dónde proviene.

Las entradas de información, se generan a partir recopilación de datos que pueden ser de naturaleza diversa, como bases estandarizados hasta datos físicos traducido de manera digital con censores como radiación solar, temperatura, humedad, entre otros.

Lo que amplía el rango de disciplinas en lo que se puede utilizar Grasshopper para la optimización de procesos más allá de los planeamientos convencionales. Trabajar con parámetros modificables digitalmente, facilita en términos de esfuerzos, tiempo y demás recursos materiales, la cantidad aplicaciones en arquitectura, urbanismo, diseño de interiores, diseño indutrial, prototipado, entre otros,

Para el diseño del prototipo trabajado como parte de la presente investigación, se tienen distintos conjuntos de comandos con los cuales se genera el lenguaje de programación, estos se comportan como baterías de controles que permiten al usuario introducir información y vincularlos a objetos para que se rijan partir de los parámetros que estos les brinden.

Herramienta de cálculo.

La herramienta de visualización lograda como prototipo durante la investigación consta de dos partes. La primera, que se denominará versión micro se presenta de manera más específica, en las que se introducen datos a componentes constructivos para analizar los resultados de pequeñas variaciones y una versión macro que trabaja con la totalidad de un proyecto.

Se generan parámetros base de acuerdo con las especificaciones de el Código Sísmico y el Reglamento de Construcciones de Costa Rica, como una sugerencia sistemática a seguir; sin embargo, al ser una herramienta destinada para fases primarias de diseño, no restringe al usuario a modulaciones preestablecidas, bajo la salvedad que está siendo manejada bajo el criterio de un profesional de la construcción con entendimiento de las propiedades físicas y estructurales de los componentes constructivos dentro del proyecto en cuestión.

Este prototipo abarca los diferentes productos analizados dentro de la investigación; para materiales diferentes a estos, es posible trabajar con estándares y datos internacionales.

Versión Micro

En la primera de estas partes, es posible editar diferentes conjuntos de materiales y elementos para formar componentes constructivos a necesidad del diseño, acabados y estructura. Brinda un panel controlador, en el que el usuario tiene acceso para modificar directamente las alturas y grosores, modulación estructural, así como escoger de una gama de materiales disponibles con su respectivo factor de emisión.

Las unidades de mercado se establecen como modulaciones, por ejemplo, se sabe que la varilla se obtiene con un largo de 6 metros, por lo que para 18 m lineales de varilla se necesitan 3 unidades de mercado.

La visualización infográfica de esta herramienta muestra al usuario todo un desglose riguroso de datos importantes para la toma de decisiones en diseño a un nivel micro del proyecto. La

herramienta puede mostrar desde la cantidad de unidades de mercado necesarias, los resultados de emisiones por Kilogramo, además de la sumatoria que compone un metro lineal o un metro cuadrado.

Con los gráficos 58,59,60 y 61, se muestra como varían los números al hacer cambios en la distribución de elementos como la varilla en una pared con sistema de mampostería para los dos primeros, o el material de un elemento para el caso de los otros dos gráficos que ilustran un cerramiento liviano, mientras que con el gráfico 62 se visualiza la interface del prototipo, con los controles a la izquierda que permitirán modificar en tiempo real la unidad constructiva.

El primer dato a mostrar es el porcentaje de cada uno de estos elementos dentro del componente, cuántas unidades de bloque, de varilla, kilogramos de concreto y de cal. Posteriormente se indica el dato del aporte por unidad de mercado, tomando en cuenta la sumatoria de unidades mostrada en el apartado anterior, la herramienta muestra el aporte de emisiones en kg por material para cada uno de los elementos. Por último el aporte total del componente constructivo según la longitud o la extensión de este.

De esta manera, esta primera parte de la herramienta pretende mostrar al usuario no solo una visualización más rigurosa si no, también un acercamiento al entendimiento constructivo de los diferentes componentes.

Versión Macro

En esta parte de la herramienta se tiene la posibilidad de visualizar el comportamiento de la totalidad de un proyecto. Asumiendo que el usuario tiene un entendimiento de la lógica constructiva y de agrupación de los diferentes componentes constructivos en el proyecto, puede:

1. Construir el modelo en el programa directamente
2. Importar el modelo desde otro software de visualización compatible.

Una vez colocado el modelo del proyecto a analizar, el programa brinda los datos a manera de capas, toda la información y propiedades de los elementos de un componente está cargada en cada una de estas. Las capas funcionan con el mismo sistema que en los programas CAD, lo que permite al usuario separar funcionalmente diferentes porciones del modelo, para lograr visualizaciones y ediciones de estos por separado. El software también permite aislar una capa u omitirla del proyecto ocultándola de la vista.

Cada una de las capas está prediseñada para trabajar sobre un tipo de componente específico, sin embargo se puede editar desde la herramienta micro si el usuario lo requiere. Al ser datos sujetos a las configuraciones de diferentes proyectos, varían conforme este crece o decrece en metros cuadrados o iteraciones en sus estructuras internas. En cuanto a la interfaz el usuario dispone de una paleta de controles desde la cual se sitúan los parámetros aplicables a cada una de las capas, como se observa en el g´rafico 63.

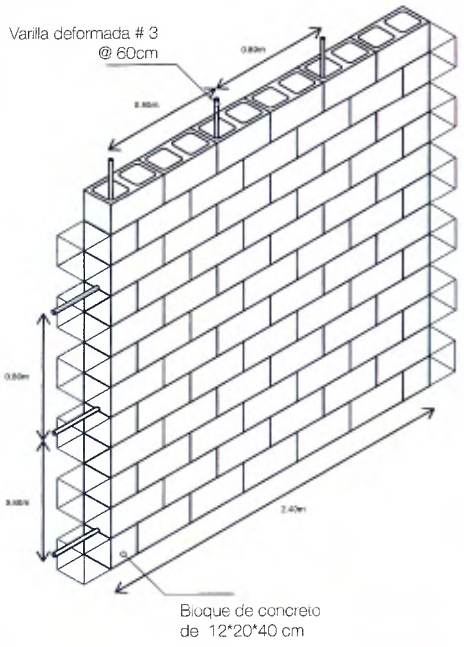
Entonces, el usuario será capaz de introducir dentro de capas, las diferentes geometrías del modelo. Estas geometrías serán clasificadas en planos o sólidos, los cuales llevaran procesos de análisis diferentes. Los metros cuadrados de los planos son multiplicados por su grosor, con lo que se obtiene un dato de volumen que se suma a los metros cúbicos de los sólidos.

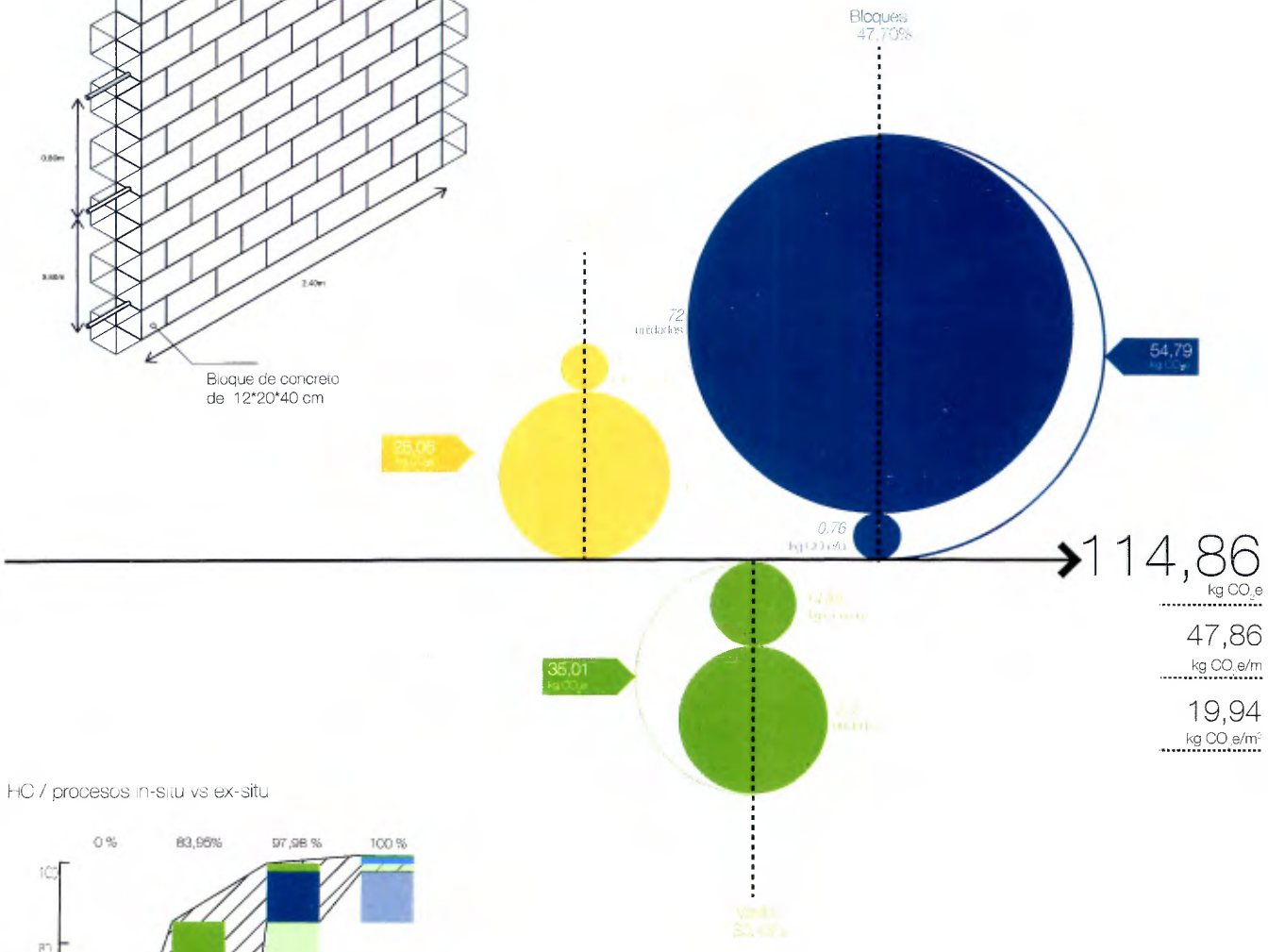
Dentro de los datos asociados, cada material contiene sus densidades. Cada una de estas densidades se multiplica por el volumen del material lo que permite obtener la masa en kilogramos del material, lo que se puede asociar con el factor de emisión, lo multiplica, y se obtiene el valor "e".

Con el dato del "e" por cada material se genera una base de datos que los ordena en rangos de menor a mayor. Estos se utilizan por el software para mostrar al usuario los valores nominales de dos maneras: como porcentaje del total en gráficos de dona alrededor del modelo y con los espectros de color que adquieren los componentes del modelo.

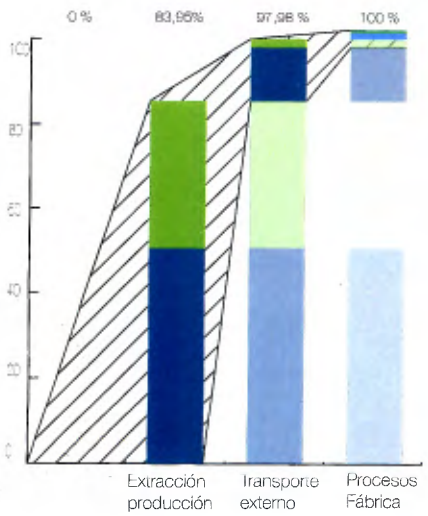
Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

Unidades de producto por módulo de cálculo

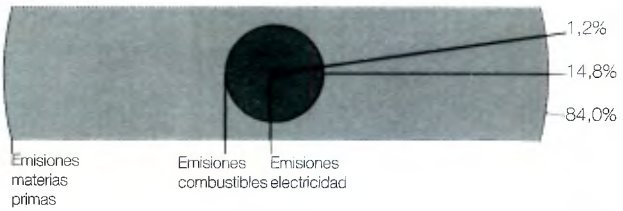




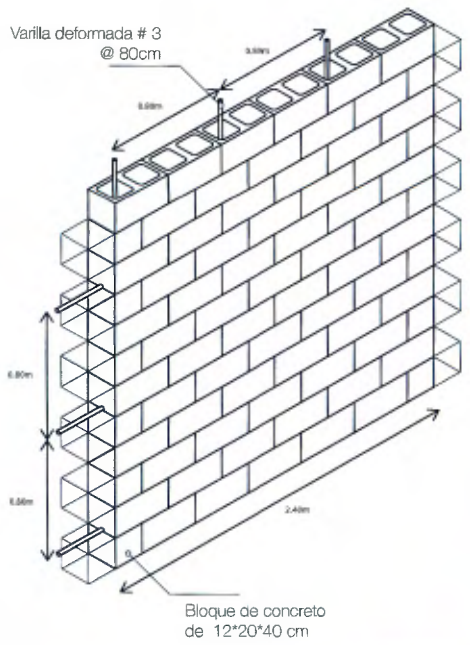
HC / procesos in-situ vs ex-situ

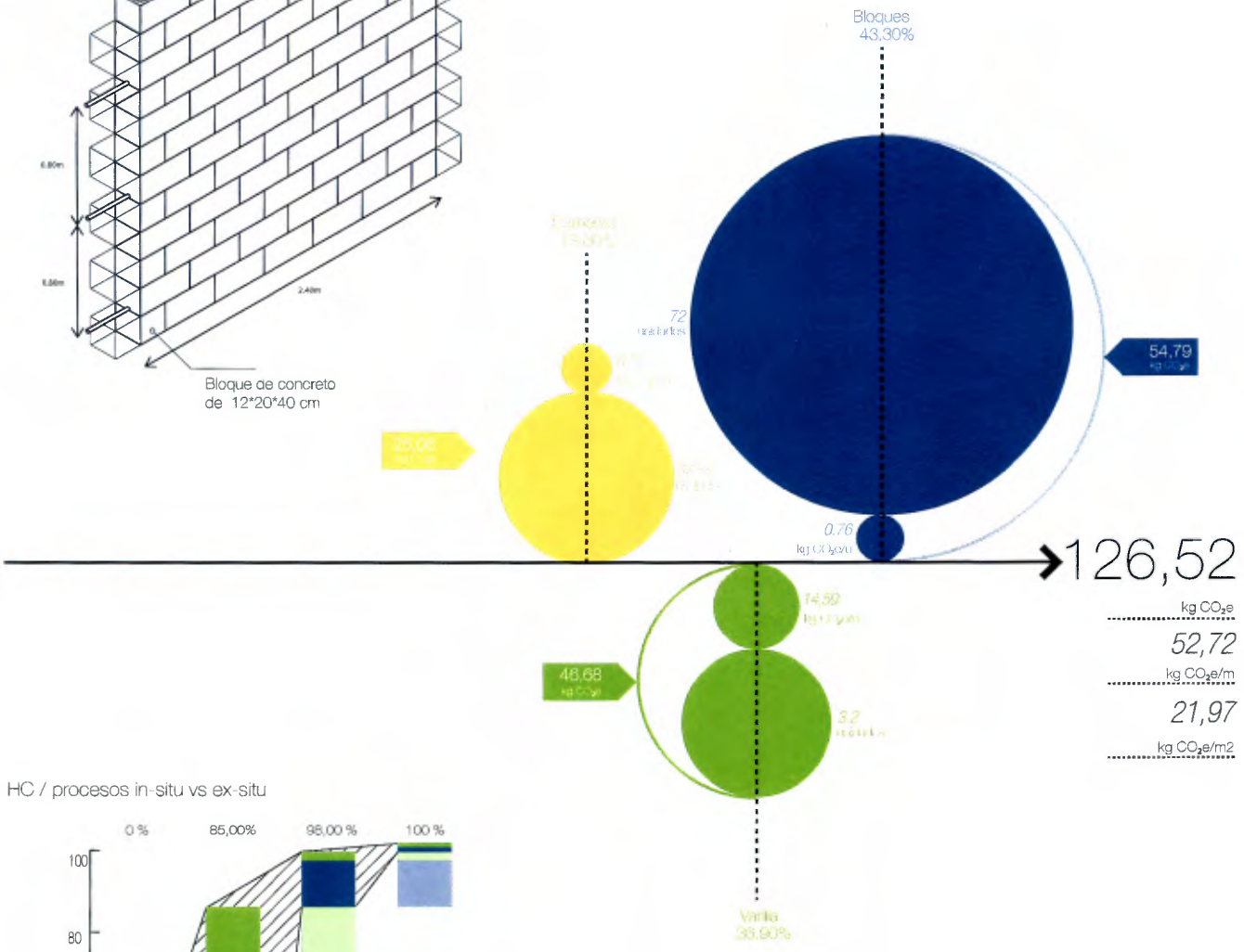


HC / categorías de unidad

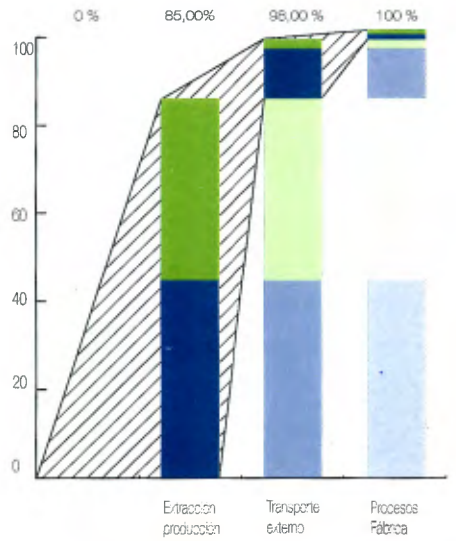


Unidades de producto por módulo de cálculo

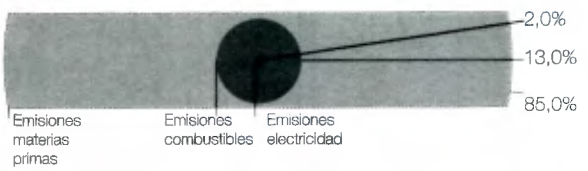




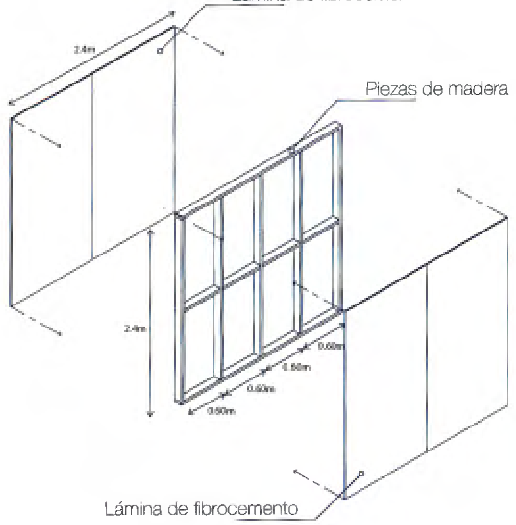
HC / procesos in-situ vs ex-situ

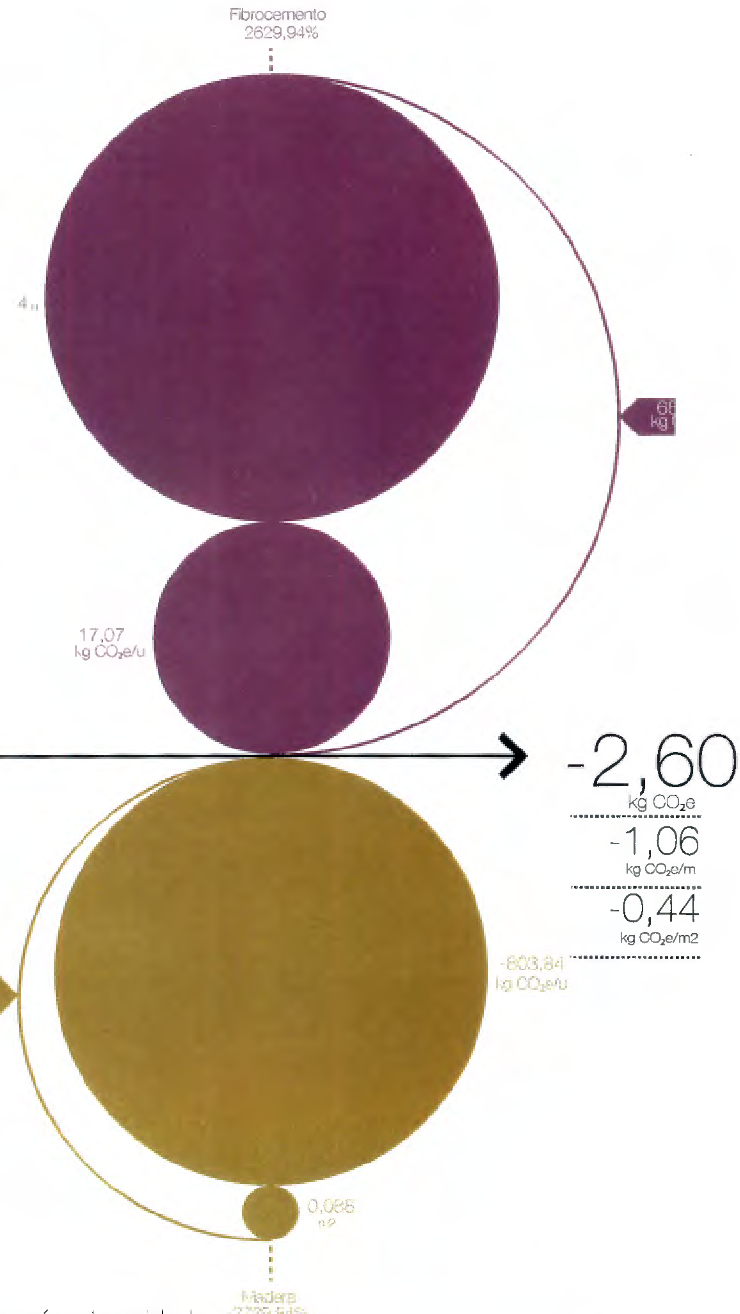


HC / categorías de unidad

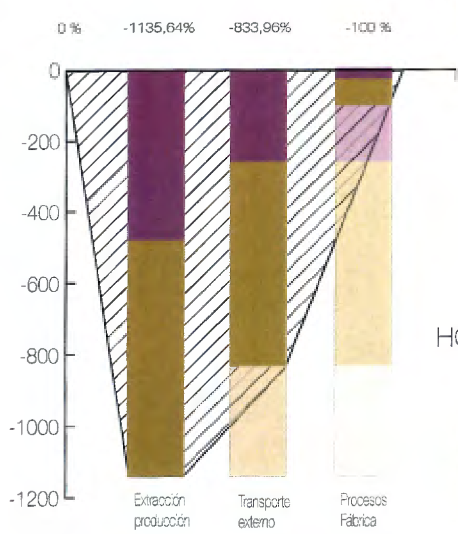


Unidades de producto por módulo de cálculo





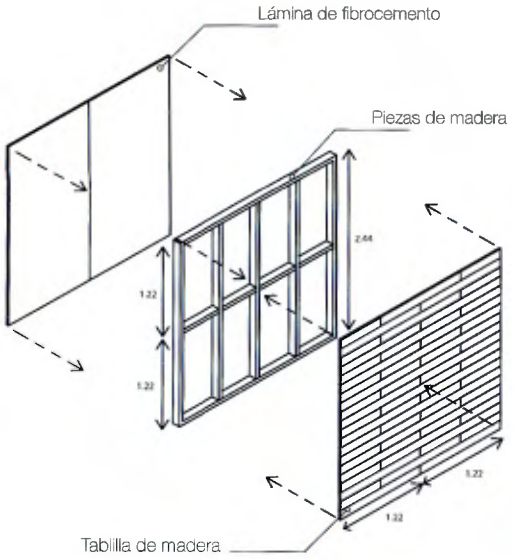
HC / procesos in-situ vs ex-situ

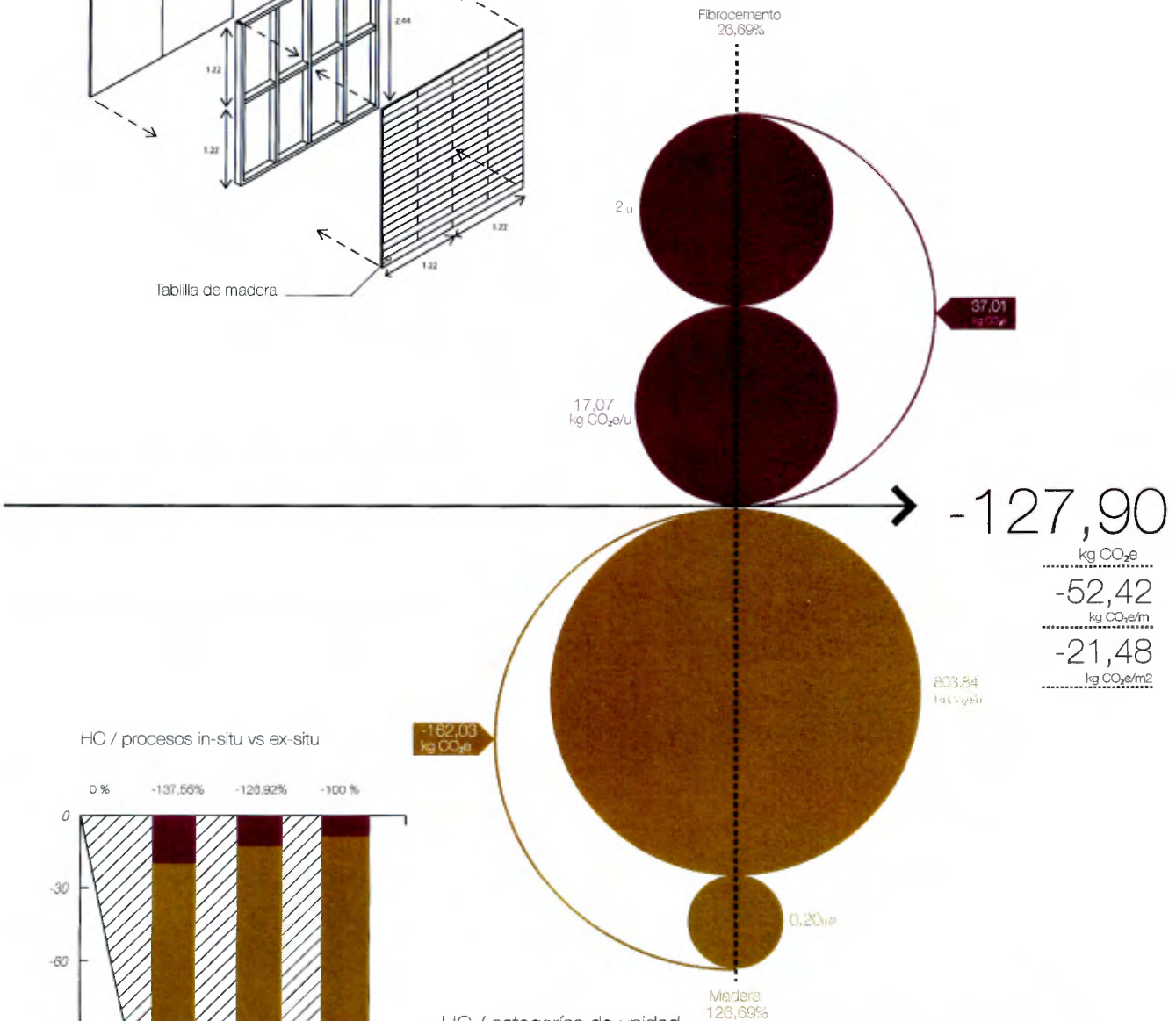


HC / categorías de unidad

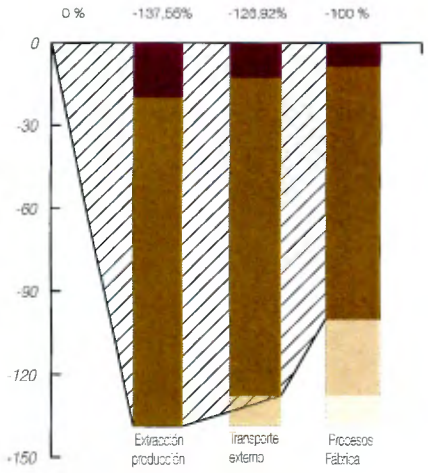
Gráfico 63. Variación 2.1 Segmento de panel de láminas de fibrocemento de 6mm con estructura de madera. Elaboración propia

Unidades de producto por módulo de cálculo

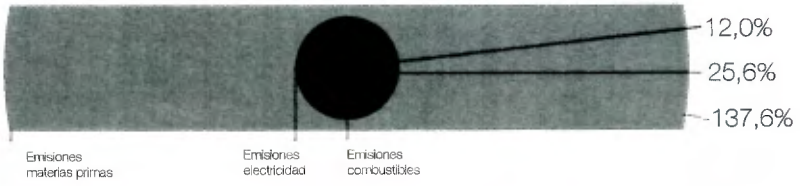




HC / procesos in-situ vs ex-situ

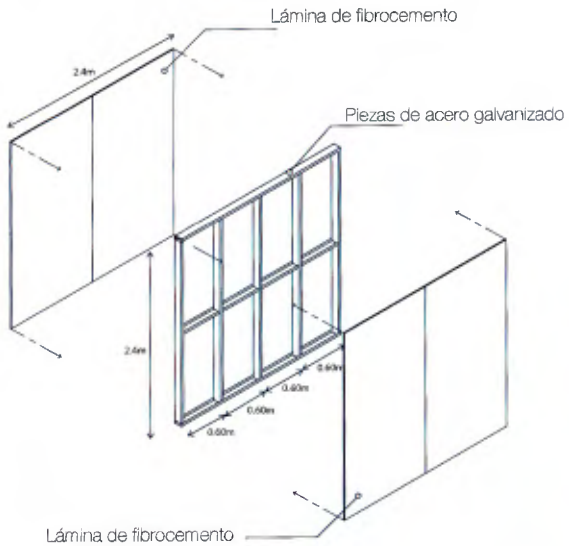


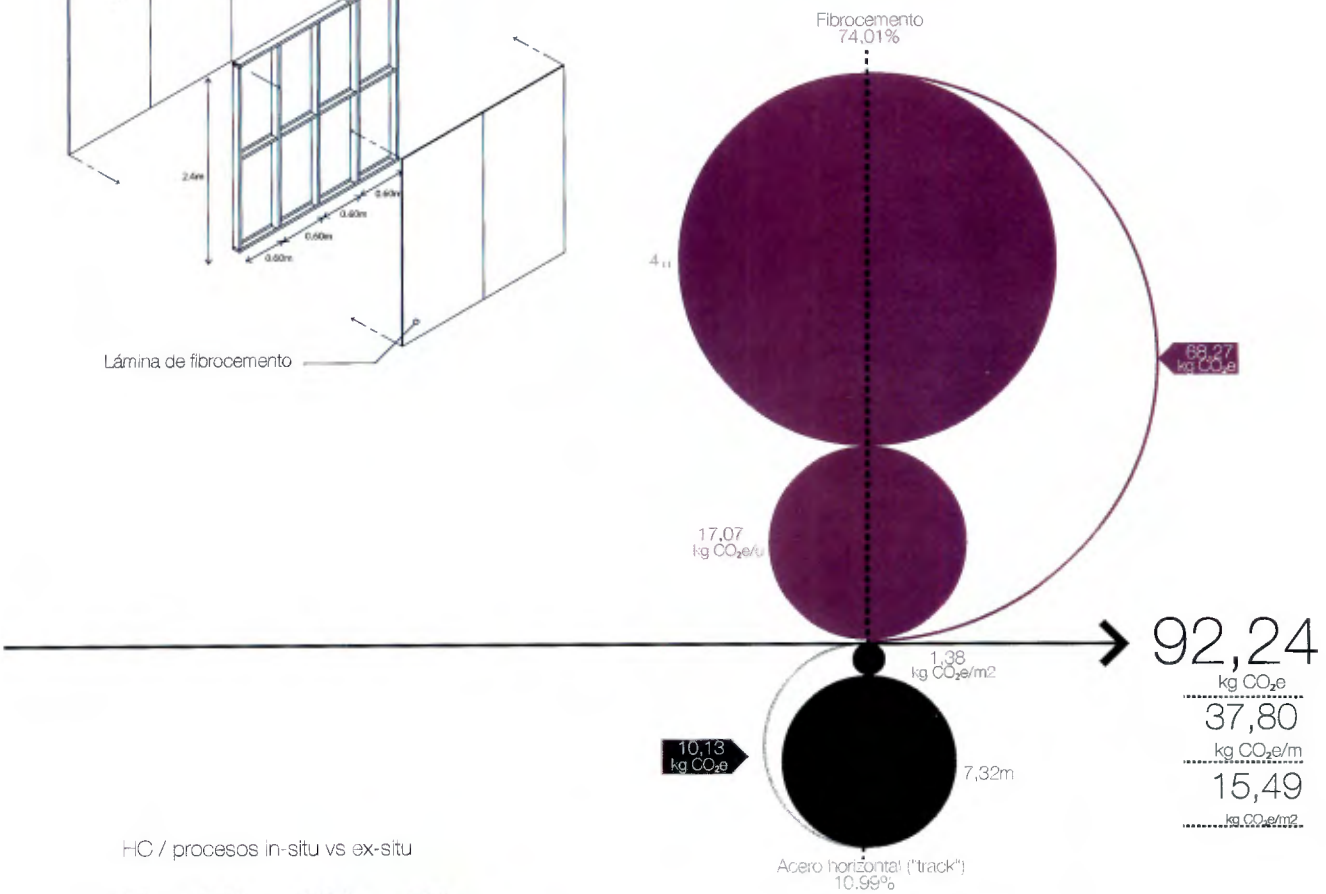
HC / categorías de unidad



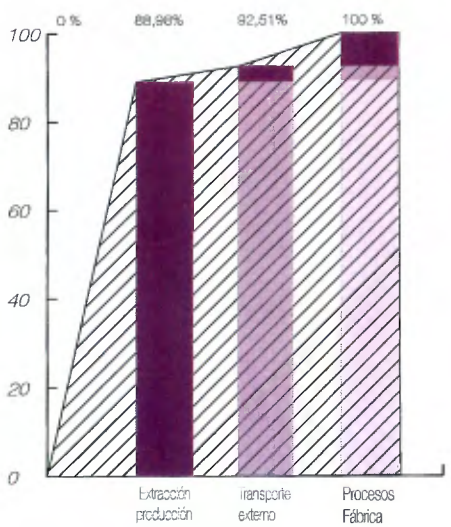
Panel de fibrocemento de 6 mm de grosor y tablilla de madera de 2 cm de grosor con acabado de madera. Elaboración propia

Unidades de producto por módulo de cálculo

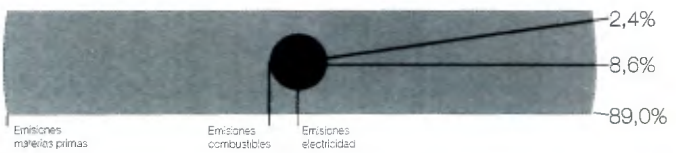


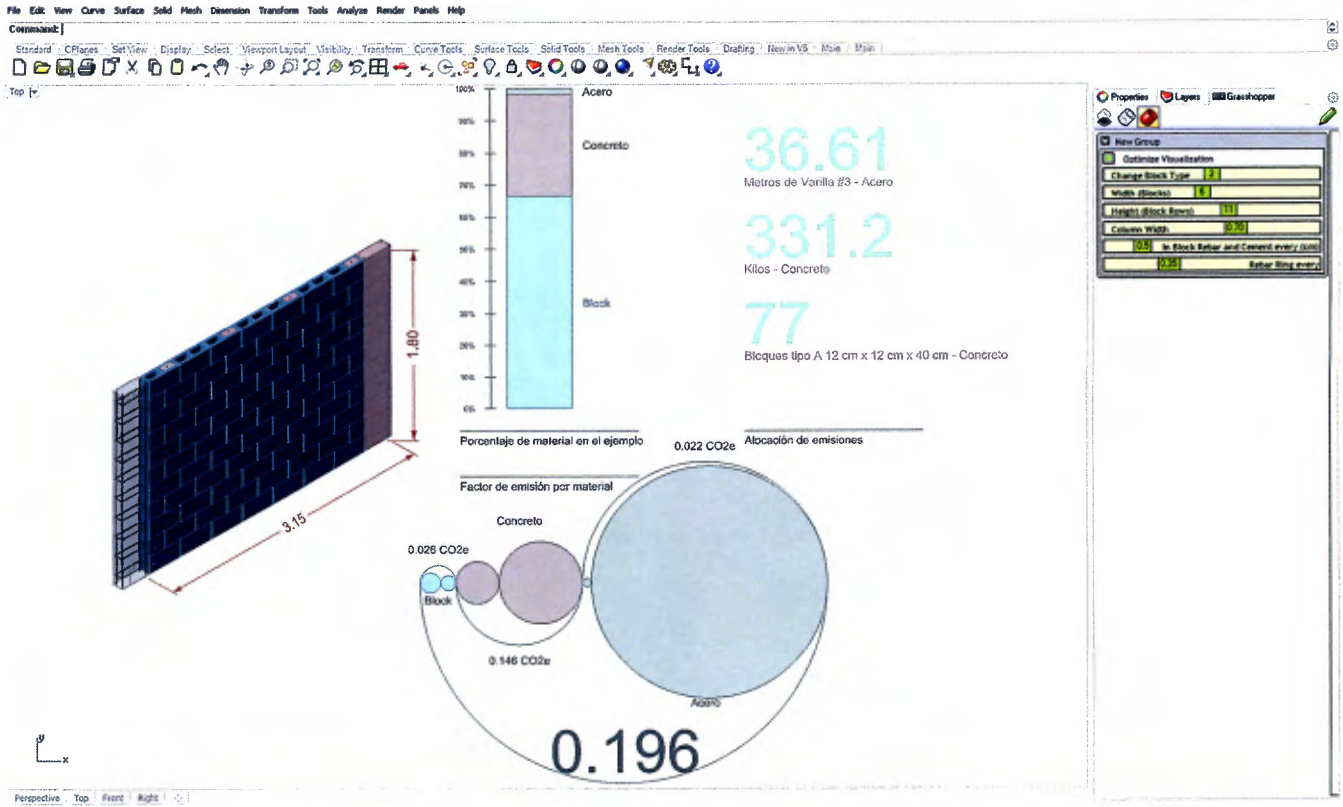


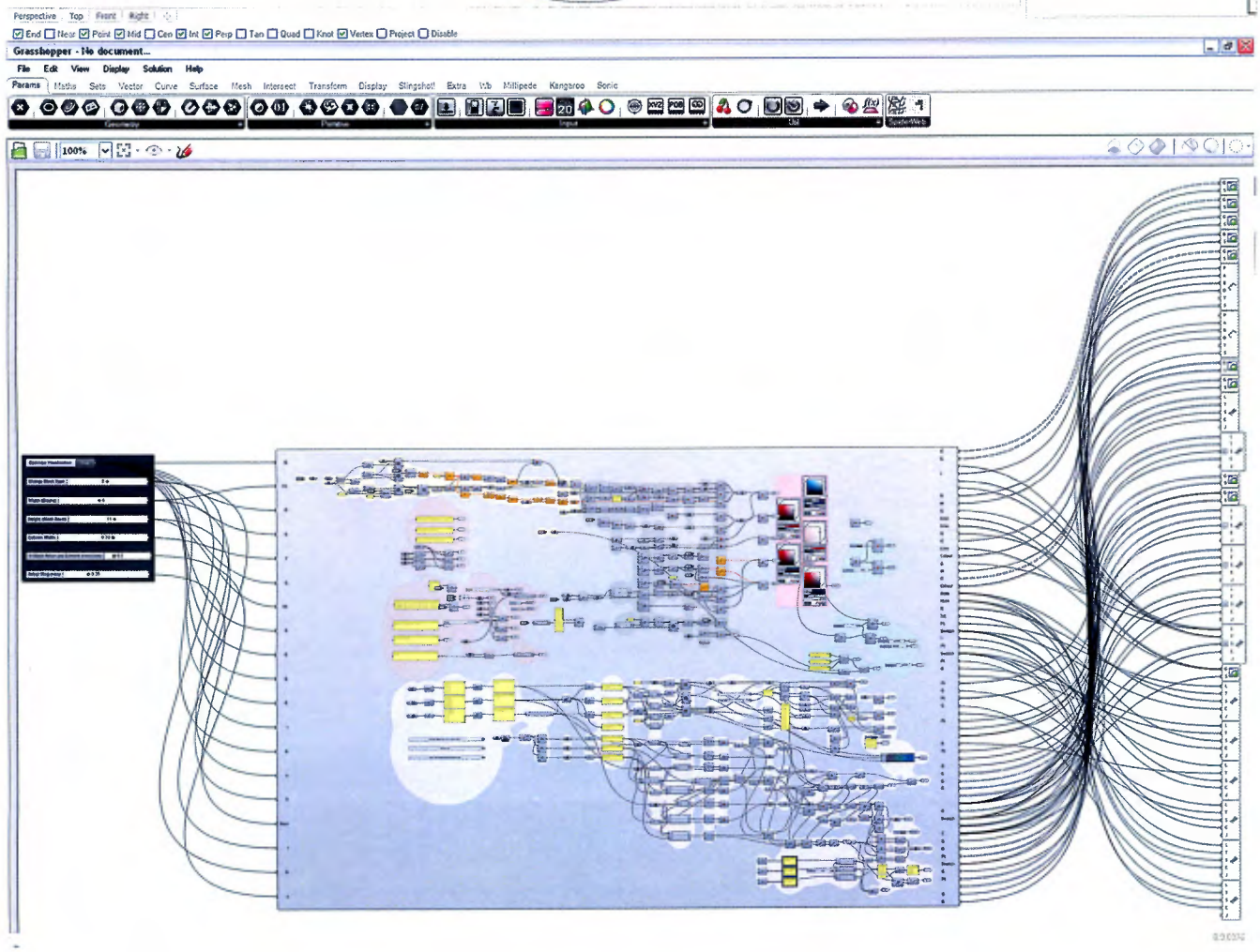
HC / procesos in-situ vs ex-situ



HC / categorías de unidad




Acero
Concreto
Block
36.61
Metros de Varilla #3 - Acero
331.2
Kilos - Concreto
77
Bloques tipo A 12 cm x 12 cm x 40 cm - Concreto
1.80
3.15
Porcentaje de material en el ejemplo
0.022 CO2e
Alocación de emisiones
Factor de emisión por material
Concreto
0.026 CO2e
Block
0.146 CO2e
Acero
0.196



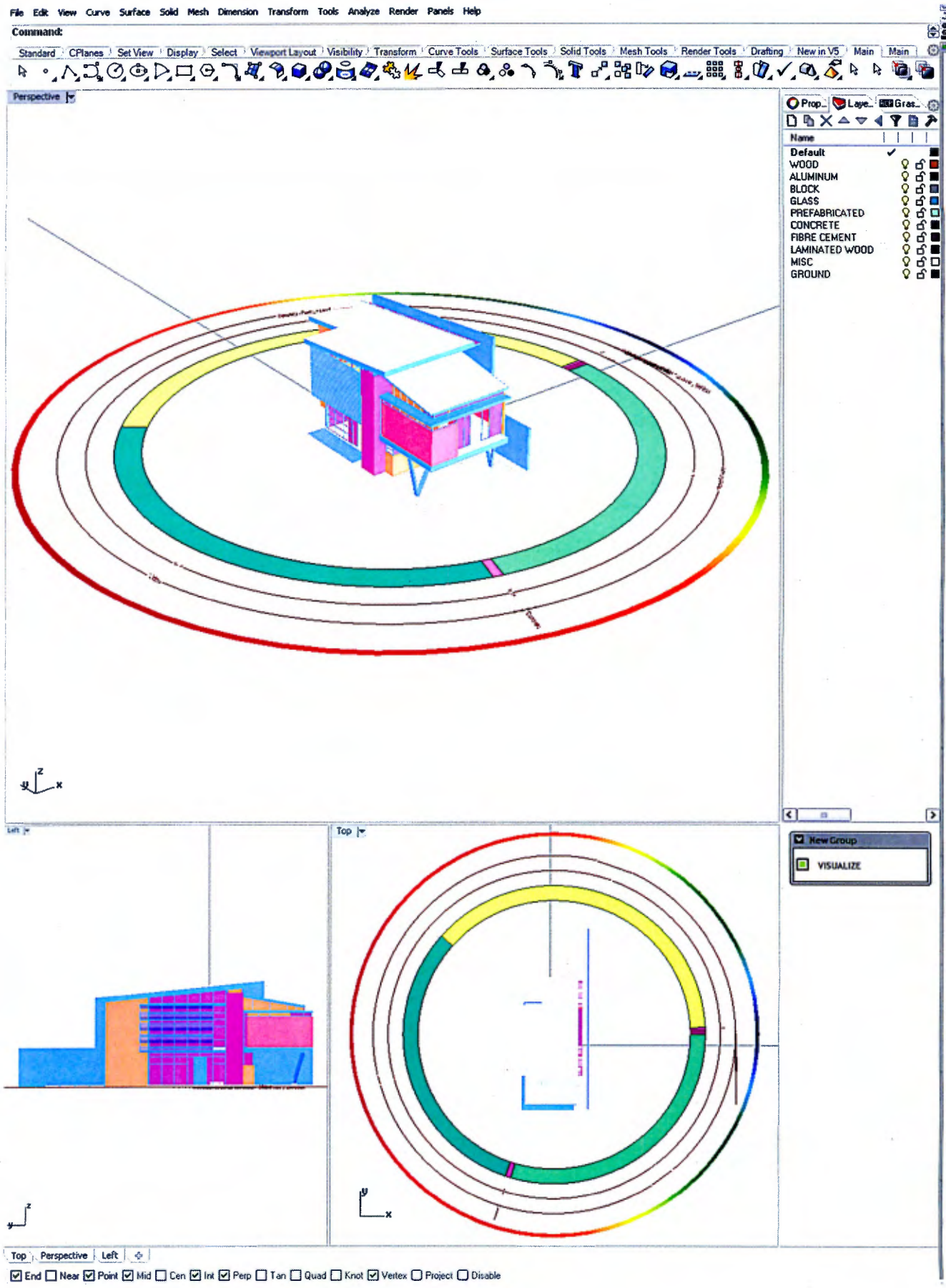
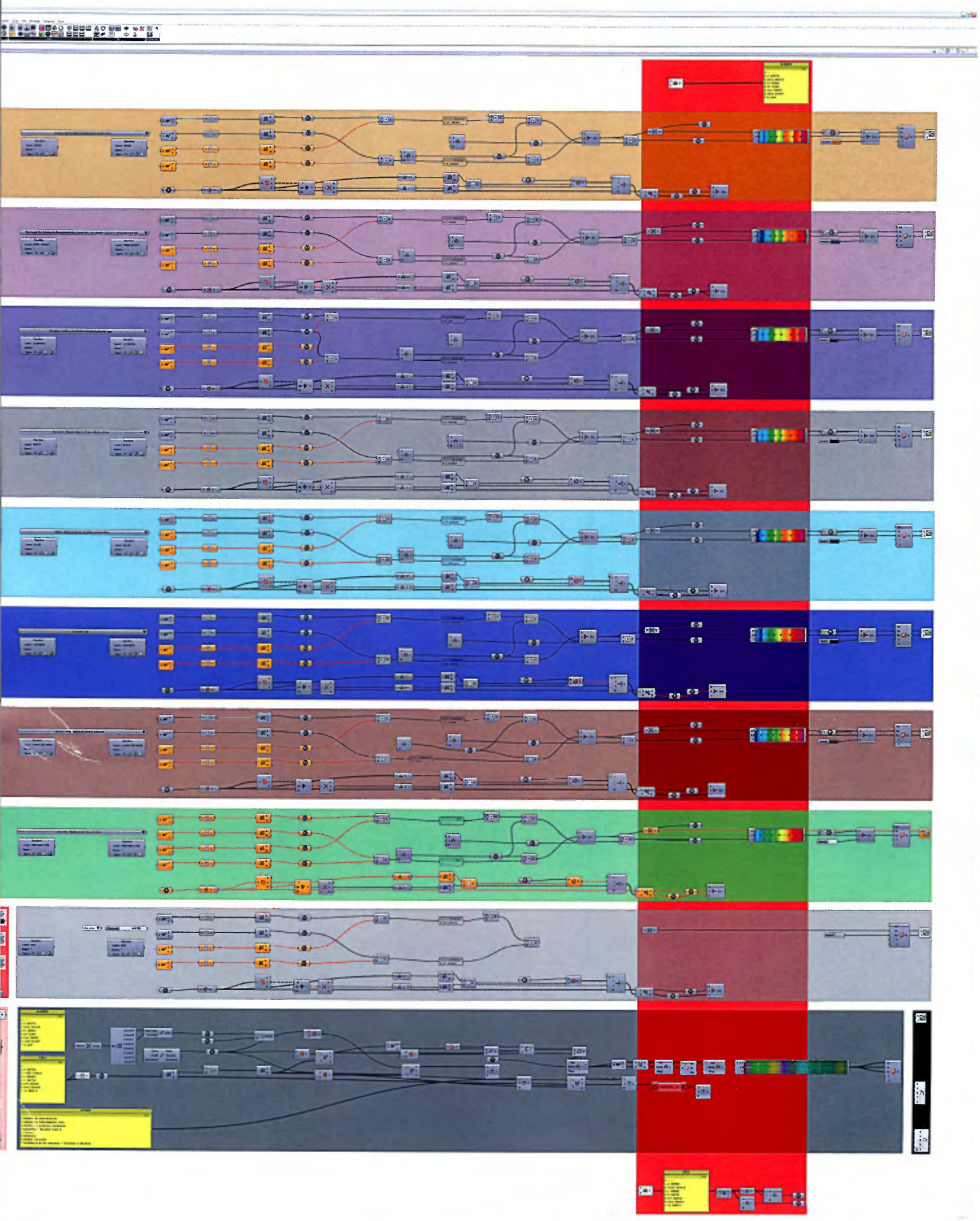


Gráfico 01. Definición de herramientas en Rhinoceros. Elaboración propia.



Capítulo VII

- Conclusiones

Conclusiones y Recomendaciones

Para condensar la información analizada a lo largo de la investigación, se estructuran las conclusiones y recomendaciones en 4 aspectos relacionados con el proceso de obtención de los factores de emisión:

-El panorama nacional y el papel de la industria en este
-El desempeño de los materiales en el sector construcción
-Implicaciones futuras del alcance de la investigación
-El arquitecto y (como) profesional de la construcción

En estas instancias se vuelve significativo el análisis de los factores de emisión comparativamente entre los nueve productos estudiados, para comprender como esta nueva entrada de información viene a contribuir en la toma de decisiones durante el proceso de diseño de una edificación.

El panorama nacional y el papel de la industria en este

El enfoque de producto y la trazabilidad que este implica, permite visualizar para el proceso de producción de cada material, que tanto sucede en territorio nacional y que tanto fuera de este.

La importación de varias materias primas es necesaria, sobre todo porque Costa Rica no cuenta con capacidad de extracción de ciertos materiales. Sin embargo, en algunos casos, lo que se importa, resulta ser un producto casi terminado, al cual se le realizan procesos físicos para transformarlo según la demanda del mercado con variaciones en cuanto a dimensiones o acabados superficiales, no así en su composición química.

Además, cómo se observa en el gráfico 64, no todo lo nacional necesariamente implica que suceda dentro de la fábrica, los transportes y obtención de determinadas materias primas se dan por partes externas a la misma.

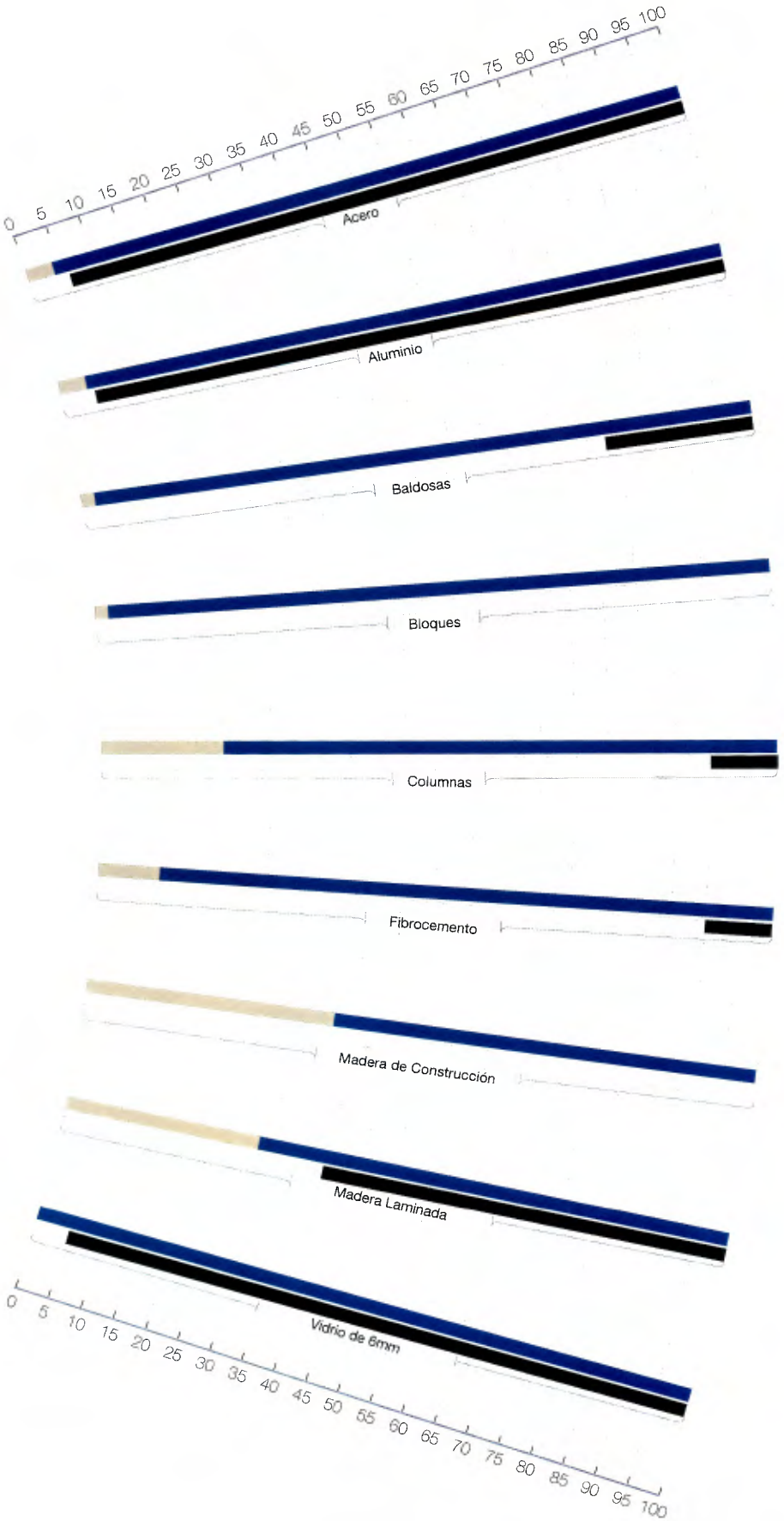
Esto acentúa la diferencia entre obtener factores de emisión por producto y factores de emisión por organización, y la necesidad de hacer un cambio de perspectiva en la manera en que se está planteando el tema de la carbono neutralidad en el país; ya que aunque las emisiones no se produzcan directamente en suelo nacional, se está generando demanda de un producto que implica el desarrollo de procesos contaminantes en otras partes del mundo, que a fin de cuentas afectan a la población mundial en su totalidad.

Durante la investigación, para situaciones como la anterior, se tuvo que recurrir a bases de datos internacionales para la obtención de los valores necesarios para el cálculo; y aunque son bastante representativos, puede que no reflejen con completa exactitud la realidad contextual del país.

Por eso, se vuelve relevante que las industrias evalúen si esa importación es realmente necesaria para concretar la obtención de sus productos, o si en su defecto existe la posibilidad de establecer procesos de producción a nivel nacional que las vengan a sustituir. Dicha evaluación permitiría tomar una decisión más consciente al sopesar si se generan menos emisiones por la producción nacional o por el transporte internacional.

En caso de que sí se determine la necesidad de realizar importaciones, es trascendental que cada una de las industrias ahonde en la obtención de información referente a la procedencia y de factores asociados a estas materias primas, que les permitan hacer la selección a partir de parámetros que van a incidir directamente en el factor de emisión final del producto.

Esto también debería ir más allá de la responsabilidad de las empresas, sería un gran aporte contar con políticas país que obliguen a los productores internacionales a brindar este tipo de información, y de esta manera colaborar con las empresas para que tengan un panorama más claro de lo que utilizan y se favorezca el posicionamiento en suelo nacional de productos bajos en emisiones.



emisiones internacionales

emisiones fuera de planta

emisiones en planta

Asimismo, hay que tener especial cuidado con respecto al transporte internacional. Como se muestra en el gráfico XXX, representa un alto porcentaje que se establece a lo externo del país, pero actualmente ninguna de las partes, la exportadora o la importadora, asumen responsabilidad por las emisiones correspondientes. Es un tema que se encuentra en discusión en el ámbito de las comisiones respectivas, y dependiendo de la pauta que se brinde al respecto, puede implicar cambios en el panorama que se está estudiando.

A pesar de que cada uno de los materiales incluidos en el presente estudio tiene características muy diferentes, se encontraron en los resultados semejanzas en el comportamiento de las fuentes de procedencia de las emisiones que constituyen el factor de emisión. En el gráfico 65 se observan los porcentajes de las categorías extracción y procesamiento de materias primas, transporte internacional, transporte nacional, consumos eléctricos, consumos de combustible, combustión y descomposición y en el caso de la madera, absorción.

Se hace claro el impacto que tiene la obtención de las materias primas en el factor de emisión total para cada uno de los productos. En general, las emisiones asociadas a este rubro representan los porcentajes más elevados dentro de cada material y son procesos que suceden fuera de las puertas de la empresa y en algunos casos fuera del país. Obtener datos más exactos de procedencia, extracción y producción de las materias primas, debe plantearse como una meta a corto plazo, por el valor que aportarían al contextualizar aún más los resultados.

También hay que notar en el caso específico del porcentaje que representa el consumo eléctrico, que implican la mayoría de los procesos que suceden en territorio nacional; no genera mayores emisiones debido a que la energía eléctrica en nuestro país es obtenida principalmente de fuentes renovables. Escenario que variaría en gran manera en cualquier otro país con una matriz energética diferente.

El análisis de este panorama se convierte en un insumo para el sector construcción, en especial para las empresas involucradas, al atribuir las emisiones a actividades específicas, para identificar tendencias y patrones que conduzcan a establecer estrategias de mitigación de los GEI.

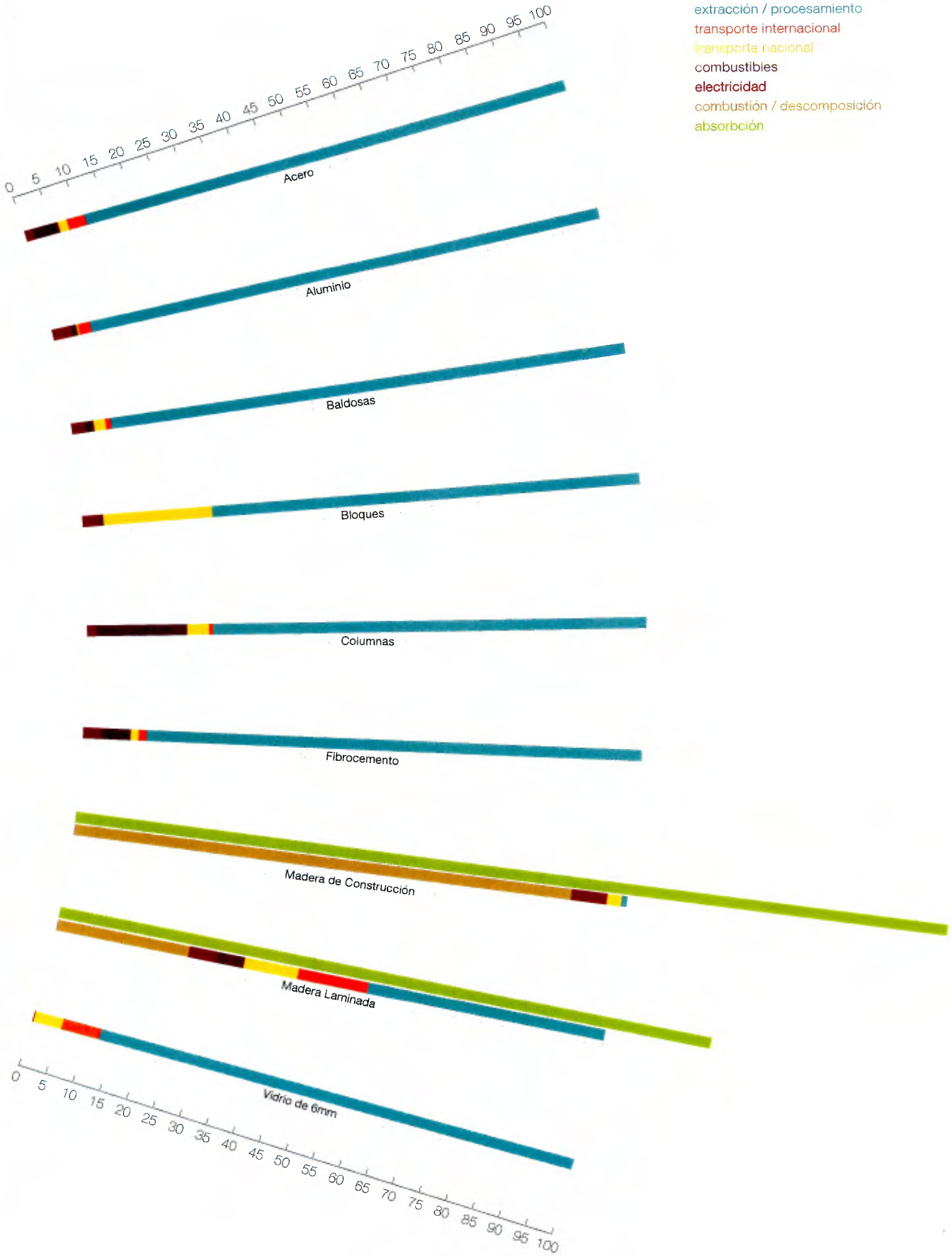
El desempeño de los materiales en el sector construcción
Antes de tomar posición sobre cuál material es mejor sobre otro, al comparar directa y solamente el factor de emisión en su valor nominal de toneladas o kilogramos, hay que considerar que constructivamente hablando, los materiales van más allá de una unidad de peso estandarizada. Para establecer resultados y recomendaciones acordes al gremio del profesional en arquitectura y de la construcción en general, es importante considerar otras variables relacionadas con el quehacer constructivo como tal.

Cada uno de los materiales estudiados forma parte de sistemas constructivos. Esta condición de conjunto, hace que el análisis deba verse más allá del bloque de concreto por ejemplo, pues este implica varilla de acero y morteros; así como el vidrio con el marco de aluminio o madera y así se pueden lograr varias asociaciones.

Sumado a lo anterior, está la proporción con que se utiliza un material con respecto a otro y la relación de esta con la densidad de las unidades de mercado; es decir el espacio que logran abarcar en concordancia con su peso y las emisiones respectivas. Retomando el ejemplo del sistema de ventanería, se necesita mucho más vidrio para cubrir un área determinada, en comparación a la cantidad de aluminio requerido para su perímetro.

Además, cada material presenta condiciones de uso específicas dentro de las posibilidades funcionales que se dan en una edificación, sean estas estructurales o de cerramiento; relacionadas directamente con las calidades espaciales que el cliente y el profesional deseen brindar a determinados espacios. Elementos livianos de fibrocemento generan sensaciones distintas a un espacio confinado por paredes de bloques, madera o bien elementos translúcidos.

Así entonces la escogencia de los materiales a utilizar debe


extracción / procesamiento
transporte internacional
transporte nacional
combustibles
electricidad
combustión / descomposición
absorbción
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100
Acero
Aluminio
Baldosas
Bloques
Columnas
Fibrocemento
Madera de Construcción
Madera Laminada
Vidrio de 6mm
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

ser el resultado de un conocimiento técnico acerca de las propiedades que estos presentan y su posible combinación debe derivar también en una escogencia acorde a las políticas y necesidades de reducción de emisiones que se presentan en la actualidad.

-Implicaciones futuras del alcance de la investigación

El auge de nuevas investigaciones cuyos alcances aborden etapas posteriores del ciclo de vida de los materiales, permitirán tener un panorama más claro acerca de criterios concretos sobre las ventajas o desventajas de la utilización de uno u otro material.

La aplicación de la metodología de ACV en edificios conlleva planificación de estrategias de ecoeficiencia: la identificación de oportunidades para mejorar los impactos medioambientales, el establecimiento de prioridades para el diseño ecológico o la eco-rehabilitación de edificios, la selección adecuada de proveedores de materiales constructivos y equipos energéticos, el establecimiento de estrategias y políticas fiscales para gestionar los residuos de la construcción y el transporte de materiales.

A pesar de que la presente investigación brinda un panorama real y consecuente con los procesos de obtención de materiales en suelo costarricense, en el contexto de construcción nacional, influyen más aspectos que las emisiones embebidas en la fabricación de los productos.

Es importante que se consideren factores posteriores a las puertas de las fábricas, tales como la complejidad de instalación de los sistemas constructivos en sitio, acabados, la vida útil relacionada con la durabilidad y el mantenimiento correspondiente, la posibilidad de reciclaje o los métodos necesarios para su disposición final. Todos estos aspectos vienen a sumar en el factor de emisión de los materiales en sí, y por consiguiente en la huella de carbono del proyecto. Por ejemplo:

- Producción del edificio:
  Materias primas
  Transporte
  Fabricación.

- Construcción del edificio
  Transporte
  Procesos on-site de construccion

- Uso del edificio:
  Mantenimiento
  Reparación y reemplazo
  Rehabilitación
  Consumo de energía final; calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria e iluminación.
  Consumo de agua

- Disposición final del edificio
  Deconstrucción
  Transporte
  Reciclado / reutilización
  Disposición final en vertedero / incineradora

Como se pudo observar en el caso de la madera, el factor de emisión al momento de que el producto sale de la empresa, tanto madera laminada como madera sólida para construcción, presenta un valor negativo. Sin embargo etapas posteriores podrían variar esta condición. La vida útil ronda entre los 20 y los 25 años, durante los cuales es necesaria la aplicación constante de resinas que conllevan procesos generadores de emisiones.

Y para poder validar la absorción que logra la madera, es necesario un estudio para comprobar la sostenibilidad de los métodos de tala y extracción.

Mientras que los elementos que se trabajan en aluminio, que tiene el factor de emisión más alto por tonelada al momento de finalizar su producción como perfil, pueden alcanzar una vida útil de hasta 60 años, con mantenimiento mínimo, sumado al hecho de que tiene una capacidad de reciclaje cercana al 100%.

Aunque al presente en nuestro país, para que el reciclaje de los materiales de construcción sea posible, es necesario promover

un cambio radical en el diseño de los edificios, de forma que se favorezca el desensamblaje de los materiales constructivos al final de su vida útil.

Además, es preciso fomentar la revisión constante de los datos, tanto de los obtenidos en la investigación como los futuros; la relevancia que está adquiriendo esta temática, ya está provocando cambios en las políticas empresariales y hasta nacionales al respecto, que conllevan variaciones en la tecnología utilizada, mejoramiento de los procesos y por consiguiente, alteraciones en el factor de emisión.

-El arquitecto como profesional de la construcción

El arquitecto, como profesional integral, debe aprovechar esta información, sobre todo por el valor agregado que tiene de ser una medición real y en el ámbito nacional; y jugar con ella: explorar las variaciones tanto en dimensionamiento como proporción en el uso de los materiales a la hora de tomar decisiones sobre el diseño de los elementos edilicios, para conseguir el inventario de CO_2 más idóneo acorde al tipo de proyecto.

Porque la utilización de cualquier material va a tener una consecuencia directa con respecto a la huella de carbono, entonces un accionar responsable debe enfocarse tanto en la proyección de espacios habitables que satisfagan de manera adecuada las necesidades de los usuarios, como en propuestas que prescindan de elementos o dimensiones innecesarias, para no utilizar más cantidad de material con sus respectivas emisiones.

Y las decisiones que se toman al inicio de la vida de un edificio, durante las etapas de factibilidad, planeamiento y diseño, que vienen a coincidir con los ámbitos en los que tiene más injerencia el arquitecto; dictan la pauta para el desarrollo de la construcción, operación y posible demolición o reutilización del edificio.

Es importante recalcar que es más fácil prevenir y minimizar las emisiones potenciales de todos los procesos involucrados aprovechando la información brindada en esta investigación en el momento adecuado, cuando se están acordando presupuestos, evaluando las necesidades de personal o proveedores hasta el impacto de la construcción en el medio ambiente local.

Así se evita la práctica que conlleva tratar de corregir la producción de emisiones iniciales y continuas en el período en que se están generando, interrumpiendo el trabajo de los contratistas y otro personal involucrando, generando atrasos adicionales a los imprevistos que suelen suceder.

Consecuentemente, el profesional debe mantenerse actualizado, tomar conciencia de cómo cambian las necesidades globales del contexto y por ende del usuario, y que es necesario para mantenerse vigente en el mercado, tener acceso a conocimiento especializado para hacerle frente con criterio a los cambios.

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

Referencias

Arguedas, M. (Jun, 2012) La huella de Carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Revista Forestal Mesomamericana Kurú, 51-59. Tomado de http:// www.tec-digital .itcr.ac.cr/ servicios/ojs/index.php/kuru/article/.../302.

Association Bilan Carbone. (s.f.) Página Principal Association Bilan Carbone. Obtenido de http://www.associationbilancarbone.fr/ en.

Centro de Transferencia Tecnológica. 2003. Compendio de directrices para enseñanza en Ingeniería . 26p. Recuperado el 24 de Junio de 2014 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/ uploads/2007/04/comp-ing.pdf

Barquero, Marvin (2013, Marzo 8) Empresas adoptan sello carbón neutral para subir competitividad. La Nación. Obtenido desde http://www.nacion.com/archivo/empresas-adoptan-carbono-neutral-competitividad_0_1328067337.html.

Benjamín, J Masera, O. 2001. Captura de carbón ante el cambio climático. Madera y Bosques. 7(1):3-12.

Cámara Costarricense de la Construcción (Enero 2013). Informe Económico del Sector Construcción. Recuperado de: http:// www.construccion.co.cr/mailings/direccion_tecnica/inf_eco_ ene_2013.pdf

Campos, I. Méndez, H. Salas, M. (s.f.). Calculadora Huella de Carbono para edificaciones o viviendas. Obtenido de http://boletin-iccyc.com/files/files/ ARTICULO%20ABRIL%20 Calculador%20Huella%20 de%20Carbono%20para%20 Edificaciones(1).pdf

Carrilo, V, J Pflieger, and Tianyin Sun. "Life cycle Assessment of Float Glass." PE International AG, Glass of Europe, 2011. Recuperado de: http://www.glassforeurope.com/

Castro, J.P. (2012) Huella de carbono, para la construcción de una nueva delegación policial, en León XIII (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, C.R.

CEMEX (2010, Dec 07) CEMEX Unveils Carbon Footprint Tool; First in Industry to Measure and Disclose Carbon Content of its Key Products. Business Wire. Tomado de http://search. proquest. com/docview/816344684?accountid=28692

Chen, D, M Syme, S Seo, W.Y Chan, M Zhou, and S Meddings. "Development of an Embodied CO2 Emissions Module for AccuRate." Forest & Wood Products Australia, Melbourne, Australia, 2010.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos .(2010). Código Sísmico de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s.f.). Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones en América Latina. Obtenido desde http://www. eclac.org/dmaah/noticias/noticias/9/40559/ Metodolog%C3%ADas_de_c%C3%A1lculo_HC_y_ implicaciones_AL.pdf

Department for Business, Innovation and Skills. United Kingdom. (2010) Estimating the amount of CO2 emissions that the construction industry can influence. Londres: Autor. Obtenido desde (http:// webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www. bis.gov.uk/policies/business-sectors/construction/ sustainable-construction)

Divya Pandey, Madhoolika Agrawal, Jai Shanker Pandey (2010, Sep). Carbon footprint: current methods of estimation. Tomado de Springer Science+Business Media B.V. 2010.

Empresas y organizaciones en busca de la validación Carbono Neutral. http://cambioclimaticocr. com/2012-05-22-19-47-24/ empresas-y-organizaciones-hacia-la-carbono-neutralidad-2021

Forest & Wood Products Research &Development Corporation (1998). Life Cycle Assesment . Consultado el 24 de abril de 2015 de http://www.foresteducation.com/index.php/industry/ C285/

Eternit AG. "Environmental Product Declaration, according to

ISO 14025, Facade panels and flat sheets Textura / Natura, Eterplan." Institut Bauen und Umwelt e.V., 2007.

Forest & Wood Products Research &Development Corporation (1998). Life Cycle Assesment . Consultado el 24 de abril de 2015 de http://www.foresteducation.com/index.php/industry/C285/

FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Situación de los Bosques en el mundo. Cuestiones seleccionadas de interés en el sector forestal. Roma, IT. 74-99

FAO (Food and Agriculture Organization). 2009. Los bosques y el cambio climático: Integrar las cuestiones sobre el cambio climártico a las actividades fundamentales del sector forestal. Roma, IT. s.p.

Global Construction Perspectives & Oxford Economics. (2013) Global Construction 2025 Graphs Package. (Versión Electrónica) Londres:Autor.

González, Andrea (2012, junio 6). Un respiro al ambiente. La República. Obtenido desde https:// larepublica.net/app/cms/www/index.php?pk_ articulo=5327992

Greenhouse Gas Protocol. (s.f.). Página principal Greenhouse Gas Protocol. Obtenido de http:// www.ghgprotocol.org/

Guerra, L. (2007) Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (Tesis de Posgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, C.R.

"Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial: Rojubro Productos de Cemento y Hormigón." COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGION METROPOLITANA, Santiago, 1998.

Hammond, Geoff, and Craig Jones. "Inventory of Carbon y Energy (ICE). Version 2.0." Departament of Mechanical Engineering, University of Bath, UK, 2011.Recuperrado de: http://www.ecocem.ie/.

Instituto Metereológico Nacional. (s.f.). Factores de emisión de gases efecto invernadero. Obtenido de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/ documentos/factores_emision_gei_0.pdf

Instituto nacional de Estadísticas y Censos. (2011) VI Censo nacional de vivienda, Caracteristicas de las viviendas. Recuperado de http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx

INTECO. (2006) Norma INTECO ISO 14064. San José:Autor

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2004) Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. Cambridge University Press, New York.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage. New York: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel On Climate Change.(1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Braknell, UK. 491 p. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/

Intergovernmental Panel On Climate Change.(2003). Good Practice guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Eds. J Penman; M Gytarsky; T Hiraishi; T Krug; D Kruger; R Pipatti; L Buendia; K Miwa; T Ngara; K Tanabe; Fabian Wagner. IGES. Hayama, JP. 595 p.

Intergovernmental Panel On Climate Change. (2006). IPCC Guidelines for National
Green House Gas Inventories. Volume 4.

ISO (International Organization for Standarization). 2008a. ISO 14064-1:2006 (en línea).
Consultado 5 mayo 20014.
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38381

Escuela de Arquitectura Universidad de Costa Rica

ISO (International Organization for Standarization). 2008b. ISO 14064-2:2006 (en línea). Consultado 5 mayo 20014. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38382

ISO (International Organization for Standarization). 2008c. ISO 14064-3:2006 (en línea). Consultado 5 mayo 2014. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38700

Jaques, R.A. "Study Report No. 132 2004, Environmental Inventory of Three Common New Zealand Composite Sheet Materials-A Preliminary Study." Branz Building on Knowledge, 2004.

Kawecki, L. (2010) Environmental Performance of Modular Fabrication: Calculating the Carbon Footprint of Energy Used in the Construction of a Modular Home (Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy). Arizona State University.

Kreimer, M. Arnold, A. Carlin. (2003) Building Safer Cities: The future of disaster risk. The World Bank, Washington DC
Mah, D., Juan, D. M., Yu, H., Mohamed Al- Hussein, & Nasseri, R. (2011). House Construction CO2 Footprint Quantification: A BIM approach. Construction Innovation, 11(2), 161-178. Landmark Group of Builders, Toronto Tomado de http://dx.doi.org/10.1108/14714171111124149

Lizarralde Torre, I, and M Broto Cartagena. "La huella de carbono de productos de madera: herramienta de competitividad para la industria." Sociedad Española de Ciencias Forestales, 6 Congreso Forestal Español, España, 2013.
Llorente Díaz, Isabel. "ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA VENTANA DE MADERA." Tesis de grado, Escuela Uiversitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2011.

López Cabrera, Carlos M. "Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero Reporte para los Años 1998 y 2000." AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE. CUBA, Instutituto de Meteorología, Santo Domingo , 2006.

Mah, D., Juan, D. M., Yu, H., Mohamed Al- Hussein, & Nasseri, R. (2011). House Construction CO2 Footprint Quantification: A BIM approach. Construction Innovation, 11(2), 161-178. Landmark Group of Builders, Toronto Tomado de http://dx.doi.org/10.1108/14714171111124149

Marketwire (2011). Plastics in building and construction: Lowering our carbon footprint. Tomado de http://search.proquest.com/docview/8 87963351?accountid=28692

Ministerio de Hacienda. (2011). Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva. Recuperado de: https://www.msj.go.cr/SiteAssets/conozca_su_ciudad/TIPOLOG%C3%8DA%20PUBLICADA%202011.pdf

Observatorio de la sostenibilidad en España (OSE). (s.f.). Enfóques metodológicos para el cálculo de la huella de carbono. Madrid, Autor. Obtenido de http:// www.blog.criterio-sostenible.com/wp-content/ uploads/2011/12/2011-09-OSE-ESP-Enfoques-metodol%C3%B3gicos-para-el-c%C3%A1lculo-de-la-Huella-de-Carbono-60p..pdf

Priesnitz, W. (2007, Sep). A house with a neutral carbon footprint. Natural Life, 14-15. Tomado de http://search.proquest.com/docview/213053648? accountid=28692

Programa Estado de la Nación. (2006). Evolución y Estado Actual del Sector Construcción: Impacto en la Economía Nacional y Desafíos. (Décimo tercer informe). Recuperado de: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/013/Sector-construccion.pdf
Programa Estado de la Nación, (2011) Decimoséptimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.

Programa País, Costa Rica Carbono Neutral hacia el año 2021. Obtenido desde http:// cambioclimaticocr.com/index.php/2012-05-22- 19-47-24/programas/programa-pais .

Regina, Kattia. Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera." Tesis para opta or el grado de Doctor en Arquitectura y doctor en Ingeniería, Departamento de Construcciones Arquitectònicas: Programa Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura, Universidad Politécnica de Cataluña y Universidade de São Paulo, Barcelona, 2014.

Santillàn, Paola Alexandra. "Determinaciòn de la huelle de carbono bajo las consideraciones de la norma ISO 14064 en el àrea de acería de la empresa metalúrgica ecuatoriana ADELCA C.A." Tesis de grado para optar por el tîtulo de Ingeniero Industrial, Facultad de Mecánica: Escuela de Ingienería Industrial , Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamaba – Ecuador, 2014.

Skidmore, Owings & Merrill LLP (2013) Patent Issued for Carbon Footprint Analysis Tool for Structures. . Journal of Engineering, 1431. Tomado de http:// search.proquest.com/docview/1427821682?acco untid=28692

The Aluminum Association. "The Enviromental Footprint of Semi-Finished Aluminum Products in North America." A Life Cycle Assessment Report, The Aluminum Association, 2013. Recuperado de: http://www.aluminum.org/.

United Nations.(2008). Debate temático de la Asamblea General: La lucha contra el cambio climático: Las Naciones Unidas y el mundo en acción (en línea). Consultado 5 mar 2008. http://www.un.org/spanish/aboutun/organs/ga/62/president/62/background_climatechange
.shtml

United Nations Enviroment Program (UNEP). (2009) Buildings and Climate Change. (Version Electrónica) Paris:Autor

UNFCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 2008. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (en línea). Consultado 5 mar 2008. Disponible http://cdm.unfccc.int/Projects/index.html

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bonn, AL.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 1992b. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Articulo. Bonn, AL.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 1992c. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Articulo 7. Bonn, AL.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 1998a. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Artículo 3. Bonn, AL.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 1998b. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Articulo 12. Bonn, AL.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 2001. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su séptimo período de sesiones, celebrado en Marrakech
(sic) del 29 de octubre al 10 de noviembre de 2001. Adición, Segunda parte. Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes. 3:1-68.

UNFCCC (United Nations for Climate Change Convention, AL). 2005. Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol. CMP/2005/8/Ad1, 3/CMP.1 16 p.

WRI (World Resources Institute). 2005. The Green House Protocol: The GHG Protocol for Project Accounting. Washington, US. 143 p.

WRI (World Resources Institute). 2006. The Green House Protocol: The Land Use, Land-Use Change, and Forestry Guidance for GHG Project Accounting. Washington, US. 95 p.

Glosario

ESPAÑOL	SIGNIFICADO	INGLÉS	SIGNIFICADO
ACV	Análisis Ciclo de Vida		
AFOLU	Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra	AFOLU	Agriculture, Forestry and Other Land Use
AP	Edificio de Apartamentos en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
BSI	Institución Británica de Normalización	BSI	British Standards Institution
°C	Grados Centígrados		
CCC	Cámara Costarricense de Construcción		
CCCC	Consejo Centroamericano de Cambio Climático		
CEPIS	Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias		
CERs	Certificado de Reducción de Emisiones		
CFCs	Clorofluorocarbones		
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos		
CH_4	Gas Metano		
CMCC	Convensión Marco sobre el Cambio Climático		
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático		
C-neutral	Carbono Neutral		
CNPE	Centro Nacional de Planificación Eléctrica		
CÑ	Cabaña en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
CO	Monoxido de Carbono		
CO_2	Dióxido de carbono		
CO_2e	Dióxido de Carbono Equivalente		
COP	Conferencia de las Partes (Máxima autoridad de la convención macro sobre el cambio climático)		
CP	Conferencia de las Partes		
DAES	Departamento de de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas	DESA	Department of Economic and Social Affairs

DCC	Dirección de Cambio Climático		
DEFRA	Departamento del Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido		
EICV	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida		
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático		
F.O.D.A.	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas		
GEI	Gases de Efecto Invernadero	GHG	Green House Gases
GIZ	Cooperación Internacional Alemana		
GWP	Potenciales de Calentamiento Global	GWP	Global Warming Potentials
HC	Huella de Carbono		
HE	Huella Ecológica		
HFC	Hidrofluorocarbonos		
I.C.E. Bath	Inventario de Carbono y Energía, Universidad de Bath	I.C.E. Bath	Inventory of Carbon and Energy, University of Bath
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad		
ICV	Inventario del Ciclo de Vida		
IMN	Instituto Meteorológico Nacional		
INCOFER	Instituto Costarricense de Ferrocarriles		
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos		
IPCC	Panel Inter Gubernamental sobre Cambio Climático	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kg	Kilogramo		
$kgCO_2e$	Kilogramos de Dióxido de Carbono Equivalente		
kW	Kilowatts		
kWh	Kilowatts hora		
L	Litros		
LPG	Gas Licuado del Petróleo	LPG	Liquefied Petroleum Gas
m	Metro		
m^3	Metro Cúbico		
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio	CDM	Celan Development Mechanism
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía		

MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos		
N_2O	Óxido Nitroso		
Na_2CO_3	Carbonato Sódico		
NAMAS	Acciones Nacionales Apropiadas de Mitigación		
NF_3	Trifluoruro de Nitrógeno		
NMVOC	Otros Hidrocarburos Volátiles Diferentes del Metano		
NOx	Óxidos de Nitrógeno		
OCIC	Oficina Costarricense de Implementación Conjunta		
OMM	Organización Meteorológica Mundial	WMO	World Meteorological Organization
ONF	Oficina Nacional Forestal		
PAS	Verificación de la Huella de Carbono	PAS	Publicly Available Standards
PFC	Perfluorocarbono		
PIB	Producto Interno Bruto		
PMT	Pulgadas Madereras Ticas		
PND	Plan Nacional de Desarrollo		
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo		
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente	UNEP	United Nations Environment Programme
ppm	Partículas por millón		
PTAI	Planta de Tratamiento de Aguas Industriales, en contexto de empresa productora de varilla de acero		
PVC	Policloruro de Vinilo		
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo		
SF_5CF_3	Trifluorometil penta fluoruro de Azufre		
SF_6	Hexafluoruro de Azufre		
SO_2	Dióxido de Azufre		
ton	Tonelada		
tonCO_2e/ton	Tonelada de Dióxido de Carbono equivalente por tonelada		
UCC	Unidades Costarricenses de Compensación		
UK	Reino Unido	UK	United Kingdom

UNFCCC	Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático	UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VA	Vivienda Adobe en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VB	Vivienda Bambú en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VC	Vivienda Concreto en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VH	Vivienda Bahareque en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VM	Vivienda Madera en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VS	Vivienda Muro Seco en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		
VV	Vivienda Vidrio en el contexto de Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda		