



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

ACV simplificado de la producción de hormigón en Chile
como base para el desarrollo de una guía DAP.

Jaime Andrés Espinoza Miranda

Tesis para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Construcción y/o al Título de
Ingeniero Constructor

Prof. Guía: Patricia Martínez Ramírez

Agradecimientos

Al finalizar este trabajo, deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que directa e indirectamente colaboraron en su elaboración. A la profesora Dr. Patricia Martínez Ramírez, dirijo especial gratitud por el apoyo personal e institucional que me ha entregado a lo largo de todo este trabajo. Su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios.

Agradezco a la Universidad de Valparaíso y a todas aquellas personas que conforman la escuela de Construcción civil por su cordial acogida y respaldo durante todo este período de convivencia, en especial a Emperatriz Villanueva por ser la persona maravillosa que es conmigo, por escucharme, aconsejarme, retarme y guiarme en esta etapa de la vida.

Les doy gracias a mis padres Jaime y Nancy por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Carla y Nicolás por ser parte importante en mi vida y representar la unidad familiar.

A Carolina, por ser una parte muy importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Y a Dios por guiarme a lo largo de este proceso y de toda mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. Por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en los momentos de debilidad.

Jaime.

INDICE GENERAL

Glosario	8
Lista de abreviaturas.....	9
Lista de figuras	10
Lista de tablas.....	11
Resumen	12

ANTECEDENTES GENERALES

1.1	Introducción	14
1.2	Identificación del Problema.....	15
1.3	Objetivos de la Investigación	17
1.3.1	Objetivo Principal	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	Alcances y limitaciones de la investigación.....	17
1.5	Estructura de memoria.....	18

SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA DEL HORMIGON

2.1	Consecuencias de un desarrollo desmedido	20
2.1.1	La pobreza.....	20
2.1.2	Crecimiento	20
2.1.3	Supervivencia	20
2.1.4	Crisis económica	21
2.2	Definición de sustentabilidad y evolución del concepto	21
a)	Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo.....	21
b)	Agenda 21	22
c)	Declaración sobre los Bosques.....	23
d)	Convención sobre la Diversidad Biológica	23
e)	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	23

f)	Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación.....	23
g)	Protocolo de Kioto	24
h)	Cumbre de la Tierra de Johannesburgo	24
i)	Agenda 21 de la Cultura	24
2.3	Enfoques de la sustentabilidad	25
2.3.1	Los tres pilares de la sustentabilidad	25
2.3.2	Círculos de la Sustentabilidad	27
a)	Economía.....	27
b)	Ecología.....	27
c)	Política.....	28
d)	Cultura.....	28
2.4	Construcción sustentable	29
2.5	Panorama en el plano internacional en materia de construcción sustentable	31
2.5.1	DAP y principales sistemas de certificación de edificios	33
2.6	Panorama en el plano nacional en materia sustentable.....	34
2.6.1	Evaluación del desempeño ambiental y enfoque sustentable en Chile.....	35
2.6.2	Gobierno y gestión ambiental.....	38
2.6.3	Emisiones de gases efecto invernadero e impactos del cambio climático.....	42
2.6.4	Valoración de residuos a nivel nacional.....	44
2.6.5	Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile.....	46
2.6.6	Certificación Edificio Sustentable.....	47
2.6.6.1	Categorías de certificación	49
2.6.6.2	Estructura general.....	49
2.6.6.3	Beneficios de CES.....	50
2.7	El ciclo de vida de un producto	51
2.8	Requerimientos y demanda de hormigón en Chile.....	52
2.8.1	Producción de cemento y hormigón en Chile.....	53

2.8.2	Perfil medioambiental de hormigón	55
-------	---	----

HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS PARA ELABORACIÓN DE GUÍA DAP

3.1	Introducción	58
3.2	Análisis de Ciclo de Vida	59
3.3	Etapas del Análisis de Ciclo de Vida	60
3.3.1	Definición de Objetivos y Alcances	60
3.3.2	Análisis de inventario del ciclo de vida.....	61
3.3.3	Evaluación de Impacto	62
3.3.4	Interpretación del ACV	65
3.4	Aplicaciones del análisis de ciclo de vida (ACV)	66
3.5	Declaración Ambiental de Productos	67
3.5.1	Procedimiento básico para el desarrollo y verificación de una DAP.....	69
3.5.1.1	Comprobación de la existencia de una RCP de referencia	69
3.5.1.2	Definición de objetivos, alcance y unidad funcional.....	70
3.5.1.3	Elaboración de Inventario de Ciclo de Vida.....	70
3.5.1.4	Evaluación del impacto ambiental.....	71
3.5.1.5	Redacción de informe de ACV.....	71
3.5.1.6	Redacción de la DAP	72
3.5.1.7	Verificación de la DAP	74
3.5.1.8	Síntesis objetiva de la información a desarrollar para una DAP	75
3.5.2	Principales ventajas para los usuarios de DAP.....	76

METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE UNA GUIA DAP PARA EL HORMIGON

4.1	Consideraciones generales	78
4.2	Recopilación de información bibliográfica a nivel nacional e internacional.....	80
4.3	Análisis crítico por componentes del hormigón	81
4.4	Clasificación de impactos en proceso de fabricación de hormigón.....	81
4.5	Reglas por Categorías de Producto (RCP)	81

4.5.1	Definición del Producto.....	81
4.5.2	Definición de unidad de análisis.....	82
4.5.3	Establecimientos de alcance y límites de sistema.....	82
4.5.4	Selección de procesos de manufactura para calificación y cuantificación de emisiones.....	82
4.5.5	Clasificación de límites operacionales por alcances de investigación.....	83
4.6	Categorías de impacto	84
4.7	Establecimiento de análisis de ciclo de vida simplificado del hormigón	84
4.8	Elaboración de formato de DAP para el hormigón en Chile	84

GUIA PARA EL DESARROLLO DE UNA DAP MEDIANTE ACV Y RCP DEL HORMIGON

5.1	Análisis crítico de componentes del hormigón.....	88
5.1.1	Fabricación de cemento y extracción de agregados pétreos	92
5.1.2	Aspectos ambientales del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos.....	93
5.1.3	Consumo energético del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos.....	94
5.1.4	Principales emisiones del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos.....	96
5.1.5	Síntesis de información para construcción de inventario de emisiones.....	100
5.2	Elaboración guía DAP.....	101
5.2.1	Conductas valoradas para la realización de una guía DAP en el proceso de fabricación de hormigón..	103
5.2.2	Resumen general para declaración ambiental de producto del hormigón	104
5.2.3	Reglas por Categorías de Producto (RCP) para el hormigón en Chile	105
a)	Definición del producto.....	105
a)	Descripción del producto y unidad declarada.....	105
b)	Etapas del ciclo de vida: Alcances y límites de sistema	105
c)	Selección de procesos de manufactura para calificación y cuantificación de emisiones.....	107
d)	Límites operacionales y su clasificación por alcance de investigación	108
5.2.4	Categorías de Impacto	109
5.2.5	Análisis de ciclo de vida simplificado de fabricación de hormigón	110
a)	Objetivos y Alcances.....	111

b)	Definición de directrices generales	111
5.2.6	Inventario de ciclo de vida del proceso de fabricación de hormigón	111
5.2.6.1	Alcance 1: Hormigón	112
5.2.6.2	Alcance 2: Hormigón	115
5.2.6.3	Alcance3: Áridos y Cemento	115
CONCLUSIONES DE LA MEMORIA INVESTIGATIVA		
6.1	Conclusiones	126
6.1.1	Conclusiones Generales	126
6.1.2	Conclusiones Especificas	128
6.2	Líneas futuras de investigación	132
	Bibliografía.....	133
	Referencias	1388

Glosario

Calentamiento Global: Corresponde al incremento de las temperaturas a nivel global, causado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ha generado cambios en los patrones del clima, aumentando el nivel del mar y la frecuencia e intensidad de los climas extremos.

Cambio Climático: Cambio del clima atribuido directamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Carbono Equivalente (CO₂ e): Unidad de medida usada para indicar el potencial de calentamiento global de los GEI, comparándolos con el Dióxido de Carbono (CO₂). Los gases de efecto invernadero distintos del CO₂ son convertidos a su valor de carbono equivalente (CO₂e) multiplicando la masa del gas en por su potencial de calentamiento global.

Efecto Invernadero: Es el proceso natural por el cual algunos gases que se encuentran en la atmósfera, retienen la radiación proveniente del sol y la re-emiten a la superficie de la tierra calentándola, lo que permite el desarrollo favorable de la vida en nuestro planeta. Este proceso se ha visto alterado por la acción antrópica, que ha contribuido al aumento en la atmósfera de los GEI, lo que ha incrementado considerablemente las temperaturas en el planeta.

Factor de Emisión (FE): Herramienta que permite conocer las toneladas de CO₂ equivalentes (T CO₂e), que se emiten a la atmósfera con el uso de diversos tipos de energéticos.

Gases de Efecto Invernadero (GEI): Gases presentes en la atmósfera de forma natural y antrópica, los que absorben y emiten la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases son: Dióxido de Carbono (CO₂), el Óxido Nitroso (N₂O), Metano (CH₄ y Ozono O₃).

Greenwashing: Acto de inducir a error a los consumidores en relación con las prácticas ambientales de una empresa o los beneficios ambientales de un producto o servicio, penalizando de forma rotunda información engañosa o sesgada.

Huella de Carbono: Es la medida de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan por una persona u organización durante el proceso de fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

Lista de abreviaturas

ACV	Análisis de ciclo de vida.
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method.
AENOR	Asociación española de normalización y certificación.
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COVs	Compuestos orgánicos volátiles
DAP	Declaración ambiental de producto.
EEA	European Environmental Agency
FE	Factor de emisión.
GWP	Potencial de calentamiento global.
GEI	Gases efecto invernadero.
ICV	Inventario de ciclo de vida.
IPCC	Panel intergubernamental de cambio climático.
ISO	International Organization for Standardization
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design.
MP	Material particulado
PA	Potencial de acidificación.
PE	Potencial de eutrofización.
RCP	Regla de categoría de producto.

Lista de figuras

Figura 2.1 – Los tres pilares de la sustentabilidad.....	25
Figura 2.2 – Los círculos de la sustentabilidad	27
Figura 2.3 – Línea de tiempo del desarrollo de herramientas de evaluación	31
Figura 2.4 – Actualización LEED v.4.0 en materiales y recursos.....	33
Figura 2.5 – Indicadores ambientales seleccionados.....	36
Figura 2.6 – Aumento de emisiones de GEI en línea con el crecimiento económico	41
Figura 2.7 – Metodología Certificación Edificio Sustentable	47
Figura 2.8 – Flujo genérico del ciclo de vida de un producto	50
Figura 2.9 – Composición volumétrica del hormigón.....	52
Figura 2.10 – Distribución regional de despachos de cemento año 2008	53
Figura 2.11 – Distribución regional de hormigón año 2008.....	53
Figura 2.12 – Ciclo de vida de un hormigón prefabricado.....	55
Figura 3.1 – Análisis de ciclo de vida en la construcción	57
Figura 3.2 – Fases y aplicaciones de ACV.....	59
Figura 3.3 – Esquema de recolección de datos	61
Figura 3.4 – Directrices necesarias para el correcto desarrollo de una DAP	74
Figura 4.1 – Metodología de estudio	78
Figura 5.1 – Proceso de fabricación de hormigón	89
Figura 5.2 – Metodología de análisis crítico	90
Figura 5.3 – Balance de materias en proceso de fabricación de hormigón	92
Figura 5.4 – Síntesis de información relevante para construcción de inventario	100
Figura 5.5 – Ciclo de vida de un edificio	105
Figura 5.6 – Proceso por etapas de fabricación de hormigón.....	105
Figura 5.7 – Potencial de calentamiento global.....	108
Figura 5.8 – Potencial de reducción de ozono.....	108
Figura 5.9 – Potencial de acidificación	108
Figura 5.10 – Potencial de eutrofización.....	109
Figura 5.11 – Potencial de creación de ozono fotoquímico	109
Figura 5.12 – Huella hídrica sector construcción.....	109

Lista de tablas

Tabla 3.1 – Categorías de impacto ambiental.....	63
Tabla 5.1 – Aporte energético teórico para proceso de cocción de materias	93
Tabla 5.2 – Resumen general para declaración ambiental de producto del hormigón.....	103
Tabla 5.3 – Emisiones en proceso de fabricación de hormigón – Alcance 1	107
Tabla 5.4 – Emisiones en proceso de fabricación de hormigón – Alcance 2.....	107
Tabla 5.5 – Emisiones en proceso de fabricación de áridos – Alcance 3.....	107
Tabla 5.6 – Emisiones en proceso de fabricación de cemento – Alcance 3.....	107
Tabla 5.7 – Consumo de materias y energía para fabricación de 1m ³ de hormigón.....	111
Tabla 5.8 – Material particulado en fabricación y transporte del producto.....	112
Tabla 5.9 – Emisiones generadas en el proceso de rotación de cuba mixer.....	112
Tabla 5.10 – Emisiones generadas en el transporte de hormigón a despacho.....	113
Tabla 5.11 – Consumo de recurso hídrico en planta de hormigón.....	113
Tabla 5.12 – Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta.....	114
Tabla 5.13 – Emisiones de material particulado en el proceso de extracción	114
Tabla 5.14 – Emisiones de material particulado en el proceso de procesamiento	115
Tabla 5.15 – Gases de combustión en motores diésel de maquinaria pesada	115
Tabla 5.16 – Gases de combustión en motores diésel por transporte.....	115
Tabla 5.17 – Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta.....	116
Tabla 5.18 – Consumo de recurso hídrico en planta de agregados pétreos.....	116
Tabla 5.19 – Consumo de materias primas en producción de 1m ³ de hormigón.....	117
Tabla 5.20 – Emisiones de material particulado en proceso de fabricación de producto.....	117
Tabla 5.21 – Emisiones al aire producto de producción de clínker y cemento	118
Tabla 5.22 – Clasificación de emisiones según efecto invernadero (calentamiento global)...	118
Tabla 5.23 – Clasificación de emisiones según potencial de acidificación.....	119
Tabla 5.24 – Clasificación de emisiones según potencial de eutrofización	119
Tabla 5.25 – Clasificación de emisiones según potencial de ozono fotoquímico	120
Tabla 5.26 – Gases de combustión de motores de camiones de transporte de materias	120
Tabla 5.27 – Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta.....	121
Tabla 5.28 – Consumo de recurso hídrico en planta de fabricación de cemento	121
Tabla 5.29 – Parámetros que describen los impactos medioambientales (Etapas A1-A4)	122
Tabla 5.30 – Parámetros que describen los recursos utilizados (Etapas A1-A4).....	122
Tabla 5.31 – Parámetros de otros impactos adicionales (Etapas A1-A4)	123

Resumen

El sector industrial del hormigón a nivel internacional sufre una profunda crisis siendo necesario para las empresas manufactureras ofrecer la máxima calidad en sus productos y servicios, además de diferenciarse de la competencia y reducir en la medida posible los costes operativos y al mismo tiempo que favorecer al máximo la fabricación de sus productos.

El concepto de sustentabilidad se introduce de forma creciente y transversal en la economía actual, el consumidor exige productos más sustentables e información cuantificada y rigurosa que respalde lo que se adquiere y a su vez las empresas manufactureras exigen a sus proveedores información ambiental de la materia utilizada para la manufacturación de sus productos. Es en este contexto donde el análisis de ciclo de vida y los servicios derivados de su implementación (declaraciones ambientales de producto, ecodiseño, huella de carbono, contabilidad ambiental de empresas, análisis y mejoras de procesos industriales) se establece como una herramienta de gran valor para aumentar la competitividad de las empresas mediante la mejora de su rendimiento ambiental con una comunicación cuantificada y objetiva de sus productos.

Es en este contexto que nace la idea de generar una guía sobre la declaración ambiental de producto para el hormigón implementando las herramientas mencionadas, la cual resalta la importancia de comunicar y reducir impactos ambientales de productos y servicios de manera objetiva y rigurosa.

El objetivo de esta guía es exponer el estado del arte, describir metodologías y dar a conocer temas relevantes para la industria de la construcción mediante la implementación de un análisis de ciclo de vida simplificado, la generación de una regla de categoría de producto y la comunicación de resultados mediante una declaración ambiental de producto para el material más utilizado en nuestro país en este último tiempo, el hormigón. Cabe señalar que los beneficios derivados de este análisis permiten reducir el uso de materia y energía, aumentar el valor añadido a productos y servicios, ayuda a la apertura de nuevos mercados y mejora sin lugar a dudas la imagen corporativa de la empresa.

El alcance de la información tratada en esta propuesta de guía de desarrollo para una DAP cubre a empresas nacionales del rubro del hormigón por lo que, si esta guía fuese utilizada para la generación de una DAP para otro producto, será necesario la modificación de parámetros y principales directrices que rigen a esta guía.

Palabras claves: hormigón, análisis de ciclo de vida simplificado, declaración ambiental de producto, regla de categoría de producto, reducir impactos, comunicación.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El cuidado y conservación del medio ambiente es el principal reto al que nos enfrentamos en los últimos años por los efectos producidos por la contaminación y el cambio climático. Los efectos que el desarrollo de la sociedad actual está provocando sobre el planeta comienzan a ser conocidos y cada vez son más las acciones dirigidas a paliar o evitar estos efectos negativos. Términos tales como “disminución de la capa de ozono”, “lluvia ácida”, “calentamiento global”, “desertización”, “gases efecto invernadero” y muchos otros, han pasado a formar parte de noticias y conversaciones (INE, 2015).

El deterioro que viene sufriendo el medio ambiente afecta seriamente a la naturaleza, en la que se aprecia elevados niveles de consumo de recursos naturales, incluyendo tierras fértiles, contaminación de la atmósfera y el agotamiento y/o contaminación de los recursos hidrológicos, todo ello es fruto principalmente de la intensa actividad humana. Sus consecuencias además de alterar el ecosistema, resultan en muchos casos perjudiciales para la salud humana o representan importantes pérdidas de calidad de vida en algunas zonas, lo que ha provocado una gran inquietud entre sectores representativos de nuestra sociedad.

Ante estas condiciones, los temas relacionados con la preservación del medio ambiente empiezan a movilizar importantes sectores sociales, tanto del ámbito gubernamental como de la propia sociedad civil. Las preocupaciones marcadas en otras épocas respecto al futuro se han sustituido por acciones que efectivamente buscan frenar parte de estos efectos negativos, causados por las actividades del hombre.

Esta nueva forma de actuar hacia un futuro, que se basa en los principios del desarrollo sustentable, está asumiendo también un carácter estratégico en ciertos sectores productivos, ayudándoles a conquistar nuevos mercados de una economía cada día más globalizada (Carvalho, 2001).

Desde hace más de una década los conceptos de Sustentabilidad, y otros términos asociados han influido progresivamente en los programas y planificaciones de todos los sectores de la sociedad, dando hincapié al sector de la construcción, desarrollándose el concepto de desarrollo sustentable.

La definición de desarrollo sustentable se establece como: El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (UN Documents, 1987).

En nuestro país, el desarrollo sustentable se ha introducido de manera que las industrias relacionadas con este rubro se adapten y respondan hacia el objetivo de un desarrollo sustentable a partir de distintos aspectos medioambientales, sociales y económicos. Sin embargo, esta iniciativa hace pocos años se comienza a desarrollar.

Por motivos señalados anteriormente surge el interés de relacionar temas tales como: materiales, aplicación de tecnologías, diseños, procesos constructivos, entre otros, con el ciclo de vida de estos. Es así que nace el interés de aplicar una herramienta capaz de analizar y entregar solución en el tiempo a las problemáticas ya mencionadas.

1.2 Identificación del Problema

El sector de la construcción es responsable de grandes aportaciones económicas y sociales a través de la producción de bienes y servicios. Este mismo sector empieza a reconocer la necesidad de sumar esfuerzos para producir sus productos de forma correcta y amigable con el medioambiente.

Históricamente este sector requiere un consumo elevado de materiales y energía, lo que consecuentemente, genera grandes cantidades de emisiones gaseosas, líquidas o sólidas contaminantes al medio ambiente. Así, para evaluar medioambientalmente el sector se requiere: reconocer, cuantificar y calificar tanto los recursos utilizados como las emisiones generadas en las diferentes etapas del proceso constructivo.

La utilización de materiales de construcción es importante para la concreción de inversiones, donde estos materiales provienen de fuentes naturales y que por medio de un proceso se transforman en productos. Dentro de los productos más utilizados podemos mencionar algunos como el acero, la madera, el hormigón, el cemento, áridos, ladrillos, entre otros.

En Chile, la demanda de hormigón durante el año 2015 fue de 4.75 millones de toneladas (CCHC, 2015). Las grandes cantidades de materias primas para la fabricación del cemento que se constituye básicamente por clinker y las grandes cantidades de combustibles necesarios para este fin producen un alto impacto ambiental, lo que se refleja en los cambios en la naturaleza. El principal cemento hidráulico que se utiliza en otros países es el cemento Portland, el cual es el causante del 5% al 7% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera (Ibaceta, 2004).

En Chile la producción masiva de cemento es el Portland Puzolánico, utilizando puzolanas naturales y artificiales, teniendo que un 83% de la fabricación nacional de cemento contiene puzolanas naturales y un 16% contiene adiciones de escoria de alto horno, por lo que se benefician los costos de producción y el medio ambiente, ya que se reduce la cantidad de dióxido de carbono por cada tonelada producida, es decir, si el porcentaje de puzolana es de 20% se está emitiendo un 20% menos de dióxido de carbono, además de consumir un 20% menos de energía por tonelada producida (Ibaceta, 2004).

Por lo que respecta a esta problemática y fundamentándose conceptualmente en el ciclo de vida del producto, existen diversas metodologías que permiten apoyar la gestión medioambiental de estos productos, procesos o servicios. Entre estas metodologías está el análisis de ciclo de vida (ACV), el cual ha demostrado una capacidad adecuada de valorar y evaluar los impactos potenciales al medio ambiente ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso, además se presenta como una herramienta efectiva y de apoyo a la gestión de los aspectos medioambientales.

En el caso de los productos derivados del cemento, a causa de su masivo empleo en la construcción de edificios, obras civiles o en distintas áreas de la construcción, intervienen numerosas variables en lo referente a su aspecto medioambiental, lo que implica una valoración sistemática y una evaluación ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida. Los resultados que se obtengan de esta evaluación ambiental serán fiables, representativos y reproducibles y constituirán gran parte del análisis del producto y consecuentemente debe ser agregado a las características medioambientales del componente o elemento a fabricar, permitiendo profundizar el conocimiento de sus propiedades, como uno de sus constituyentes o como uno de sus procesos de fabricación en cada fase de su ciclo de vida.

A raíz de todo lo expuesto, en nuestro país se está comenzando a incorporar el concepto de análisis de ciclo de vida de los productos en las industrias abocadas al rubro de la construcción, formando departamentos de gestión medioambiental y adaptándose a estándares internacionales que colaboraren con este contexto.

Se plantea este estudio con el objetivo de elaborar una guía para el desarrollo de una declaración ambiental de producto en el proceso de fabricación del hormigón a través de la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) simplificado y aportar a la creación de una base de datos de inventario nacional para normalizar nuestros productos y entregar información verificable.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo Principal

- Elaborar una guía para el desarrollo de una Declaración Ambiental de Producto (DAP) en el proceso de fabricación de hormigón en Chile, a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) simplificado, basándose en las metodologías estandarizadas para el desarrollo de una DAP.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir el proceso de fabricación del hormigón y establecer límites aplicados en diferentes sistemas de producción de hormigón.
- Proponer una regla por categoría de producto (RCP, o PCR por su sigla en inglés) para aplicar en el área del hormigón en nuestro país.
- Desarrollar pauta de entrega de información del análisis de ciclo de vida mediante una declaración ambiental de productos (DAP).

1.4 Alcances y limitaciones de la investigación

- Los resultados esperados al final de esta investigación serán exclusivos para nuestro país.
- Para el desarrollo de esta memoria solo se toma en cuenta la realidad de los procesos de extracción, procesamiento y fabricación que se ejecutan en nuestro país.
- Se ocupará solo información bibliográfica disponible, nacional e internacional.

1.5 Estructura de memoria

Para conseguir los objetivos propuestos se han desarrollado distintas temáticas, las cuales dan contenido a los diferentes capítulos de esta memoria. A continuación, se describe brevemente la metodología seguida en cada uno de ellos.

El capítulo uno se referirá a los aspectos generales entregando una introducción al tema de investigación. Se introduce una problemática ambiental, social y económica, Se definen objetivos de investigación y se hace referencia a los alcances y limitaciones a las que se registrará esta memoria.

El capítulo dos describe mediante un estudio bibliográfico antecedentes principales de la investigación, analizando la problemática ambiental relacionada con el crecimiento desmesurado de la sociedad y que repercute en los procesos y materiales de construcción elegidos en esta investigación.

El capítulo tres expondrá antecedentes del marco teórico de la memoria para relacionar la problemática ambiental con las herramientas de investigación. Se introducen conceptos como el análisis de ciclo de vida de los productos (elementos, componentes), la declaración ambiental de productos, buscando unificar estas herramientas y formar la base de metodología de investigación de esta memoria.

En el capítulo cuatro se plantea la metodología que se utilizará para la elaboración de una guía para DAP, tomando como punto de partida, pautas y resultados obtenidos en estudios anteriores de análisis, dando hincapié a los impactos potenciales originados por los aspectos medioambientales considerados en la producción del hormigón.

En el capítulo cinco se elaborarán reglas de categoría de productos y se complementará con la aplicación del análisis de ciclo de vida simplificado para aportar en la elaboración de pautas para el desarrollo de un inventario nacional de ciclo de vida de la fabricación del hormigón. Se busca integrar distintas variables de la producción, así como el comportamiento de subsistemas con respecto a los consumos de materias primas, energía y emisiones al aire que potencialmente generan impactos al medio ambiente, con el fin de generar una guía para una declaración ambiental de productos.

El capítulo seis y último de esta investigación presenta las conclusiones derivadas de los distintos trabajos realizados en función de los objetivos y la problemática propuesta inicialmente. Se presentarán en forma de conclusiones generales entregando respuestas a los objetivos planteados inicialmente y en forma de conclusiones específicas que obedecen a resultados concretos del trabajo realizado.

CAPITULO II: SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA DEL HORMIGON

2.1 Consecuencias de un desarrollo desmedido

A pesar que el desarrollo económico, industrial y tecnológico acontecido en los dos últimos siglos ha mejorado la calidad de vida de muchas personas en el corto plazo, este también ha implicado una serie de consecuencias negativas que ya se han ido desarrollando desde hace décadas, producto del consumo indiscriminado de recursos para satisfacer la creciente demanda de la población mundial. El informe Brundtland, elaborado por distintas naciones en 1987 para la ONU, llamado originalmente “Nuestro Futuro Común”, reconoce cuatro síntomas y causas originadas por el ritmo del desarrollo humano hasta la fecha:

2.1.1 La pobreza

Se observó un incremento de la pobreza mundial, personas que tienen acceso restringido a agua potable, higiene y calorías necesarias diarias, que por lo tanto conducen a contraer distintas enfermedades, causando muchas veces la muerte. La pobreza tiene un efecto devastador sobre el medio ambiente, ya que frecuentemente las personas destruyen su contexto inmediato para sobrevivir; deforestación de los bosques, sobreexplotación de la tierra de cultivo, sobreuso de tierras marginales y concentrándose en ciudades ya congestionadas.

Esta sobreexplotación de tierra tiene consecuencias aún más severas, como son en el incremento de desastres naturales como sequías e inundaciones, que finalmente resulta ser un círculo vicioso, ya que estos desastres toman a la mayoría de sus víctimas en los sectores más pobres.

2.1.2 Crecimiento

Es cierto que en algunos lugares la calidad de vida de las personas ha mejorado, pero esta mejora trae consigo el uso intensivo de materias primas y energía para la manufacturación de productos y tecnologías, generando una cadena de consecuencias que se hablarán en el próximo punto, pero lo más importante de esto es que al aumentar el consumo, aumentan los desechos y, por lo tanto, la contaminación.

2.1.3 Supervivencia

El punto anterior, sumado a los altos índices de crecimiento de la población, que lleva al uso indiscriminado de recursos, tiene como consecuencia una elevada acumulación de CO₂ en la atmósfera, causando lo que se conoce como calentamiento global. El mayor peligro de esto es el derretimiento de los hielos, que elevan el nivel del mar y podría llegar a inundar numerosas ciudades costeras. Otro síntoma del calentamiento global es la alteración de la producción agrícola, producto del cambio climático local y el avance de la desertificación.

2.1.4 Crisis económica

El desarrollo llevó a una rápida globalización, por lo que las crisis en una región del mundo se sienten también en otras. Cuando hay una contracción económica mundial, las naciones en vías de desarrollo y las más pobres son las más afectadas, ya que su economía depende de la exportación de productos primarios. Y al igual que en el caso de la pobreza, la crisis sobre naciones en desarrollo tiene un efecto sobre el medioambiente, por la sobreexplotación de recursos y tierra para asegurar la supervivencia en el corto plazo (ONU, 2002).

2.2 Definición de sustentabilidad y evolución del concepto

La sustentabilidad es un término que se puede utilizar en diferentes contextos, pero en general se refiere al desarrollo que satisface las necesidades de la población sin comprometer las generaciones futuras, buscando un equilibrio entre la acción económica, el respeto a los equilibrios ecológicos y el desarrollo social (Calvente, 2007). En la ecología, la sustentabilidad describe a los sistemas ecológicos o biológicos que mantienen su diversidad y productividad con el transcurso del tiempo.

El desarrollo sustentable es un proceso integral que exige a los distintos actores de la sociedad compromisos y responsabilidades en la aplicación del modelo económico, político, ambiental y social, así como en los patrones de consumo que determinan la calidad de vida.

Es una combinación de la sustentabilidad ecológica y socio económica y consiste en mantener un equilibrio entre la necesidad del ser humano de mejorar su situación física y emocional, y la conservación de los recursos naturales y ecosistemas que sustentarán la vida de la futura generación (Brundtland, 1987).

Uno de los eventos de gran importancia en el ámbito del desarrollo sostenible es la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también llamada “Cumbre de la Tierra”, celebrada en 1992 en Río de Janeiro. Esta cumbre contó con la presencia de 172 países, y se realizó con el fin de que cada nación adoptara modelos de crecimiento económico y social que fueran de la mano con la conservación de la naturaleza. Esta conferencia tuvo como resultado los siguientes documentos, agendas y convenciones:

a) Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

Se publicaron 27 Principios para guiar el desarrollo sostenible de las naciones del mundo (comisión mundial del medio ambiente, 1992). Algunos importantes donde se define qué y qué implica el desarrollo sustentable, son los siguientes:

- **Principio 1**

Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sustentable. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

- **Principio 2**

Los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y velar que las actividades realizadas no causen daños al medio ambiente de zonas que estén fuera de los límites de la jurisdicción nacional.

- **Principio 3**

El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras.

- **Principio 4**

La protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo.

- **Principio 5**

Todos los Estados y todas las personas deberán cooperar en la tarea esencial de erradicar la pobreza como requisito indispensable del desarrollo sustentable.

- **Principio 9**

Los Estados deberían cooperar en el fortalecimiento de su propia capacidad de lograr el desarrollo sustentable, aumentando el saber científico mediante el intercambio de conocimientos científicos y tecnológicos.

- **Principio 10**

El mejor modo de tratar las cuestiones ambientales es con la participación de todos los ciudadanos interesados, en el nivel que corresponda.

b) Agenda 21

Programa de acción social y económica que se relaciona directamente con el tema del desarrollo sustentable. No es jurídicamente obligatoria, sino que traza el camino para que los países orienten su desarrollo acorde a las propuestas hechas. La agenda 21 tiene 9 objetivos para mejorar la calidad social, económica y medioambiental de los asentamientos humanos:

- Proveer refugios adecuados,
- Mejorar el manejo de los asentamientos urbanos,
- Promover una planificación y manejo sostenible el uso de suelos,
- Erradicar la pobreza y elevar el nivel de vida,
- Mejorar la salud,
- Proporcionar acceso a energía y mejorar la eficiencia energética,
- Cambiar los patrones no sostenibles de producción y consumo,
- Promover las actividades de la industria de la construcción sostenible, y finalmente
- Desarrollo del recurso humano.

c) Declaración sobre los Bosques

Medidas de protección y desarrollo sostenible de los bosques. Esta declaración es la precursora para el cuidado y conservación de la flora de cada país, delimitando el uso de recursos.

d) Convención sobre la Diversidad Biológica

Acuerdo para resguardar el patrimonio biológico del planeta, promoviendo su uso sostenible y lograr una distribución equitativa de los beneficios de su uso (ONU, 1992a)

e) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Acuerdo para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático (ONU, 1992b).

f) Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación

Posterior a la “Cumbre de la Tierra” y la puesta marcha de la agenda 21, se creó la Comisión del Desarrollo Sostenible para monitorear y realizar un reporte acerca de la implementación de los acuerdos de la cumbre. El año 1997 se dio a conocer el primer reporte que entregó un escenario desalentador:

“Reconocemos que una serie de resultados positivos han sido logrados, pero nos preocupa profundamente que las tendencias generales respecto al desarrollo sostenible son peores de lo que eran en 1992. Insistimos en que la aplicación del Programa 21 en una manera integral sigue siendo de vital importancia y es más urgente ahora que nunca” (ONU, 1992c).

Dado estos resultados y puesto que los documentos firmados eran solamente acuerdos o convenciones y no compromisos, se comienzan a dar nuevos pasos para vincular a los países con nuevas responsabilidades.

g) Protocolo de Kioto

Adoptado en 1997 pero puesto en acción a partir del 2005, el Protocolo de Kioto es el motor de acción de la Convención sobre el Cambio Climático. A partir de los principios de la convención, este protocolo compromete a 37 países industrializados y la Unión Europea a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, dando por sentado que son los principales responsables del cambio climático, al ser los mayores quemadores de combustibles fósiles. De esta manera, el Protocolo posee un principio central: el de la «responsabilidad común pero diferenciada».

El Protocolo ha llevado a las naciones a establecer leyes y políticas para llevar a cabo sus compromisos, a las empresas a considerar el medio ambiente durante la toma de decisiones acerca de sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono. En esta ocasión, llamó la atención que Estados Unidos, mayor emisor de gases de invernadero mundial, ha sido el único país no ha ratificado el protocolo hasta la fecha de la elaboración de este estudio.

h) Cumbre de la Tierra de Johannesburgo

Esta cumbre llevada a cabo el 2002, 10 años después a su versión antecesora, tuvo como propósito reafirmar el desarrollo sustentable como el principal objetivo de la Agenda Internacional y entregar un nuevo impulso para la acción contra la pobreza y el resguardo del medio ambiente. Asistieron más de un centenar de jefes de estado, varias decenas de miles de representantes de distintas naciones, organizaciones no gubernamentales e importantes empresas para ratificar una mejor implementación de la Agenda 21.

i) Agenda 21 de la Cultura

En 2004 “Ciudades y Gobiernos Locales Unidos” aprueba una Agenda 21 de la cultura que relaciona los principios del desarrollo sustentable de la Agenda 21 con las políticas culturales. El desarrollo sustentable es un concepto muy amplio, que puede ser aplicado a cualquier tipo de proceso y actividad. La implementación de una política de desarrollo sustentable se realiza a largo plazo, al involucrar tantos actores de por medio. Actualmente, cada país es el que toma la decisión de cómo llevar a cabo las acciones para lograr ser más “sustentables”, se tienen metas y objetivos a lograr, pero estos acuerdos no explicitan modos de cómo hacerlo.

La evolución de la definición de la sustentabilidad a lo largo de los años, no se ha cambiado, sino que ha ido adoptando nuevos aspectos y matices. En un principio esta definición estaba centrada en la reducción del impacto ambiental, y paulatinamente se fueron agregando aspectos que involucran al bienestar social y económico. Estos aspectos debieran ir de la mano con el cuidado de la naturaleza, en otras palabras, el desarrollo de las naciones no debiera ir en desmedro del medio ambiente.

Finalmente, el concepto de desarrollo sustentable incluyó aspectos que intentan salvaguardar la cultura local, reconociendo que es un factor clave para el desarrollo humano.

2.3 Enfoques de la sustentabilidad

Con el estudio de la evolución de la definición de la sustentabilidad, se ha logrado comprender que son varios los factores que entran en juego para definir que es sustentable y que no muchas veces concuerda con lo que algunas naciones o corrientes de pensamiento toman en cuenta como factor de relevancia.

A continuación, se presentan distintos enfoques de cómo abordar o que es lo que implica un desarrollo sustentable, estos son enfoques que han sido acuñados en cumbres importantes u organizaciones mundiales, por lo que en ellas existe un consenso asociado.

2.3.1 Los tres pilares de la sustentabilidad

Los tres pilares son una evolución de la definición de sustentabilidad entregada en el informe Brundtland, descrito en la sección anterior. La primera vez que se nombran estos términos, no como enfoques de la sustentabilidad, sino como una teoría para transformar la economía, su objetivo era similar, en que el éxito de las empresas no sólo debía medirse de acuerdo al ingreso monetario, sino que también en su impacto en la comunidad y el medioambiente (Spreckley, 1981).

Luego estos aspectos fueron acuñados en conjunto, llamándolos Triple Bottom Line (Triple línea base) por John Elkington, una autoridad en responsabilidad corporativa y desarrollo sustentable, en 1994 donde define este concepto a través del conjunto de las tres P: Profit (fines de lucro), People (la gente) y “Planet” (el planeta). Su objetivo es medir el desempeño financiero, social y ambiental de la empresa durante un período de tiempo. Sólo una empresa que produce un “TBL” está tomando en cuenta el costo total involucrado en hacer negocios (The Economist, 2009).

Actualmente el concepto se usa para definir los factores que implican un desarrollo sustentable para cualquier tipo de actividad o proceso. Este punto de vista ha sido expresado como una ilustración utilizando tres elipses superpuestas que indican que los tres pilares de la sustentabilidad no son mutuamente excluyentes y pueden reforzarse mutuamente como se presenta a continuación en la figura 2.1.

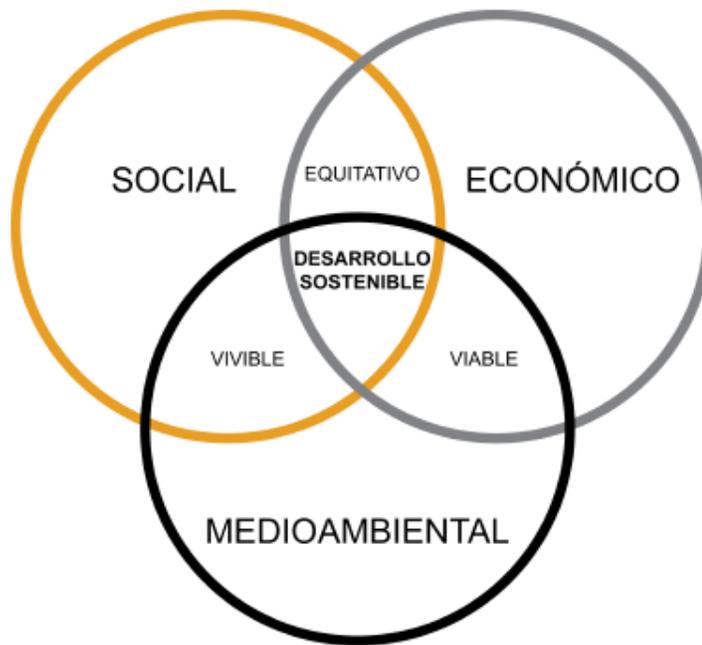


Figura 2.1 Los tres pilares de la sustentabilidad

Fuente: Comisión Brundtland: Nuestro futuro común, 1987

a) **Sustentabilidad Social**

Es la capacidad de un sistema social, como un país, la familia, o de la organización, para funcionar a un nivel definido de bienestar social y la armonía de forma indefinida. Los problemas como la guerra, la pobreza endémica, la injusticia generalizada, y bajas tasas de educación son los síntomas de un sistema es socialmente insostenible.

b) **Sustentabilidad Ambiental**

Es la capacidad del medio ambiente para soportar de manera indefinida un nivel definido de calidad ambiental y tasas de extracción de recursos naturales.

c) Sustentabilidad Económica

Es la capacidad de una economía para apoyar a un determinado nivel de producción económica de forma indefinida. La Cumbre Mundial del Desarrollo Social llevada a cabo el 2005, identificó a estos pilares como los objetivos claves del desarrollo sostenible: “Reafirmamos que el desarrollo es un objetivo central en sí mismo y que el desarrollo sostenible en sus aspectos económicos, sociales y ambientales constituye un elemento clave del marco general de las actividades de las Naciones Unidas (ONU, 2005).

2.3.2 Círculos de la Sustentabilidad

El origen de este método nace a partir de una insatisfacción fundamental en relación a los enfoques actuales de la sustentabilidad y el desarrollo sustentable mencionados en los tres pilares de la sustentabilidad, ya que estos toman a la economía como el factor más importante y a la ecología como un factor más externo. Este proyecto se está llevando bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas Pacto Mundial de Ciudades (UNGCCP) y el Instituto Global de Ciudades de la Universidad RMIT a partir del 2008 (UNGC Cities Programme, 2008).

Explicado de forma sencilla, el enfoque de los ‘Círculos de Sustentabilidad’ sugiere que la vida social debe entenderse de manera integral a través de una serie integrada de los dominios de la economía, la ecología, la política y la cultura. El enfoque entrega un modo de cómo alcanzar la sustentabilidad y la resiliencia, gracias a la combinación de indicadores cualitativos y cuantitativos (ver figura 2.3). Este enfoque define un marco conceptual de los problemas que enfrentan las comunidades. Los dominios de los círculos de la sustentabilidad son los siguientes:

a) Economía

El dominio económico se define como las prácticas y los significados asociados a la producción, uso y gestión de los recursos.

b) Ecología

El dominio ecológico se define como las prácticas y significados que se dan a través de la intersección entre lo social y los reinos naturales, centrándose en la importancia de la dimensión del compromiso humano con la naturaleza, también incluyendo el entorno construido.

c) Política

La política se define como las prácticas y los significados asociados a cuestiones básicas de poder social, tales como la organización, la autorización, la legitimación y la regulación. Los parámetros de esta área se extienden más allá del sentido convencional de la política para incluir no sólo las cuestiones de gobernanza pública y privada, sino de manera más amplia las relaciones sociales en general.

d) Cultura

El ámbito cultural se define como las prácticas, discursos y expresiones materiales, que, con el tiempo, expresan continuidades y discontinuidades de significado social. Actualmente, el método es utilizado por una serie de organizaciones mundiales, incluyendo el Global Compact Cities Programme de las Naciones Unidas, La Asociación Mundial de Grandes Metrópolis, y World Vision.

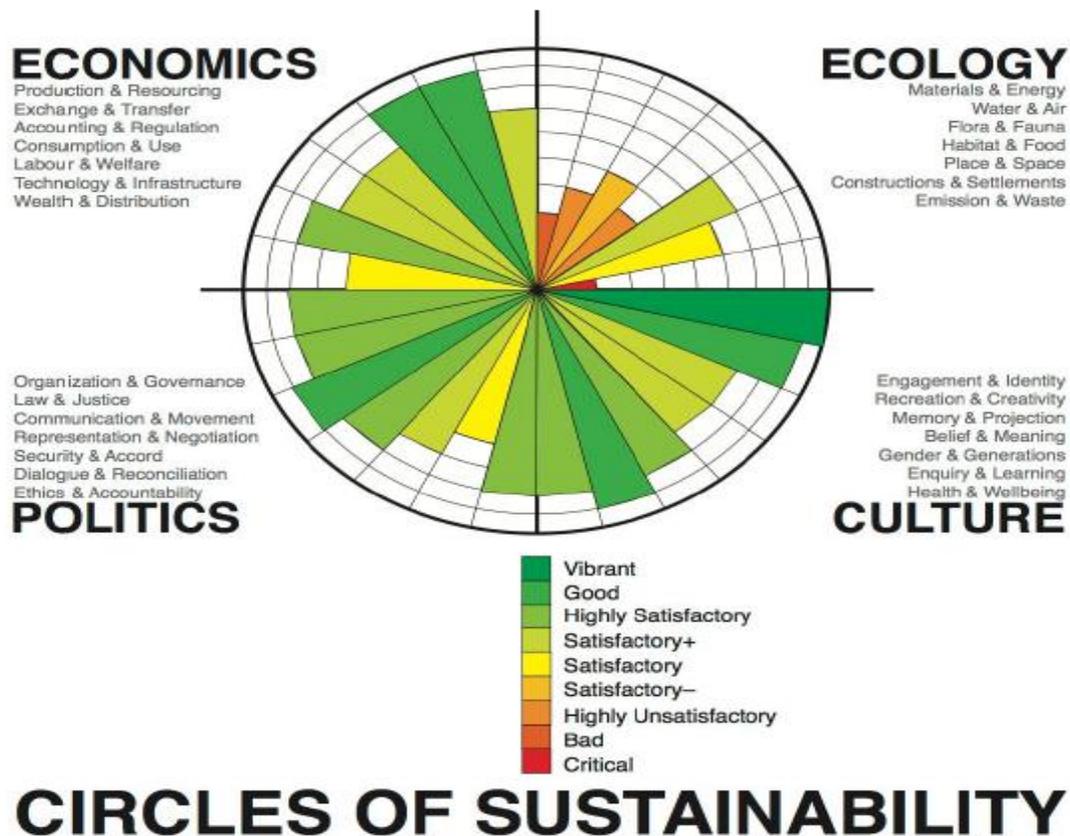


Figura 2.2 Los círculos de la sustentabilidad

Fuente: <http://citiesprogramme.com>

Si bien es cierto, existen muchas maneras más de como ver la sustentabilidad, estos cuatro enfoques consideran los mismos aspectos, pero con distintos grados de importancia. El enfoque de los 3 Pilares en relación al de los Círculos de la sustentabilidad, tiene un factor menos, que es el de la cultura; pero este punto está considerado dentro del factor sociedad, lo que implica que le da menor importancia. Esto coincide con la evolución en la definición del concepto de desarrollo sustentable estudiado en la sección anterior, ya que la cultura es un aspecto recientemente incorporado en esta definición con la aparición de la Agenda 21 de la Cultura el 2004.

2.4 Construcción sustentable

Los temas relacionados con el medio ambiente y la interpretación que se obtenga de la sustentabilidad en la construcción a través de análisis de impactos ambientales, son las herramientas que estudia este sector para realizar un cambio radical. La construcción sustentable en inicios estaba centrada en la importancia de cómo tratar el tema de recursos cuando estos eran limitados, en especial la energía y reducir los impactos sobre el medio ambiente, hoy en día, la sustentabilidad en la construcción se preocupa además de mejorar la calidad de vida de las personas y mejorar la calidad del entorno en que se desarrolla.

El tema de construcción sustentable es amplio y de interés mundial, y, como tal, involucra a todas las comunidades y las partes interesadas en identificar las necesidades actuales y futuras de definir el grado económico, medioambiental y aspectos sociales, que son considerados en un proceso de desarrollo sustentable con el fin de buscar un equilibrio socioeconómico - medioambiental (ISO 15392, 2008).

El medio ambiente construido (edificios y obras de ingeniería civil) es un elemento clave en la determinación de la calidad de vida, contribuye a la identidad cultural y el patrimonio. Como tal, es un factor importante en el reconocimiento de la calidad del medio ambiente en el que la sociedad vive y trabaja. El sector de la construcción es muy importante para el desarrollo sustentable debido a que:

- Es un sector clave en la economía nacional e internacional
- Tiene una interfaz importante con la reducción de la pobreza a través de los servicios económicos y sociales básicos, proporcionados en el entorno construido y oportunidades potenciales para trabajadores que se dedican a construcción, operación y mantenimiento.
- Es uno de los mayores sectores industriales individuales, proporcionando al mismo tiempo valores y empleo, absorbe recursos considerables, pero con los consiguientes efectos en las condiciones económicas, sociales y ambientales.

- Crea el entorno construido, que representa una parte significativa de los activos económicos de las personas, las organizaciones, las naciones y sociedades que se relacionan con el entorno físico y funcional.
- Tiene muchas posibilidades de mostrar mejoría con respecto a su desempeño ambiental, gracias a la implementación de herramientas de evaluación de impactos ambientales.

Las actividades de la industria de la construcción tienen lugar dentro de un marco administrativo legal y reglamentario, o de otro tipo de marco actual dentro de un país o región. En cualquier caso, los aspectos de gobierno son relevantes para el desarrollo sustentable, que con marcos administrativos bien estructurados podrán contener requisitos que pueden actuar como conductores y ayuden a mover el sector de la construcción hacia la sustentabilidad. (ISO 15392).

Por lo general, los aspectos particulares de las obras de construcción, denominados procesos o servicios, pueden interactuar con el medio ambiente. Estos se relacionan con el uso actual de los recursos del planeta. Considerar los impactos sobre la calidad y la cantidad de recursos, así como, los ecosistemas locales, regionales y globales, corresponden a una práctica responsable en el sector, evaluando el impacto de las actividades de productos y servicios utilizados en la construcción, a través de la evaluación del ciclo de vida (ISO 15392, 2008).

La problemática de la sustentabilidad en la construcción en Chile se puede expresar de la siguiente forma: Los edificios representan 17% del uso de agua, 25% del uso de madera, 33% de las emisiones de CO₂ y 40% del uso de energía y materiales. Ante esto, la necesidad de masificar la construcción sustentable aumenta en el mundo (MMA, 2012). En países como Francia y Holanda un gran porcentaje de los proyectos inmobiliarios se diseñan y construyen bajo estándares de calidad, que antes se tomaban poco en cuenta. Fijarse en el ahorro de energía, disminuir el impacto ambiental durante el proceso de construcción y restringir la producción de residuos, son sólo algunos de los puntos que se toman en cuenta para definir a un edificio como sustentable. Adicionalmente, se considera que una edificación debe tener herramientas para ahorrar energía, para evitar el uso excesivo de calefacción o aire acondicionado, que posea aislación térmica y acústica, y que la ventilación en los espacios interiores sea la correcta. Estos factores pueden hacer “sustentable” un edificio y disminuir hasta en un 37% la producción de residuos y un 31% su consumo eléctrico. Asimismo, se estima que un edificio sustentable genera ahorros en costos de operación del edificio, del orden del 30%, teniendo como base las reducciones del consumo de energía y agua potable (GBC Chile, 2008).

El desarrollo de criterios de evaluación de impacto ambiental y la incorporación de nuevos factores están siendo analizados críticamente a distintos niveles de intervención y cambios específicos. Ello ha llamado la atención sobre el rol de impacto producido por la construcción, referido tanto a la calidad ambiental con relación al usuario como a perturbaciones que afectan el hábitat construido en general y a modificaciones micro-urbanas en particular.

En la actualidad existen organizaciones enfocadas al estudio de construcciones sustentables y una de las más renombradas es el US Green Building Council (USGBC). El USGBC, es una organización sin ánimo de lucro que promueve la sustentabilidad en el diseño, construcción y funcionamiento de los edificios. Este consejo es conocido principalmente por el desarrollo del sistema de evaluación Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) que promueve la construcción de edificios verdes, incluyendo materiales medioambientalmente responsables, técnicas de construcción sustentable y cumplimiento de normativas vigentes.

La certificación LEED, es un método de evaluación de edificios verdes, a través de pautas de diseño objetivas y parámetros cuantificables. Es un sistema voluntario y consensuado, diseñado en Estados Unidos, que mide entre otras cosas el uso eficiente de la energía, el agua, la correcta utilización de materiales, el manejo de desechos en la construcción y la calidad del ambiente interior en los espacios habitables. La certificación evalúa aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sustentable de los espacios y la selección de materiales en una edificación. La evaluación final la otorga el Consejo de construcción verde de EEUU, (U.S. Green Building Council, USGBC), implementando prácticas y procedimientos de excelencia en el diseño y construcción sustentable.

2.5 Panorama en el plano internacional en materia de construcción sustentable

Posterior a las numerosas cumbres y particularmente luego del Protocolo de Kioto, el efecto se hizo sentir en el plano de las regiones más desarrolladas en primer lugar, siendo las que mayor responsabilidad tienen frente a los problemas del calentamiento global y cambio climático. Las presiones en el ámbito de la construcción se reflejaron en la implementación de políticas ambientales e investigaciones para la disminución del impacto ambiental en esta materia. Además de la implementación de políticas que son de carácter obligatorio y que son impuestas por cada país o región, resultó también relevante la creación de herramientas que permitieran evaluar ambientalmente la eficiencia o impacto de las construcciones. Estas herramientas permiten clasificar un edificio según una serie de criterios, cuán eficiente y sustentable es en relación a otros.

El uso de estos métodos de evaluación es de carácter voluntario, pero es altamente incentivado por algunos gobiernos. El pionero en esta materia es el método BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), desarrollado en 1990 por el Reino Unido y es a partir del año 2000 como lo ilustra la figura 2.3, que el número de metodologías de evaluación ambiental creció rápidamente a nivel internacional.

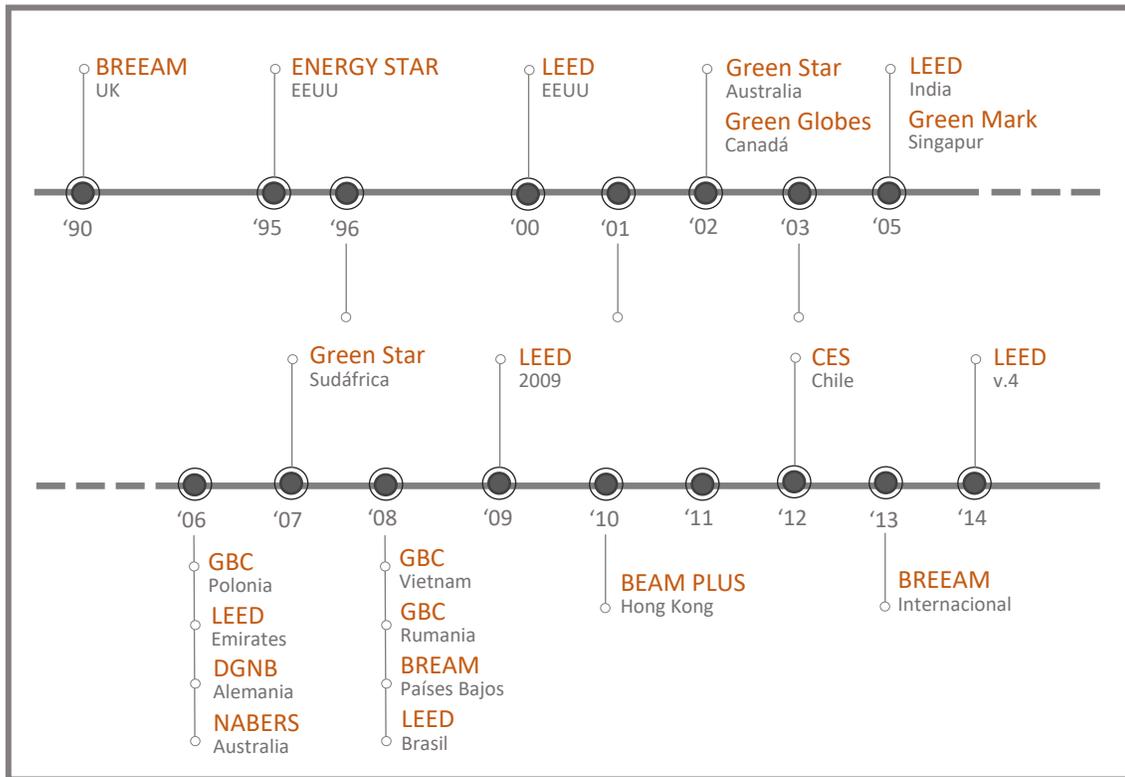


Figura 2.3 Línea de tiempo del desarrollo de herramientas de evaluación

Fuente: A Comparison of International Sustainable Building Tools – 2014 An Update

Estas mediciones de sustentabilidad están captando mucha atención en todo el mundo. En 2010, 650 millones de metros cuadrados obtuvieron una certificación de sustentabilidad en todo el mundo, mientras que, había proyecciones para 1100 millones de metros cuadrados en 2012 y por más de 4600 millones de metros cuadrados en 2020. (Evans, 2010). A pesar de que estos métodos se han ido adaptando para que su uso sea globalizado, tomando en cuenta las diferencias de prácticas estándar o culturas alrededor del mundo, y para reflejar los diferentes temas ambientales que afectan a dichas regiones, se generan diferencias importantes en los resultados, puesto que se conservan enfoques que provienen de la región de origen, y muchas veces incorporan requisitos con un énfasis local o regional (Evans, 2010).

En un análisis realizado en el paper titulado “International Comparison of Sustainable Rating Tools” escrito por Richard Reed en el año 2012 se sostiene que cuando los métodos de evaluación BREEAM (Reino Unido), LEED (EEUU), Green Star (Australia), y CASBEE (Japón) se comparan a través de una serie de cuestiones de sustentabilidad existe una variación en las normas de cada esquema. Por ejemplo, BREEAM establece normas más estrictas para la gestión de la construcción en comparación con LEED y Green Star. LEED y BREEAM anotan puntajes equivalentes para la energía y el transporte, mientras que Green Star se queda atrás. En cuanto a los temas de salud y bienestar, BREEAM supera de nuevo los otros esquemas.

Al considerar las condiciones de sequía récord en Australia, las normas de conservación del agua en Green Star son los más altos en comparación con los otros regímenes. BREEAM en el Reino Unido tiene los más altos estándares con respecto al uso de la tierra y la ecología, donde la densidad de la población es más alta. En general, todos los sistemas promueven las normas que reflejan los problemas de sustentabilidad locales y condiciones ambientales. Las normas del código de construcción varían de país a país y uno de los supuestos de estos métodos es que los países no se deben evaluar a partir de la misma norma de referencia. Sin embargo, algo que está creciendo de manera desmesurada, y que si se puede estandarizar bajo ciertos criterios es la inclusión de un ítem especial para los materiales de construcción con el fin de evaluar la carga ambiental que poseen estos elementos en su fabricación y/o producción (Reed, 2012).

2.5.1 DAP y principales sistemas de certificación de edificios

Teniendo en cuenta que las Declaraciones Ambientales de Producto de la construcción aportan información ambiental para facilitar la decisión de los proyectistas en cuanto al uso de los materiales en el edificio, tiene sentido que se vinculen a la certificación de sostenibilidad de edificios. Actualmente podemos encontrar relaciones entre la obtención de DAPs y los programas de certificación de edificios. En el sistema BREEAM, cuando se dispone de una DAP verificada por una tercera parte, que cubre parte o todo el ciclo de vida de un material/producto que forma parte del edificio estudiado, esta puede ser usada para incrementar la contribución de ese elemento a la matriz de rendimiento del edificio. Los puntos adquiridos por tener DAP incluidas en la **Green Guide** (Guía de productos con la DAP: Environmental Profile BRE) se calculan según la proporción de impacto del elemento, ya sea material o producto (BREEAM UK, 2014).

Por otro lado, el sistema LEED en su versión v4 (actualización año 2012), queriendo dar una visión mucho más completa de los materiales y productos utilizados en el edificio, permite incluir información que permita tomar decisiones que representen un mayor beneficio ambiental. Es por esto, que en su sistema de clasificación se consideran los productos de la

construcción que tengan esta información ambiental, otorgando créditos independientes (1-2) dentro de la categoría de materiales y recursos (Materials and Resources-MR). Su principal objetivo otorgando esté máximo de 2 créditos adicionales es incentivar el uso de productos y materiales cuya información durante todo su ciclo de vida esté disponible y suponga menores impactos ambientales, económicos y sociales. De esta manera el sistema LEED empieza a integrar el concepto de ACV en su certificación. La figura 2.4 muestra la actualización que supone en comparación con la versión LEED 2009.

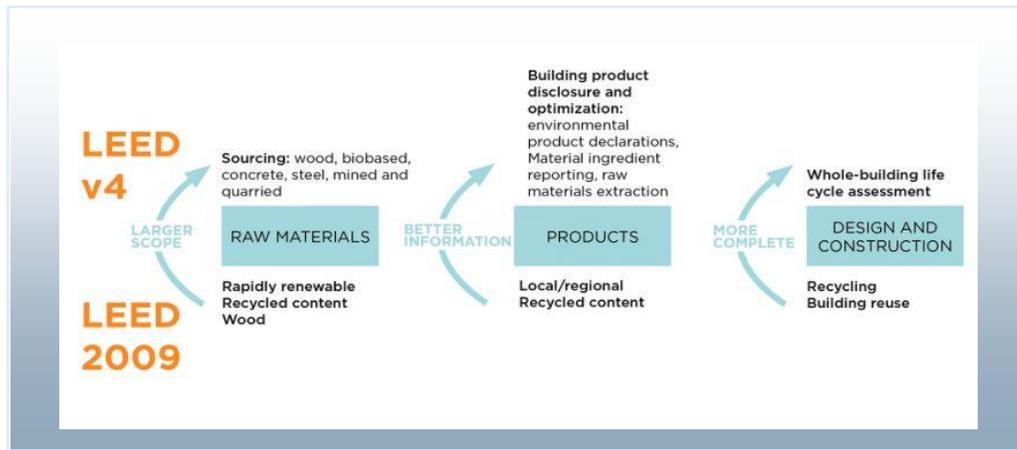


Figura 2.4 Actualización LEED v4.0 en materiales y recursos

Fuente: Scope of impact compliant Tools and Data Submission Requirements - BREEAM UK – 2014

Otro ejemplo de integración de DAP y ACV en programas de certificación de edificios es el de DGNB. Este sistema de certificación, refleja el uso de productos/materiales de la construcción descritos en las guías de Declaraciones Ambientales del IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.), por medio de un navegador online (de acceso gratuito) que permite a los proyectistas buscar productos que quieran usar para su edificio, obteniendo datos relevantes desde el punto de vista técnico, económico hasta aspectos relacionados con la salud. Además, esta base de datos del DGNB, ofrece un listado de fabricantes que disponen de DAP para sus productos, para que así puedan conocerse sus impactos ambientales en todo el ciclo de vida.

2.6 Panorama en el plano nacional en materia sustentable

Chile es uno de los miembros de la OCDE cuya economía presenta una mayor intensidad en el uso de recursos. De acuerdo al reciente informe “Evaluaciones del Desempeño Ambiental. Chile 2016”, durante el período 2000-2010, el consumo interno de materiales (CIM) creció un 36%, en comparación con un descenso promedio del 7% observado en el conjunto de los países de la OCDE (OCDE, 2016). Al mismo tiempo, la

producción de residuos ha crecido desde unos 12 millones de toneladas en el año 2000 a unos 16,9 millones en el año 2010 (CONAMA, 2010). En conjunto, en Chile se reciclan aproximadamente un 4% de los residuos para reutilización, reciclado y compostaje. Excepciones notables en este escenario son los neumáticos (15%), por acuerdo voluntario de los cuatro mayores fabricantes; las pilas (52%); y el papel y el cartón (52%), lo que se debe principalmente a los elevados precios de mercado del sector informal (OCDE, 2016).

El pasado 17 de mayo de 2017 fue promulgada la nueva ley de Reciclaje, cuyo objetivo es que al menos un 30% de los residuos se reciclen en el país. El instrumento central de esta normativa es la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que en lo esencial obliga a fabricantes e importadores de seis productos prioritarios: aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos y pilas, a recuperar un porcentaje de sus productos una vez que terminan su vida útil (MMA, 2016). Si bien el Ministerio del Medio Ambiente podrá incorporar a futuro nuevos productos prioritarios a esta lista mediante la dictación de un reglamento, el alcance de esta ley es todavía limitado. Otros amplios sectores están aún fuera de este nuevo marco legal, como es el caso del sector construcción, el mayor generador de residuos con una participación que varía entre el 26% y el 34% en el período 2000-2009 respecto del total en el país: unos 5,7 millones de toneladas de los 16,9 millones en total (CONAMA, 2010). Por otra parte, en el marco de la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (ENCS), el Código de Construcción Sustentable (MINVU-BRE, 2014) establece cuatro categorías principales de sustentabilidad: Energía, Agua, Residuos, Salud.

A pesar la importancia que el Estado le comienza a conceder a través de estos instrumentos y directrices generales y sectoriales, las contundentes cifras nos muestran que la reutilización y reciclaje de materiales aún está en Chile en sus inicios. Un enorme desafío de innovación que se presenta en este ámbito para los ministerios, la academia, los profesionales, las empresas y los gremios que trabajan en el sector de la construcción. Al mismo tiempo que debemos ocuparnos de la implementación de medidas de eficiencia energética en la edificación, mejorar las condiciones de confort y reducir los costos de construcción y operación -todas tareas en la que nos queda aún mucho por hacer aún- deberemos asumir el desafío de la integración de los residuos de la construcción en un ciclo completo de planificación, producción, operación y disposición de las edificaciones, si se desea avanzar de manera integral y a la velocidad que los problemas ambientales de hoy requieren.

2.6.1 Evaluación del desempeño ambiental y enfoque sustentable en Chile.

Chile es una economía pequeña y abierta con abundantes recursos minerales. Ha registrado un largo período de gran crecimiento económico, que ha contribuido a reducir la pobreza y mejorar el bienestar de la población, aunque la desigualdad sigue siendo elevada. Por el hecho de ser el mayor productor y exportador mundial de cobre, Chile se vio

beneficiado por el auge de las materias primas en los años 2000 e hizo frente satisfactoriamente a la crisis económica mundial de 2009. Sin embargo, el crecimiento del producto interno bruto (PIB) y de la inversión se ha debilitado, debido al descenso de los precios de las materias primas y de la demanda externa, iniciado a comienzos de los años 2010 (OCDE, 2015).

Los recursos naturales son un pilar de la economía, dado que la minería del cobre, la agricultura, la silvicultura y la pesca generan un alto porcentaje del ingreso nacional y de las exportaciones del país. Chile es una de las economías de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) que hacen un uso más intensivo de recursos, lo que refleja la intensa actividad minera y el extenso uso de madera y biomasa. El crecimiento económico, la extracción y el uso de recursos naturales, así como el creciente consumo han intensificado las presiones en el medio ambiente, especialmente la contaminación atmosférica, la escasez de agua, la pérdida de bosques nativos y de diversidad biológica, y la contaminación del suelo y el agua (MMA, 2012).

La energía utilizada en la economía (oferta total de energía primaria, OTEP) aumentó un 54% entre los años 2000 y 2014, paralelamente al rápido crecimiento económico, al incremento de la población minera e industrial y a la mayor demanda de transporte. No obstante, la intensidad energética de la economía chilena (OTEP por unidad del PIB) se redujo a poco menos de la media de la OCDE, lo que refleja la diferencia de ingresos aún no superada. La matriz energética de Chile sigue integrada predominantemente por combustibles fósiles importados.

La insuficiente oferta de gas natural a mediados de los años 2000 se tradujo en un marcado incremento del empleo del carbón y diésel para la generación de electricidad como se ilustra en el gráfico de la figura 2.5, que a su vez elevó las emisiones de contaminantes locales al aire y gases de efecto invernadero. La producción de energía basada en recursos renovables se ha duplicado desde el año 2000, pero no se ha mantenido a la par con el alza de la demanda de energía. En 2014, las fuentes de energía renovables, en particular la leña empleada para calefaccionar los hogares, representan el 32% de la oferta de energía, uno de los porcentajes más altos de los países de la OCDE. Más del 40% de la generación de energía proviene de recursos renovables, sobre todo la energía hidroeléctrica, pero la intensidad de las emisiones de carbono de la producción de electricidad es superior a la media de la OCDE (OCDE, 2016).

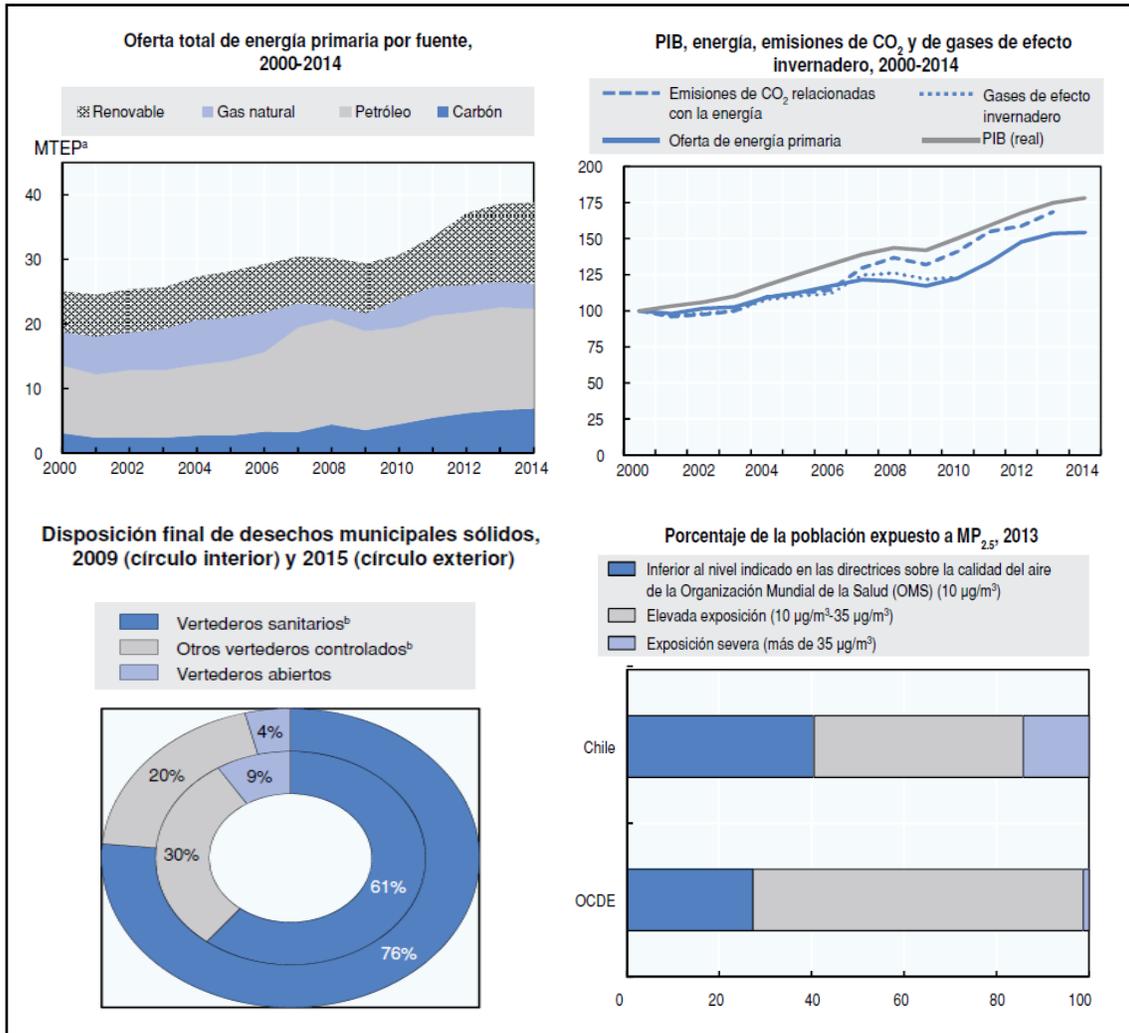


Figura 2.5 Indicadores ambientales seleccionados

Fuente: Evaluaciones de desempeño ambiental de Chile – ODCE 2016

Las emisiones de la mayoría de los contaminantes del aire han aumentado desde el año 2005, lo que refleja el incremento de la generación de energía termoeléctrica, el creciente transporte de carga y pasajeros (especialmente en vehículos que ocupan diésel) y la gran dependencia de la leña para calefaccionar los hogares, que no ha disminuido. Según la evaluación del desempeño ambiental elaborada por la ODCE en el año 2016, Chile sigue registrando altos niveles de contaminación atmosférica, especialmente en Santiago. Se están aplicando normas ambientales sobre calidad del aire relativas a los mayores contaminantes incluido el material particulado fino (MP25), pero con frecuencia se exceden los límites impuestos, sobre todo en áreas con alta concentración de población o de actividades mineras.

En promedio, cada año el 15% de la población de Chile se ve expuesta a graves niveles de concentración de material particulado fino superior a 35 microgramos por metro cúbico, que superan con creces la media de la OCDE ilustrada en la figura 2.5. Los planes de prevención descontaminación son el principal instrumento para la gestión del aire, pero la falta de coordinación interinstitucional y la insuficiente participación de los actores locales han dificultado su efectiva aplicación.

El desarrollo de estos planes se ha retrasado, especialmente en el sur de Chile; los planes vigentes se someten a revisión cada cinco años, pero muchos no han sido actualizados desde hace mucho más tiempo. También es necesario mejorar la calidad de las redes de monitoreo de la calidad del aire, dado que muchas estaciones no tienen la capacidad necesaria para medir las concentraciones de MP2.5, y de óxidos de nitrógeno y de azufre (ODCE, 2016).

2.6.2 Gobierno y gestión ambiental

Chile ha fortalecido el marco institucional de gestión ambiental a nivel nacional. Actualmente hay diversos organismos encargados de la evaluación del impacto ambiental y de la fiscalización del cumplimiento de las normas sobre la materia. A pesar del constante incremento de sus presupuestos, las autoridades nacionales que se ocupan del medio ambiente, en particular la Superintendencia del Medio Ambiente, siguen afectados por la falta de recursos humanos y técnicos para desempeñar adecuadamente sus funciones. De acuerdo a la gestión realizada por el gobierno de Chile cabe mencionar las siguientes políticas:

a) Marco institucional

El Consejo de Ministros para la Sustentabilidad es un importante mecanismo de coordinación horizontal de las numerosas autoridades nacionales que tienen facultades medioambientales. En el marco del sistema centralizado de gobernanza ambiental de Chile, las dependencias subnacionales de esos organismos también tienen que colaborar efectivamente. El Sistema de Certificación Ambiental Municipal es un importante mecanismo de fortalecimiento de las capacidades de los municipios. Sin embargo, las autoridades locales no cuentan con la autonomía y los recursos necesarios para desempeñar un papel más sustantivo en la gestión local del medio ambiente y la adaptación de las políticas nacionales a las necesidades locales.

b) Marco regulatorio

El Ministerio del Medio Ambiente ha venido recurriendo cada vez más a análisis de efectos de las normas, lo que incluye evaluaciones de beneficios mediante parámetros de los

efectos en la salud y de los costos de los proyectos de reglamentación ambiental. En la metodología empleada para estas evaluaciones se otorga creciente importancia al análisis cuantitativo de los efectos de las medidas regulatorias. En 2014, el Ministerio del Medio Ambiente comenzó a realizar evaluaciones periódicas de la normativa ambiental, así como de los programas gubernamentales pertinentes, pero esta práctica sigue evolucionando.

Chile ha reforzado el marco regulatorio para el control de la contaminación del aire y del agua, mediante la adopción de una serie de normas de calidad ambiental, y sobre emisiones y efluentes. Sin embargo, la normativa sobre emisiones contaminantes del aire y descarga de aguas residuales sigue estando incompleta, porque solo cubre algunos contaminantes regulados y solamente algunos sectores de actividad. En las normas sobre la materia no se prescriben métodos específicos de reducción y la determinación los valores pertinentes se basa en mediciones técnicas del control de la contaminación en la etapa final, no en soluciones integradas relativas a los procesos.

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) sigue siendo el componente esencial de la reglamentación ambiental en Chile. Los proyectos a los que se les exige una completa evaluación del impacto ambiental (EIA), en lugar de una declaración sobre dicho impacto, representan más del 40% del valor de las nuevas inversiones, lo que refleja la efectividad de los controles. Las EIA están estrechamente relacionadas con el otorgamiento de permisos: las resoluciones de calificación ambiental (RCA) son permisos ambientales únicos en los que se prescriben medidas de mitigación. Sin embargo, las disposiciones vigentes sobre participación de la ciudadanía en estas evaluaciones no contienen disposiciones que garanticen la adecuada consideración de proyectos alternativos o la minimización del impacto ambiental potencial, lo que puede dar origen a conflictos ambientales y sociales (OCDE, 2016).

Aunque la cobertura de la planificación territorial se ha extendido significativamente en la última década, en general carece de coherencia y refleja sobre todo prioridades sectoriales. Las municipalidades tienen facultades para adoptar decisiones sobre planificación en su territorio, pero los planes comunales están subordinados a los planes intercomunales y metropolitanos, cuya supervisión está a cargo del gobierno central. Las evaluaciones ambientales estratégicas (EAS) son cada vez más comunes. La mayoría de los planes territoriales deberían someterse a una evaluación de este tipo, pero este requisito se cumple en menos de la mitad de los casos. Es necesario perfeccionar la integración de consideraciones ambientales en los planes territoriales a todos los niveles y la participación pública en su desarrollo.

c) Fiscalización del cumplimiento

El marco institucional de la fiscalización del cumplimiento de las normas sigue estando muy incompleto. La Superintendencia del Medio Ambiente dispone de una amplia gama de mecanismos administrativos de fiscalización, pero su capacidad de acción es muy limitada. Por lo tanto, tiene que recurrir a las autoridades sectoriales competentes para fiscalizar el cumplimiento de las RCA, lo que dificulta la posibilidad de asegurarlo. A diferencia de la mayoría de los países miembros de la OCDE, en Chile no se aplican sanciones penales por delitos ambientales.

El problema de la contaminación preexistente del suelo y las aguas, provocada especialmente por las instalaciones mineras abandonadas, ha sido ampliamente reconocido. En virtud de la Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras, se exige a las empresas desarrollar un plan detallado para el cierre de una mina, el establecimiento de garantías financieras y la creación de un fondo para después del cierre, y se prevé la imposición de multas pecuniarias por infracciones, pero no existe ni una reglamentación específica de las medidas de rehabilitación de los cientos de minas y tranques de relave abandonados y de las áreas contaminadas, ni un organismo encargado de su identificación y limpieza, ni un mecanismo que permita cubrir los considerables costos conexos. Es probable que la inexistencia de una estricta responsabilidad (independientemente de las culpas legales) por el futuro daño ambiental y de normas sobre descontaminación agrave aún más el problema. También se requieren un mayor conocimiento y una mayor transparencia sobre la ubicación de las faenas mineras y las responsabilidades ambientales, así como sobre el estado y la seguridad de dichas faenas. La información disponible sobre los efectos ambientales de las faenas mineras medianas y pequeñas es muy limitada.

A la vez, Chile registra grandes avances en materia de promoción de prácticas favorables al medio ambiente, de conformidad con diversos instrumentos no reglamentarios, entre otros acuerdos de producción limpia, iniciativas sobre la responsabilidad social de las empresas de los sectores exportadores, la publicación de guías sectoriales sobre prácticas no dañinas para el medio ambiente y el establecimiento de los elementos iniciales de un régimen de compras públicas sostenibles. La mayor participación del sector empresarial podría contribuir a fomentar aún más estas iniciativas.

d) Democracia ambiental

El Ministerio del Medio Ambiente ha venido tomando medidas para conseguir que la ciudadanía participe en el diseño de instrumentos de política (entre otros, normas sobre calidad ambiental y emisiones), evaluaciones ambientales, desarrollo de planes de prevención y descontaminación, e iniciativas de conservación de la fauna y la flora silvestres. El Fondo de Protección Ambiental da apoyo a proyectos de organizaciones no gubernamentales (ONG) y otras instituciones sin fines de lucro, pero en Chile no existe un mecanismo efectivo de consideración de los derechos especiales de las comunidades indígenas, lo que contribuye a la existencia de conflictos socio ambientales en muchas comunidades locales.

Desde el año 2005 Chile ha ampliado considerablemente el acceso a la información ambiental, mediante una serie de garantías jurídicas, el refuerzo del Sistema Nacional de Información Ambiental, la publicación de informes ambientales periódicos, y el perfeccionamiento y la consolidación del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. Chile también encabeza las actividades destinadas a la adopción de un acuerdo regional amplio sobre acceso a la información, participación de la ciudadanía y justicia sobre temas ambientales en América Latina y el Caribe. Sin embargo, aún existen graves problemas relacionados con la disponibilidad, la cobertura y la completitud de la información. En particular, hay escasa información disponible sobre la extracción y el uso de aguas, la protección de la diversidad biológica y los efectos negativos en los ecosistemas. Comúnmente, en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire y del agua solo se recopila información sobre unos pocos parámetros, por lo que Chile tiene dificultades para proporcionar estadísticas ambientales a las organizaciones internacionales y en cumplimiento de los convenios internacionales.

La creación de tribunales ambientales ha ampliado al acceso a la justicia y reforzado el derecho a impugnar las decisiones de las instituciones ambientales - incluidas normas, decisiones de las evaluaciones de impacto ambiental y medidas de fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente, y a procurar que se adopten medidas de restauración del medio ambiente. En principio, los numerosos litigios medio ambientales demuestran que en Chile existe un efectivo acceso a la justicia. Sin embargo, en la práctica el costo de la asesoría jurídica suele impedir dicho acceso a organizaciones no gubernamentales y a particulares. Las consideraciones ambientales están cada vez más presentes en el sistema de educación de Chile, como queda en evidencia en la satisfactoria implementación del Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos y las medidas de sensibilización socio ambiental. Sin embargo, el programa de estudios sobre la materia quedó rápidamente obsoleto. Se requieren actividades mucho más amplias de divulgación destinadas a entidades no gubernamentales, que permitan incrementar su capacidad de hacer una contribución significativa a la formulación de políticas ambientales.

2.6.3 Emisiones de gases efecto invernadero e impactos del cambio climático

El cambio climático es un fenómeno de creciente importancia para Chile. Los datos más recientes, del año 2010, indican que las emisiones de gases de efecto invernadero registradas en el país (con la excepción de las atribuibles al uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura) aumentaron un 23% en 2000-2010, debido al rápido crecimiento económico (véase figura 2.6). Las emisiones de la mayoría de los sectores, especialmente de los productores de energía y del transporte, se incrementaron en ese periodo. La intensidad de las emisiones de CO₂ de la economía se ha reducido paulatinamente, pero aún existe una correlación positiva entre su aumento, el suministro de energía y el PIB ilustrado en la figura 2.5.

Chile es vulnerable a los impactos del cambio climático, debido a su geografía y a sus características socioeconómicas, en particular el alto nivel de desigualdad. Las inundaciones y los aluviones registrados en el norte de Chile en mayo de 2015 son un vívido ejemplo de las repercusiones que podría tener, dado que dejó un saldo de 31 muertos y más de 16.000 personas sin hogar. Según las proyecciones, el cambio climático no solo agravará el riesgo de inundaciones, sino también los episodios de calor extremo. Además de la variación de las situaciones extremas, Chile se verá afectado por una tendencia de largo plazo a la disminución de la disponibilidad de agua, que influirá negativamente en la generación de energía hidroeléctrica y la producción agrícola.

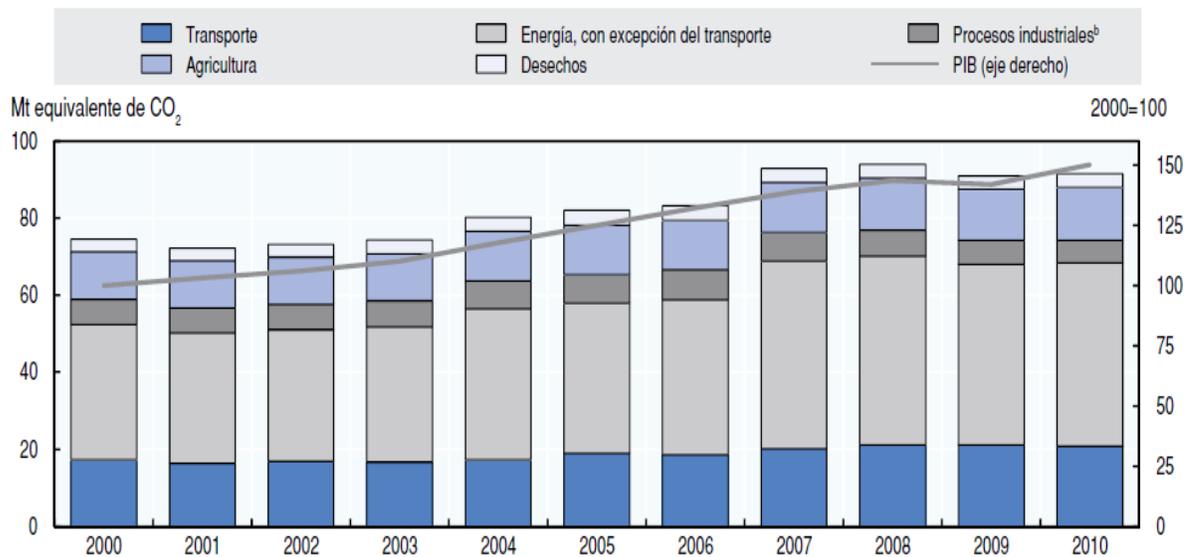


Figura 2.6 Aumento de emisiones de GEI en línea con el crecimiento económico

Fuente: OCDE, "Greenhouse gas emissions by source" - 2015.

Chile está adoptando muchas de las medidas necesarias para dar una respuesta normativa efectiva al cambio climático. En la Evaluación del Desempeño Ambiental de 2005 (OCDE/CEPAL, 2005) se recomendó que Chile desarrollara una estrategia para hacer frente al cambio climático, centrada en el uso eficiente de la energía y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. De conformidad con lo recomendado, Chile desarrolló una estrategia sobre cambio climático en 2006 y el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. La eficiencia energética se ha ido convirtiendo en un componente cada vez más destacado de la estrategia energética del Gobierno, junto con medidas para fomentar la actividad forestal y las energías renovables.

En 2009, Chile se comprometió a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% hasta el año 2020, en comparación con las de la tendencia habitual, lo que supone una cierta ambigüedad sobre el sentido real del compromiso en términos absolutos. Es probable que Chile alcance este objetivo si se aplican las medidas de mitigación apropiadas para el país. Con anterioridad a la Conferencia de París sobre el Cambio Climático, celebrada en diciembre de 2015, Chile presentó su contribución prevista determinada a nivel nacional (CPDN) para complementar el compromiso asumido en 2009. El nivel de ambición dependerá del cumplimiento de ciertos criterios. Chile se compromete a reducir en un 30% las emisiones de gases de efecto invernadero (con excepción de las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura) por unidad del PIB en comparación con 2007, siempre que se mantengan las tasas actuales de crecimiento económico, se estableció una meta aparte para la silvicultura. La meta general se elevará al 35%-45% si el país cuenta con suficiente asistencia internacional. La CPDN es más transparente que el compromiso de 2009, pero el establecimiento de condiciones sobre crecimiento y financiamiento despierta cierta incertidumbre sobre el grado de compromiso. En general, la CPDN atenuaría el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero no las reduciría en términos absolutos. De acuerdo con las proyecciones, en 2030 Chile tendrá un PIB per cápita similar al que registran España y Francia actualmente, pero un nivel más alto de emisiones per cápita.

El desafío general es adoptar una trayectoria de emisiones coherente con la limitación del aumento de la temperatura mundial a menos de 2°C, de conformidad con lo dispuesto en el Acuerdo de París de 2015. Este le exigiría a Chile la formulación de medidas para que las emisiones alcancen su punto máximo lo antes posible y reducirlas más drásticamente a partir de entonces. Chile también tendrá que evitar la fijación de emisiones que dificulten su reducción en el futuro. Esto no ha sucedido todavía en el sector energético, en el que la capacidad prevista de generación sigue basándose en una alta proporción en el uso de carbón. En términos más generales, se deberían evaluar atentamente las opciones de desarrollo de la infraestructura, a fin de asegurar que sea coherente con la transición a una economía baja en carbono.

La política de adaptación comenzó a estructurarse con la adopción del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en 2014. En este plan se contemplan reformas institucionales para mejorar la coordinación horizontal y vertical, y el desarrollo de la base empírica del proceso de adaptación. Chile está formulando planes sectoriales de adaptación para la aplicación del Plan Nacional, y ya se han completado los de diversidad biológica, silvicultura y acuicultura. Para Chile sería beneficioso realizar una evaluación nacional de los riesgos del cambio climático y las oportunidades que ofrece, así como de las interdependencias intersectoriales. Esto debería complementarse con mayores esfuerzos de integración del cambio climático en las asignaciones presupuestarias, en las evaluaciones de proyectos y en las evaluaciones ambientales estratégicas.

En general, la planificación sobre adaptación está más avanzada que la de mitigación. El principal objetivo del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012 no es implementar medidas para reducir las emisiones o reforzar la resiliencia, sino crear las bases de la acción normativa. Los planes nacionales y sectoriales de adaptación se basan en el plan nacional, como punto de partida para la identificación de enfoques más concretos. Entretanto, la política de mitigación se ha caracterizado por su fragmentación, lo que refleja la insuficiencia de recursos y la desigual participación de los diversos sectores. Para la formulación del siguiente plan nacional, que abarcara el periodo 2016-2021, se debería tener en cuenta la experiencia adquirida en los planes de adaptación, a fin de traducir los compromisos internacionales asumidos por Chile en medidas nacionales concertadas.

2.6.4 Valoración de residuos a nivel nacional

Chile ha realizado importantes avances en el manejo de residuos domiciliarios. En el año 1995 la totalidad de los residuos domiciliarios se eliminaban en vertederos y basurales y tan sólo diez años más tarde en 2005, más del 60% de los residuos se disponían en rellenos sanitarios que cumplen con una serie de exigencias técnicas sanitarias y ambientales (REP, 2013). Sin embargo, desde el punto de vista regulatorio, el énfasis de la gestión de residuos ha sido puesto en resolver adecuadamente su disposición final, y ha quedado en evidencia que concentrar los esfuerzos en resolver sanitaria y ambientalmente la disposición final no es suficiente y es necesario redefinir el enfoque de la gestión de los residuos en nuestro país de modo tal que se incluya la valorización de los residuos, en todos sus aspectos.

Por su parte, las condiciones de mercado actualmente en Chile no permiten internalizar de manera completa la externalidad generada ni permiten racionalizar la disposición final de residuos. Actualmente, la gran mayoría de los municipios limitan su gestión a la disposición final de los residuos a través de contratos con empresas privadas o mediante manejo propio. En general, dichos organismos no han manifestado una disposición concreta para el manejo integral de sus residuos y buscan, por lo general, eliminarlos sin considerar estrategias como

fomentar la prevención de su generación o su potencial valorización. Asimismo, los contratos de disposición final, muchas veces desincentivan las iniciativas de reciclaje, debido a que los costos por tonelada son menores mientras más aumente la cantidad dispuesta. Sin perjuicio de lo anterior, algunos municipios han formalizado el reciclaje a través de contratos para la recolección diferenciada. Asimismo, existe un mercado informal de recicladores e intermediarios para la recolección de papel y cartón, chatarra y otros residuos reciclables y también un mercado formal con empresas recuperadoras y recicladoras de papel y cartón, chatarra, plástico, hojalatas, aceites, baterías y neumáticos, entre otros residuos, empresas que se han desplegado en las principales ciudades del país.

De esta forma, si bien ha existido avances en materia sanitaria, la tasa de valorización de residuos generados en Chile es aún incipiente, del orden del 10%. Entre 2009 y 2010 se realizó el estudio “Levantamiento, Análisis, Generación y Publicación de Información Nacional Sobre Residuos Sólidos de Chile”, el cual presenta resultados en base a la revisión de estudios anteriores y encuestas a municipalidades, empresas generadoras y destinatarios de residuos. Los resultados del estudio presentan las siguientes estimaciones para el año 2017: una generación de 16,9 millones de toneladas de residuos, de las cuales 10,4 millones de toneladas corresponden a residuos industriales y 6,5 millones de toneladas a residuos domiciliarios, de estos últimos un alto porcentaje (33%) corresponde a materiales potencialmente valorizables. Estos datos no incluyen a los residuos mineros masivos.

Para enfrentar la complejidad de este problema, en el año 2005 el Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) aprobó la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, elaborada por un Comité Técnico, con representantes del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Ministerio de Salud, Ministerio de Economía, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo y la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Esta política tiene como objetivo “lograr que el manejo de residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para la salud de la población y el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sustentable y eficiente del sector”. Uno de los aspectos relevantes que incorpora esta política es la necesidad de contar con una gestión integral de residuos que abarque todas las etapas de un producto, desde que es elaborado hasta su eliminación. Debe tenerse presente que cuando se habla de gestión de residuos, el primer objetivo es evitar la generación; si esta no es posible de evitar, se debe procurar su minimización; si esto no es posible, entonces se debe recién evaluar su potencial disposición final. Este principio de jerarquía en la gestión de residuos, reconocido en gran parte de los países desarrollados, ha probado su efectividad en el tiempo.

Por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en la Evaluación de Desempeño Ambiental del país desde el año 2005, ha establecido una serie de recomendaciones para fomentar la valorización de residuos en Chile, tales como: “Profundizar la aplicación de los principios el que contamina paga y el usuario paga mediante

cargos apropiados sobre el manejo de residuos” y “evaluar las posibilidades de introducir instrumentos económicos nuevos como cargos por residuos peligrosos, entre otros”. Los instrumentos económicos que propone la OCDE usan las fuerzas del mercado como impulsoras del cumplimiento de las metas ambientales. Este tipo de mecanismos permite entonces internalizar, en el momento mismo del acto de consumo, la externalidad asociada al producto demandado. Entre los instrumentos económicos más utilizados para el control de externalidades se reconocen instrumentos de precio y de cantidad. En el contexto internacional, más de 45 países utilizan instrumentos de cantidad para promocionar la valorización de residuos a través del mecanismo conocido como Responsabilidad Extendida al Productor (REP). La REP corresponde a un régimen especial de gestión de residuos conforme al cual los productores son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de productos que comercialicen en el país definidos como prioritarios.

2.6.5 Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile

La REP en Chile norma que los fabricantes de productos prioritarios deben cumplir con ciertas obligaciones tales como registrarse, organizar y financiar la gestión de residuos, cumplir metas de recolección y valorización a través de alguno de los sistemas de gestión y asegurar que el tratamiento de los residuos recolectados se realice por gestores autorizados. De esta forma, el fabricante o importador deberá hacerse cargo del producto una vez terminada su vida útil, debiendo cumplir metas de reciclaje establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente. De esta forma, la REP persigue dos objetivos principales: por una parte, promueve el diseño de productos que procuren el aumento de su vida útil y potencial de valorización y, por otra, incentiva la reutilización y valorización de productos al final de su vida útil. Ello permite internalizar las externalidades ambientales propias de los residuos (contaminación suelo y aguas, olores, emisiones, vectores), disminuir la disposición final de residuos, con ello aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios, y formalizar el mercado de reciclaje existente en el país.

La REP busca incentivar la prevención y valorización según los siguientes principios:

- a) El que contamina paga: El generador de un residuo es responsable de hacerse cargo del mismo y de internalizar y pagar los costes asociados a su manejo.
- b) Gradualismo: Las obligaciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización serán establecidas o exigidas de manera progresiva, atendiendo a la cantidad y peligrosidad de los residuos, las tecnologías disponibles, el impacto económico y social, entre otros.

- c) Jerarquía en el manejo de residuos: Orden de preferencia de manejo, que considera como primera alternativa la prevención en la generación de residuos, luego la reutilización, el reciclaje de los mismos o de uno o más de sus componentes y la valorización energética de los residuos, total o parcial, dejando como última alternativa su eliminación.
- d) Libre competencia: El funcionamiento de los sistemas colectivos de gestión en ningún caso podrá atentar contra la libre competencia.
- e) Participativo: La opinión y el involucramiento de la comunidad son necesarios para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización.
- f) Preventivo: Conjunto de acciones o medidas que se reflejan en cambios en los hábitos en el uso de insumos y materias primas utilizadas en procesos productivos, diseño o en modificaciones en dichos procesos, así como en el consumo, destinadas a evitar la generación de residuos, la reducción en cantidad o la peligrosidad de los mismos.
- g) Responsabilidad de la cuna a la tumba: El generador de residuos es responsable del manejo de los residuos, desde su generación hasta su valorización y/o eliminación, en conformidad a la ley.
- h) Transparencia y publicidad: La gestión de residuos se efectuará con transparencia, de manera que la comunidad pueda acceder a la información relevante sobre la materia.

2.6.6 Certificación Edificio Sustentable

La “Certificación Edificio Sustentable” (CES) permite evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile, tanto nuevos como existentes, sin diferenciar administración o propiedad pública o privada. Esta certificación se basa en el cumplimiento de un conjunto de variables, resumidas en requerimientos obligatorios y voluntarios que entregan puntaje. Para certificarse se debe cumplir con los requerimientos obligatorios y tener como mínimo 30 puntos de un máximo de 100 puntos.

Actualmente esta certificación está acotada para recintos de uso público, destinados a actividades de educación, salud (excluyendo hospitales, clínicas, cementerio y crematorio), servicios (incluyendo oficinas habilitadas y de planta libre), seguridad (excluyendo cárceles y recintos de detención) y destino social.

El proceso de certificación consta de dos partes, una etapa de evaluación en diseño, denominada pre-certificación (optativa), donde se consideran los antecedentes de arquitectura y proyectos de instalaciones del edificio, y una etapa de edificio construido, denominada certificación, donde se evalúa la arquitectura, instalaciones y construcción del edificio. Adicional a esto, el cliente puede solicitar el sello “Plus Operación”, en el cual se evalúa la gestión durante la operación y mantenimiento del edificio, la que debe ser certificada en periodos de tres años.

El comportamiento ambiental del edificio es medido en relación a la calidad del ambiente interior, uso de agua, uso de energía, generación y manejo de residuos, y gestión del proyecto desde su etapa de diseño hasta la etapa de operación y mantenimiento ilustrado en la figura 2.7 de Certificación Edificio Sustentable. Estos 5 aspectos son agrupados en cuatro categorías: Diseño Arquitectónico pasivo (Arquitectura), Diseño Arquitectónico activo (Instalaciones), Construcción y Operación. La calidad del ambiente interior y el uso de energía son las temáticas de mayor relevancia para la certificación CES, entregando mayor importancia a la etapa de diseño, en relación a la arquitectura del proyecto CES, 2014).

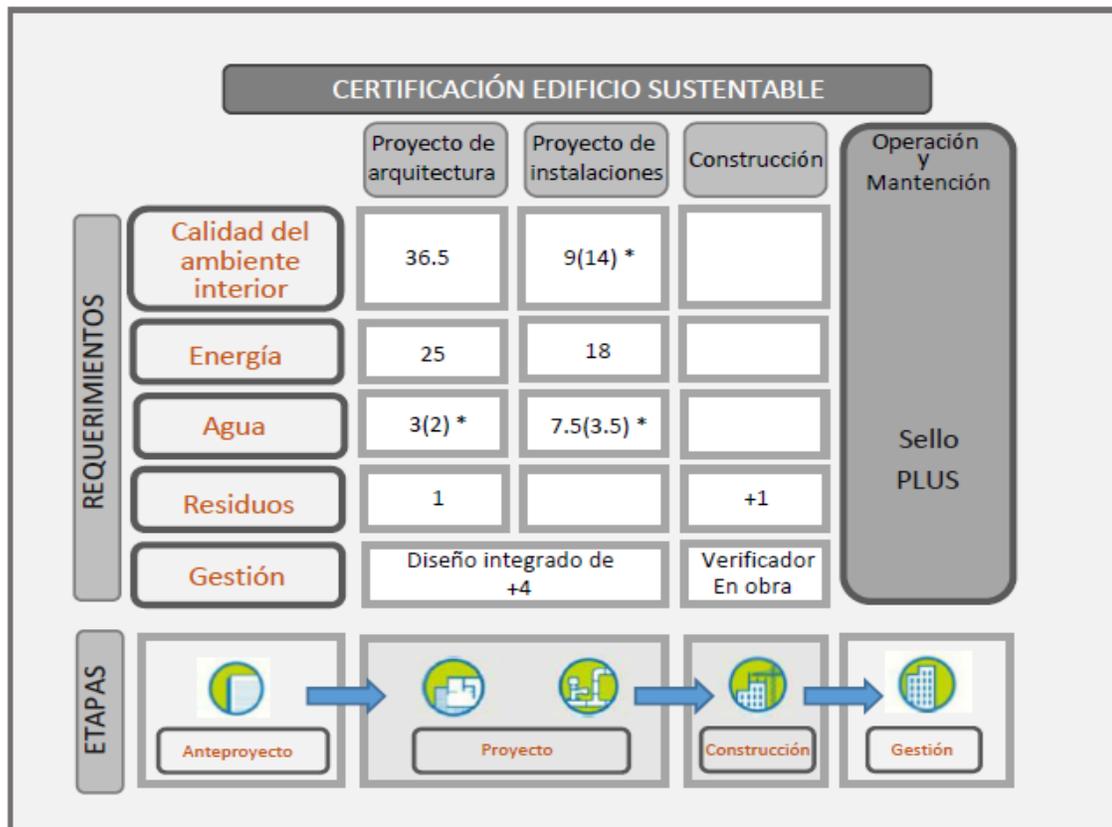


Figura 2.7 Metodología Certificación Edificio Sustentable

Fuente: Manual de evaluación y calificación CES, 2014

Las características y comportamientos mínimos que un edificio debe cumplir para optar a la certificación son denominados requisitos obligatorios, y se enfocan asegurar un estándar base en aspectos de calidad del ambiente interior, uso de energía y uso de agua. En relación a la construcción del edificio, se exigen requerimientos mínimos de manejo de residuos en concordancia con el artículo 5.8.3 de la Ordenanza General de Urbanismo y construcción. El sistema fue desarrollado por el Instituto de la Construcción con el apoyo y la participación formal de 13 instituciones públicas y privadas, reunidos con el objetivo de incentivar el diseño y la construcción de edificios con criterios de sustentabilidad, y estimular al mercado para que valore este tipo de edificación.

2.6.6.1 Categorías de certificación

La Certificación se basa en el cumplimiento de un conjunto de variables, desagregadas en requerimientos obligatorios y voluntarios que entregan puntaje. El sistema de certificación considera 33 Requerimientos Voluntarios, entregando un puntaje máximo de 100 puntos. El puntaje mínimo para obtener la certificación es de 30 puntos, y se entregan tres rangos de certificación en base al puntaje obtenido:

- Edificación certificada (30-54,5 puntos).
- Certificación Destacada (55 -69,5 puntos).
- Certificación Sobresaliente (70-100 puntos).

2.6.6.2 Estructura general

La Pre-certificación y la certificación se basa en el cumplimiento de un conjunto de 23 variables, disgregadas en 15 requerimientos obligatorios y 33 requerimientos voluntarios que entregan puntaje, y 1 requerimiento que entrega el Sello “Plus Operación”. Los requerimientos voluntarios poseen una ponderación o importancia relativa en el conjunto, lo que se traduce en un puntaje. El máximo puntaje es 100. Los Aspectos Temáticos que se evalúan son los siguientes: Calidad del ambiente interior, energía, agua, residuos, gestión.

Estas temáticas se han agrupado en cuatro categorías:

- Diseño Arquitectónico Pasivo (Arquitectura)
- Diseño de Sistemas Activos (Instalaciones)
- Construcción
- Operación

La categoría “Construcción”, se enfoca específicamente en requerimientos de “Manejo de Residuos durante la Construcción”, mientras que en la categoría “Operación” se enfoca en requerimientos “Gestión de la Operación y Mantenimiento” (CES, 2014).

2.6.6.3 Beneficios de CES

El sistema de Certificación Edificio Sustentable permite:

- Verificar por una tercera parte el cumplimiento de condiciones y parámetros predefinidos.
- Disminuir las asimetrías de información entre proveedores y usuarios, permitiendo a estos últimos distinguir desde la calidad.
- CES es idónea para evaluar un edificio de uso público en Chile, ya que utiliza y jerarquiza requerimientos según sensibilidad e interés local.
- Cuenta con el apoyo de instituciones representativas del sector de la construcción a nivel nacional, tanto público como privado, siendo así su contenido pertinente e imparcial.
- Es administrada localmente, lo que la hace accesible y capaz de adaptarse a cambios normativos y de mercado. Esto sumado al apoyo institucional, aseguran su vigencia.
- La certificación contempla verificación en terreno y acompañamiento durante la operación del edificio, apoyando al cliente y/o administrador del edificio para que en su operación éste alcance los niveles esperados en calidad ambiental y eficiencia en el uso de recursos.
- Los requerimientos son evaluados por una entidad confiable y acreditada, y los procedimientos son fiscalizados adicionalmente por la entidad administradora.

El objetivo general de actuación de la certificación edificio sustentable dentro del área de los materiales es reducir al máximo las emisiones generadas por la extracción, producción, uso y desecho de los materiales y productos del sector de la construcción, así como de los procesos asociados a ellos, tales como la obtención y transformación de las materias primas empleadas y la generación de emisiones y vertidos consecuencia de las diferentes formas de transformación, industrialización y puesta en obra expresada en forma de su contribución a los Impactos medioambientales locales.

2.7 El ciclo de vida de un producto

Una manera de visualizar todas las interrelaciones que pueden ocurrir a lo largo de todo el ciclo de vida es mediante la estructuración de un sistema o proceso, de tal modo que queden representados todos los pasos constituyentes de este sistema, es decir, desde el punto considerado como inicio hasta donde finaliza su función. Este procedimiento constituye una práctica recomendable para realizar estudios de sistemas, donde se precisa una visión holística del comportamiento integral del sistema, principalmente con objeto de gestionar aspectos técnicos, económicos o medioambientales. Esta práctica facilita la interpretación de todos los aspectos en el ámbito global del sistema, incluyendo tanto los retrospectivos como lo prospectivos. En general estos estudios se concentran en los flujos de entradas (material, energías o productos inacabados) y salidas (productos acabados/inacabados, co-productos y residuos) de cada unidad del sistema y en función de los objetivos propuestos y de los intereses del agente promotor, los residuos serán canalizados para diversos fines tales como: cambio de tecnologías, optimización de costes, estrategias de mercado, minimización de impacto al medio ambiente, entre otros (Polpaico 2013).

En la figura 2. se muestran los flujos de un sistema genérico, siendo el objetivo demostrar la visualización de un cierto proceso de producción o producto, dando hincapié a las etapas que desarrollaremos en este estudio.

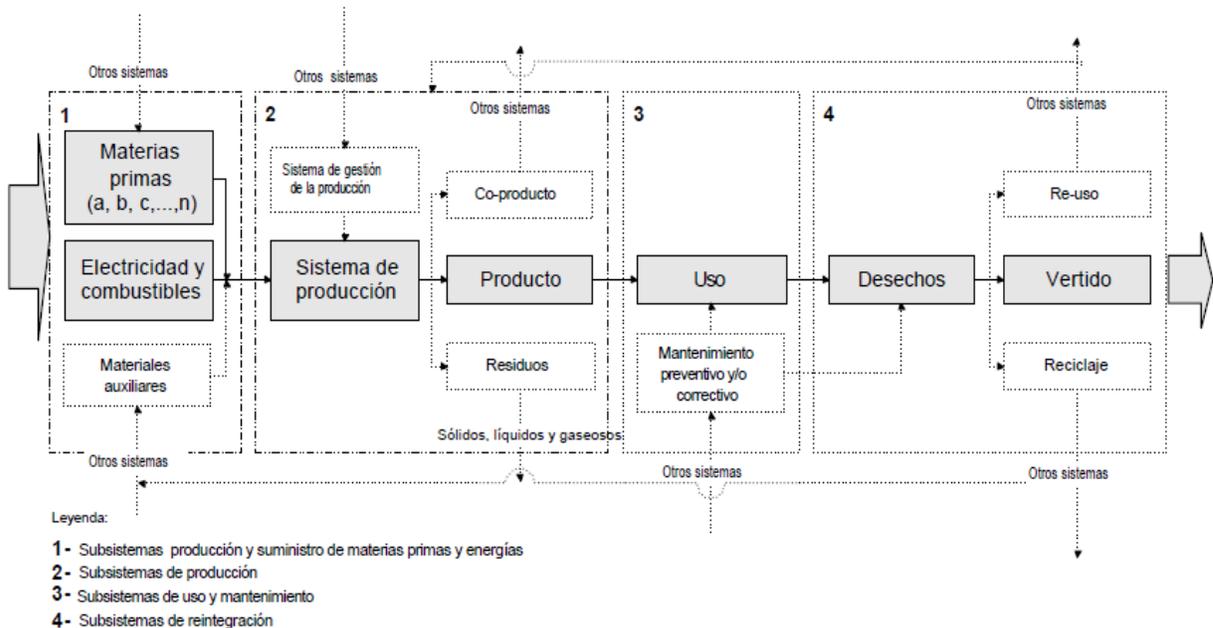


Figura 2.8 Flujo genérico del ciclo de vida de un producto

Fuente: Carvalho, 2001

Con una visión global del sistema se puede enfocar objetivamente determinado subsistema, etapa o fase de su ciclo de vida y atribuirle los parámetros correspondientes para su análisis. Por ejemplo, cuando los aspectos medioambientales del sistema sean el objeto del análisis, será posible asignarlos a cada uno de los agentes que intervienen en ese proceso concreto.

Generalmente, los productos de la construcción son productos resultantes de plantas industriales que están para cubrir las necesidades específicas del usuario o de un agente promotor. A estos productos todavía les queda un largo periodo de existencia y una vez iniciada la demolición es difícil hacer una separación de sus componentes, por factores intrínsecos al propio sistema de producción, hecho que dificulta la reutilización o incluso, hasta el mismo reciclaje. Básicamente, estos productos están compuestos en su mayoría por materiales inertes, y si bien cuando son llevados al vertedero no contaminan al agua o el suelo, sí que ocupan grandes espacios en zonas de vertidos. La visión del ciclo de vida del proceso constructivo, dado por Casanova (1997), muestra dos fases distintas: Construcción y Deconstrucción, que por su parte se componen de células correspondientes a las diferentes etapas del ciclo, donde, la célula denominada concepción, constituye el elemento bisagra entre ambas. Este ciclo, como el de cualquier producto o servicio de otro sector, debe tener definido un tiempo de vida útil, el cual en las estructuras del sector de la construcción es mucho mayor que el conocido de otros sectores, consecuentemente, ello ha influido en la percepción de que la construcción también constituye un ciclo.

2.8 Requerimientos y demanda de hormigón en Chile

En Chile los materiales de construcción más significativos por los volúmenes o pesos consumidos son: el acero, el cemento, la madera, el hormigón y las mezclas asfálticas, donde estos dos últimos requieren de un componente pétreo, conocido como árido, que, al ser mezclado con asfalto o diferentes tipos de cementos puzolánicos y/o con adiciones, otorga una resistencia mecánica deseada según su dosificación (ICH, 2010).

La producción anual de hormigón a nivel mundial es cercana a los 10 billones de toneladas aproximadas (Nehdi, 2007). En Chile, la producción anual supera los 15 millones de toneladas (ICH, 2010). Como se puede observar en la figura 2.9 sus principales componentes son agregados pétreos entre un 65 a 75% del volumen, además de 10 a 15% de cemento, 10 a 20% de agua y 1 a 2% de aire ocluido.

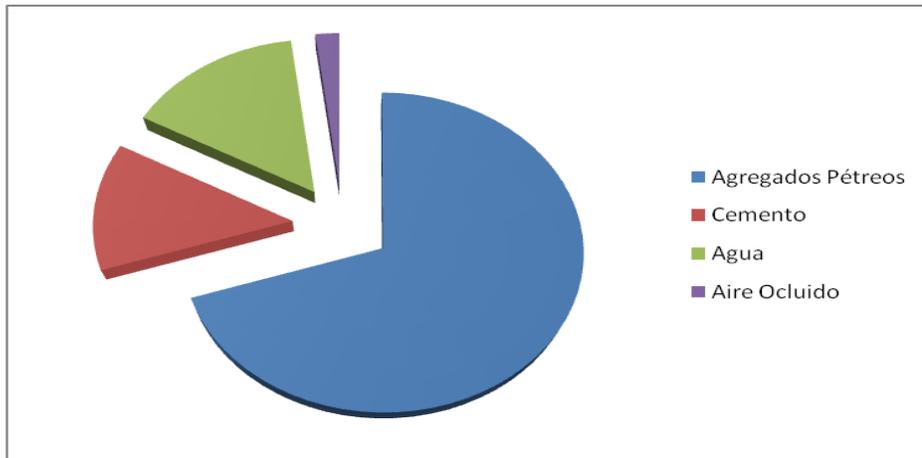


Figura 2.9 Composición Volumétrica del Hormigón

Fuente: Elaboración Propia

Lo anterior nos indica que el hormigón es consumidor de grandes cantidades de recursos naturales. De los tres componentes primarios (agregados pétreos, cemento y agua), se incorporan numerosos aditivos químicos y minerales a las mezclas de hormigón; ello representa otras entradas de energía y materiales en el producto final.

Las operaciones para la fabricación del hormigón tales como: mezclado, transporte, colocación, consolidación y terminación son operaciones de carácter intensivas energéticamente, es decir, consumen importantes cantidades de energía y se estima que son responsables del 8% de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Hakkinen, T y Vares S; 2003).

2.8.1 Producción de cemento y hormigón en Chile

El consumo de cemento en Chile según el Instituto del Cemento y del Hormigón Chile (ICH) se encuentra en un ciclo expansivo, con un aumento en la producción y consumo interno, debido a un dinamismo que presentan los proyectos de obras civiles y construcción de viviendas.

En la figura 2.10 se muestra la distribución de consumo de cemento y en la figura 2.11 la distribución de consumo de hormigón, que se produjo durante el año 2008 en nuestro país, según el ICH.

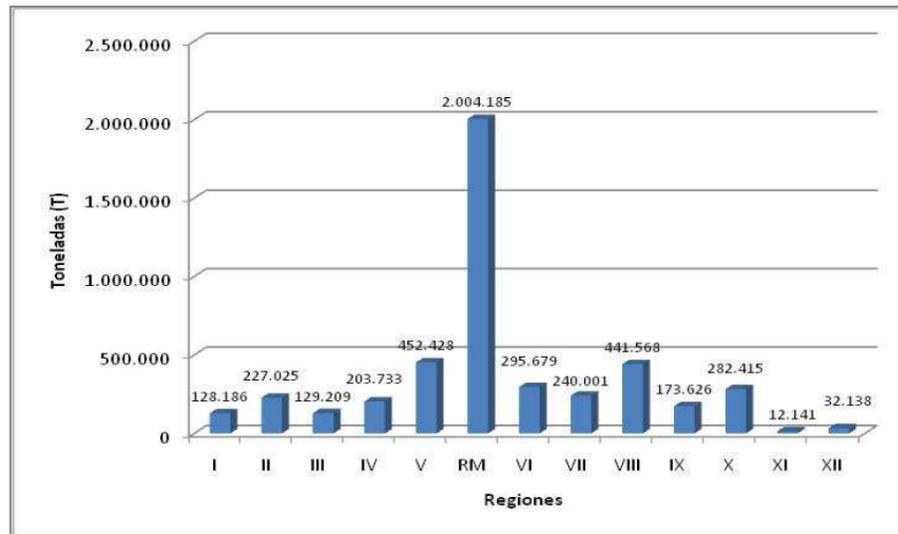


Figura 2.10 Distribución regional de los despachos de cemento año 2008.

Fuente: ICH, 2008

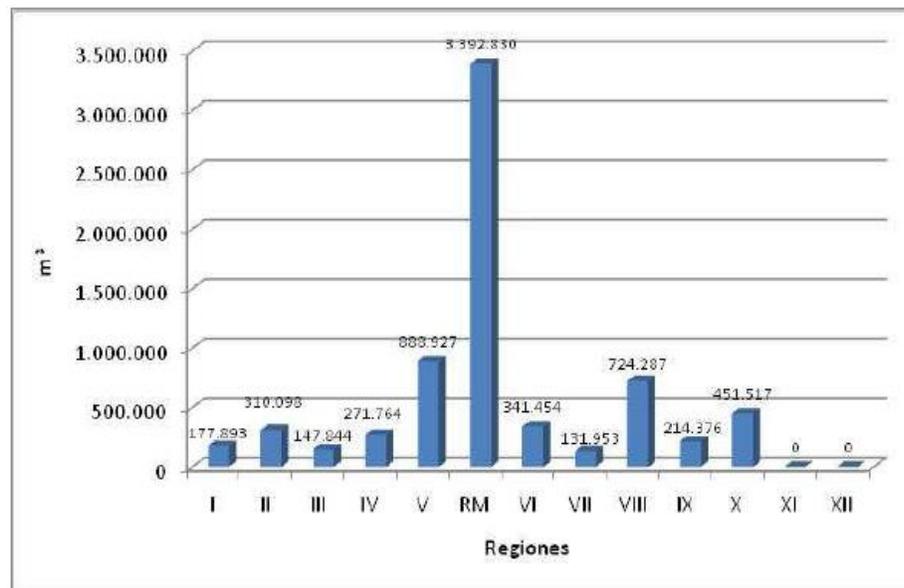


Figura 2.11 Distribución regional de hormigón pre mezclado año 2008.

Fuente: ICH, 2008

El cemento más utilizado en Chile corresponde en un 96% a cemento con adiciones, dentro de estas adiciones se encuentran la puzolana natural y la escoria de alto horno. El 4% restante corresponde a cemento importado (Cement Global Report, 2008).

2.8.2 Perfil medioambiental de hormigón

Los hormigones, morteros y pastas son materiales elaborados con cemento y adiciones que se emplean en la producción de componentes y elementos usados en la construcción de edificios u obra civil. El hormigón, debido a sus propiedades físico-mecánicas y que posee un buen comportamiento bajo determinadas condiciones ambientales (lluvia, condiciones climáticas adversas), es un material de gran versatilidad, que se emplea, principalmente, para producir componentes y elementos constructivos, mientras que los morteros y pastas por los mismos motivos, son útiles en la composición de hormigones u otras aplicaciones.

En razón a la versatilidad citada, a la hora de escoger que material es el más adecuado para solucionar una necesidad específica, los hormigones suelen ser más adecuados con relación a otros materiales (Ej.: acero o madera), bajo criterios selectivos basados tanto en aspectos técnicos, sociales o económicos, como más recientemente criterios de selección medioambientales.

Asimismo, como cualquier otro producto, los hormigones presentan a lo largo de su ciclo de vida varios aspectos medioambientales cuantificables a través de metodologías, como el análisis de ciclo de vida que permite trazar su perfil medioambiental. Sin embargo, el comportamiento del hormigón a lo largo de todo su ciclo de vida es variable, motivado por algunos factores intrínsecos al propio producto y que consecuentemente quedan reflejados a través de las variables de su perfil medioambiental. Por ejemplo:

- En su composición mezcla diferentes materiales (cemento, áridos, agua y adiciones) en cantidades variables de acuerdo con ciertas propiedades específicas, por lo tanto, su perfil medioambiental varía en función de los materiales que lo componen.
- Las condiciones de producción, transporte, puesta en obra y acabados difieren a la hora de atender condiciones específicas de uso. Por lo tanto, consumen diferentes cantidades de energía (electricidad y combustibles), añadiendo más variables y en algunos casos, el perfil medioambiental de otros materiales de su constitución. (Ej.: acero en los hormigones armados o pretensados).
- A la hora de demoler, el re uso y el reciclado son procesos todavía no consolidados en el sector de la construcción y por este motivo existe un bajo índice de aprovechamiento y acciones consecuentes en el ahorro de recursos materiales y energéticos. Además, cuando son desechados, en general pueden generar significativas cantidades en volumen de residuos con sus consecuentes costes medioambientales.

Evidentemente en el momento que un producto se muestra con un perfil medioambiental más o menos complejo, como es el caso de hormigón, es metodológicamente recomendable elegir fases o componentes de su ciclo de vida, cuyas repercusiones sean las más significativas sobre su perfil, con el fin de avanzar en este conocimiento hasta el dominio de estos aspectos. La figura 2.12 muestra, esquemáticamente el ciclo de vida de un elemento prefabricado de hormigón indicando puntualmente algunas de las etapas anteriormente descritas.

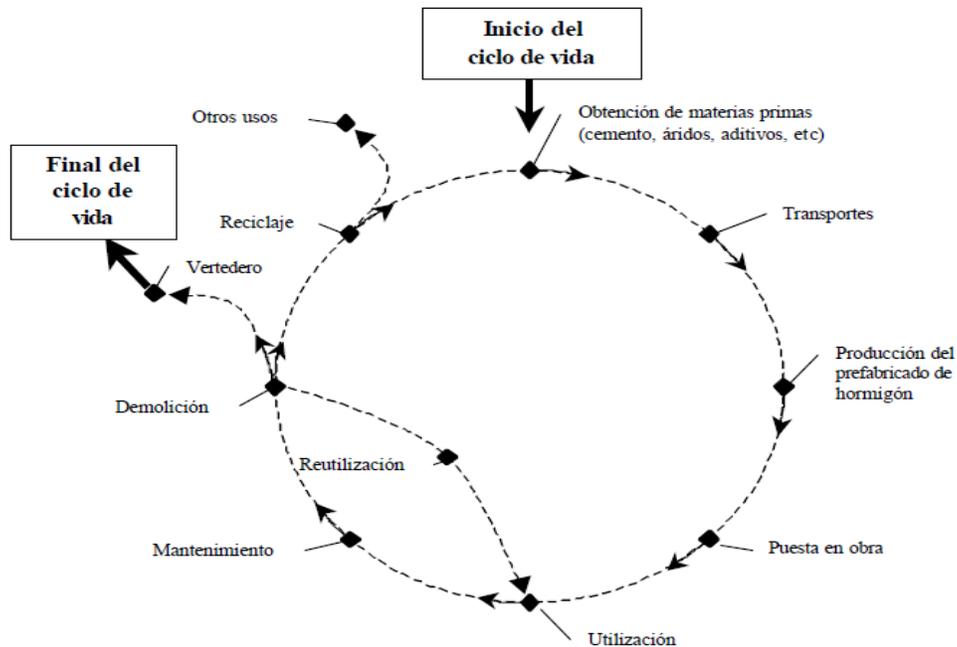


Figura 2.12 Ciclo de vida de un Hormigón Prefabricado

Fuente: ICH, Hormigón al día, 2010

Luego de esta reseña general, cabe señalar que el proceso de fabricación de hormigón demanda cantidades elevadas de materias primas para su fabricación y se necesita de altos niveles de energía para poder culminar su proceso de fabricación. El sector de la construcción habitualmente conservacionista y estático, debe sumarse a la innovación y el desarrollo haciendo esfuerzos en materia de sustentabilidad. Dentro del sector, las administraciones públicas, en base al interés general, tienen la obligación de fomentar la divulgación de valores ecológicos, distribuir la información compartida de las innovaciones medioambientales e incentivar económicamente todas aquellas iniciativas que contribuyan a la mejora del medio urbano en que vivimos. Estamos ante un incipiente cambio de filosofía del mercado de la construcción que sin duda alguna contribuirá a que nuestro hábitat pueda ser un legado en el futuro.

CAPITULO III: HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS PARA ELABORACIÓN DE GUÍA DAP

3.1 Introducción

El desarrollo de criterios de evaluación de impacto ambiental y la incorporación de nuevos factores están siendo analizados críticamente a distintos niveles de intervención y cambios específicos. Ello ha llamado la atención sobre el rol de impacto producido por la construcción, referido tanto a la calidad ambiental con relación al usuario como a perturbaciones que afectan el hábitat construido en general (Schiller, 2000).

En varios países se inició independientemente la creación de métodos de evaluación del comportamiento ambiental de las edificaciones, siendo el pionero el sistema BREEAM; otros países siguieron y hoy existen múltiples métodos nacionales en Estados Unidos, Canadá, Noruega, Suecia, Finlandia, Holanda, Francia, Japón e Inglaterra, entre otros.

Estos análisis se realizan evaluando entradas de materias primas y energías a un sistema y por otro lado, cuantificando y caracterizando las emisiones generadas en los distintos procesos de elaboración de un producto y/o entrega de servicios, desde el origen de los materiales (materia prima utilizada y la energía empleada en su fabricación), su incorporación a la construcción, el proceso de edificación, el comportamiento ambiental del edificio, el consumo de energía durante su operación, la emisión de gases, emisiones sólidas y líquidas, la calidad del ambiente interior, prolongación de la vida útil, reutilización y reciclaje de los componentes y materiales, hasta finalmente disposición de los escombros inservibles.



Figura 3.1 Análisis de ciclo de vida en la construcción

Fuente: Zabalza, 2011

3.2 Análisis de Ciclo de Vida

En la actualidad, llegar a las futuras generaciones con un medio ambiente apto para la continuidad de la civilización se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En el marco de la globalización de las economías no es posible estar al margen de esta preocupación. En estos días, los consumidores son más exigentes, tanto en la conservación de los recursos naturales y en la protección del medio ambiente, como en la calidad de los productos y servicios que reciben. Por tal motivo, la industria enfrenta el reto de producir con alta calidad y satisfacer las expectativas de los consumidores y de otras partes interesadas en el tema de la protección del medio ambiente.

El análisis de ciclo de vida (ACV), es una metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas de existencia de un producto, evaluando diversos criterios ambientales y cuantificando tanto los recursos requeridos como la generación de residuos resultante de toda su existencia; desde la extracción de la materia prima, la producción, el empaque, el transporte, el consumo, el desecho, hasta el manejo ambiental como reciclaje o reutilización (ISO 14040:2006 “Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y estructura”).

El análisis incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de:

- Extracción y procesado de materias primas.
- Producción, transporte y distribución.
- Uso, reutilización y mantenimiento.
- Reciclado y disposición del residuo.

De esta forma un ACV completo permite atribuir a los productos, todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su fabricación, las emisiones y residuos generados en el proceso de fabricación así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar. El ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida (Vallejo, 2004).

Una de las principales virtudes del ACV, al igual que ocurre con otros indicadores como la huella ecológica, es que permite integrar en un solo valor la complejidad de los sistemas de producción y consumo de productos (consumo de materias primas, emisiones, consumo de energía, entre otros), haciendo visibles impactos que otros indicadores no reflejan.

En su cálculo se ha conseguido reflejar el factor duración y los ciclos de reutilización y reciclaje. Dado su enfoque integral permite saltar entre disciplinas relacionando diseño, fabricación, construcción y mantenimiento. Finalmente, en relación al sistema de consumo actual, permite valorar los productos desde el punto de vista de su impacto sobre el medio ambiente contrastando el simple enfoque económico del mercado. (Gonçalves, 2004).

3.3 Etapas del Análisis de Ciclo de Vida

Un estudio de análisis de ciclo de vida se compone de cuatro etapas fundamentales, como se muestra en la figura 3.2, cuya interrelación junto con las aplicaciones fundamentales para cada una de las partes que componen la estructura de dicha figura y que aparecen definidas en la norma ISO 14040, serán explicadas en las siguientes secciones.

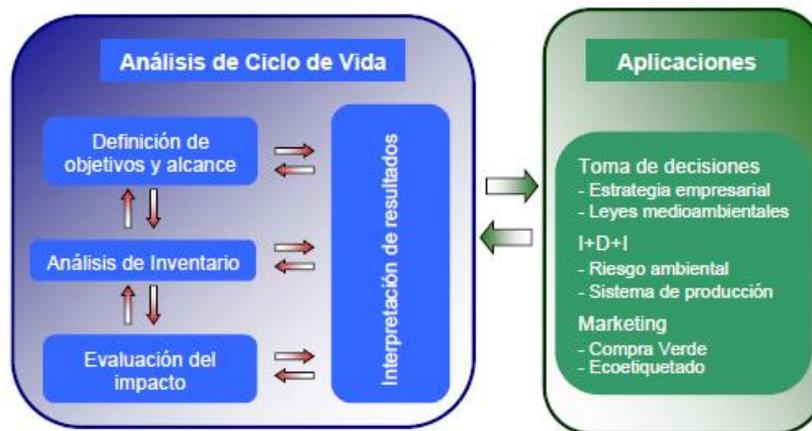


Figura 3.2 Fases y aplicaciones de Análisis de Ciclo de Vida

Fuente: Feijoo, 2007

3.3.1 Definición de Objetivos y Alcances

En esta primera etapa del análisis de ciclo de vida se establece el producto que se va a analizar y se definen los objetivos que se pretenden alcanzar. Estos objetivos deben establecer la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y el público a quien se dirige el estudio. Entre las principales acciones que componen la definición de alcance destacan:

- La definición de la unidad funcional.
- El establecimiento del sistema y sus límites.
- El análisis de la calidad de los datos.

a) Unidad Funcional

La unidad funcional se define como la cuantificación de las funciones identificadas del producto (características de desempeño) y proporciona una referencia clara de la asignación de entradas y salidas del proceso analizado. Al considerar el estudio de un único producto, la unidad funcional coincide con el concepto de base de cálculo empleado en la resolución de balances de materia y energía. Sin embargo, en los estudios de ACV comparativos es crucial definir adecuadamente la unidad funcional a partir de la correcta definición de la “función de sistema”, puesto que al ser la base de la comparación afectará los resultados del estudio (Schmid, 2008).

b) Establecimiento del sistema y sus límites

El sistema y sus límites irán en función de los objetivos a alcanzar. Se tiene que tener en cuenta los límites temporales (si el análisis es retrospectivo, presente o prospectivo), geográficos (área a la que se limita el estudio), límites entre la tecnosfera y el sistema natural (por ejemplo, ¿Es el suelo parte de la naturaleza o es un sistema de producción tecnológica, o ambos?) y límites del sistema tecnológico (que actividades se deben incluir y cuáles no). (Schmid, 2008).

3.3.2 Análisis de inventario del ciclo de vida

Esta fase se considera la más laboriosa de todo análisis de ciclo de vida. En ésta se recogen los datos de entrada y salidas asociadas al sistema objeto de estudio, cuantificándose la energía y materias consumidas, las emisiones a la atmósfera y a las aguas, los residuos sólidos y cualquier otro vertido al medio que se produzca durante cualquier etapa incluida en el ciclo de vida (Schmid, 2008). El inventario de ciclo de vida incluye los siguientes pasos:

- Definición detallada del sistema estudiado, a partir de la descripción preliminar del sistema realizada en la fase de objetivos y alcance, se define detalladamente el sistema estudiado, incluyendo la división en subsistemas interrelacionados para facilitar la recogida de los datos asociados.
- Recogida de datos: Es la etapa que más tiempo y recursos consume en la elaboración de un ACV (ver figura 3.3), será diferente en cada situación concreta. Así, las adquisiciones de datos pueden dividirse en los siguientes cuatro grupos: Comunicaciones Personales, Medidas Directas, Documentos Publicados, Fuentes Electrónicas (Schmid, 2008).

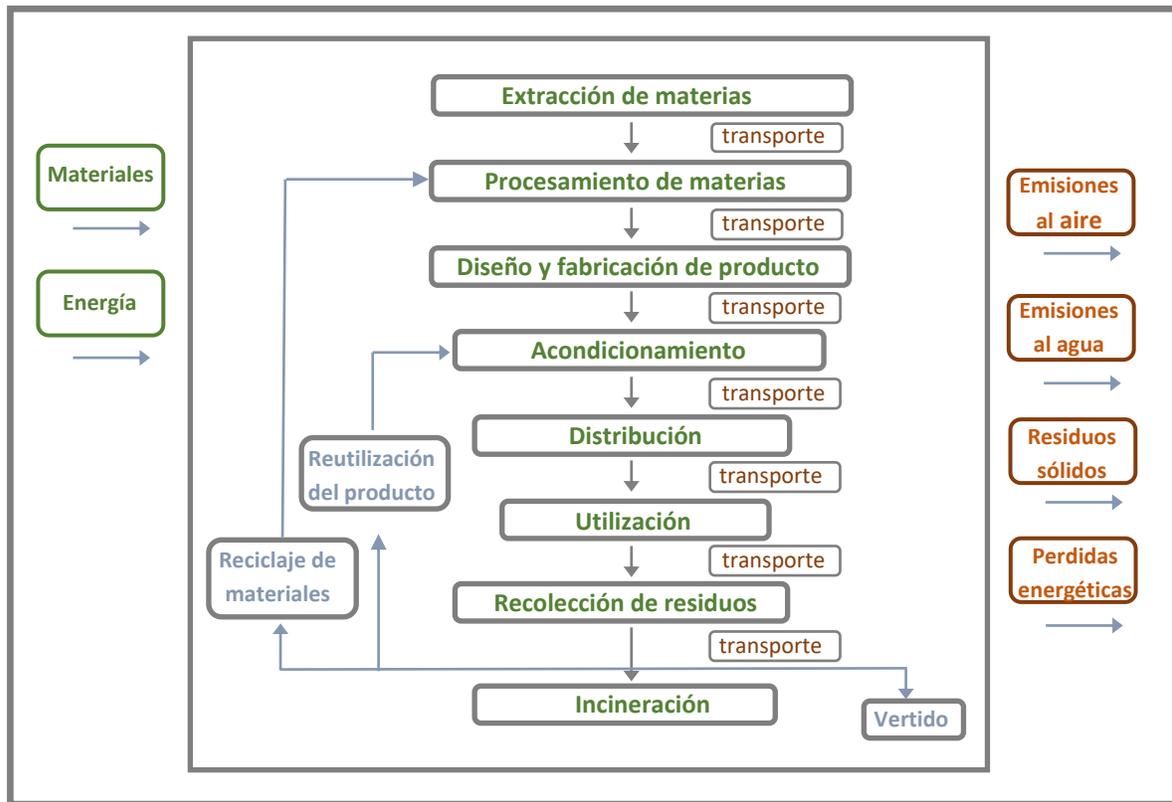


Figura 3.3 Esquema de recolección de datos

Fuente: Feijoo, 2007

- Normalización de los datos en base a la unidad funcional definida y obtención de los inventarios parciales de los subsistemas y global del sistema: En esta etapa se necesita determinar los materiales y energías ocupadas para producir el producto y encontrar los puntos críticos de emisiones que genera dicho proceso.

3.3.3 Evaluación de Impacto

La evaluación de impacto en el ciclo de vida (EICV) es un proceso técnico, cualitativo y/o cuantitativo para la caracterización y el análisis de las cargas ambientales identificadas en el inventario (Consoli, 1993), con el objetivo de convertir los datos del inventario en información ambiental más relevante (Schmid, 2008). Con las técnicas de evaluación del impacto se consigue que los centenares o miles de datos procedentes del inventario queden reducidos a unos pocos datos, representando cada uno el impacto del producto sobre el medio ambiente en diversas categorías de impacto: Calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, acidificación, entre otras.

Esta fase consta de una serie de sub-etapas:

- a) Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
- b) Calificación. Supone la agrupación de los datos de inventario según su potencial impacto en las distintas categorías previamente seleccionadas.
- c) Caracterización. Implica la aplicación de modelos para obtener un indicador ambiental en cada categoría de impacto, unificando a una única unidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de cada categoría mediante el empleo de factores de peso o equivalencia.
- d) Normalización. Consiste en la evaluación de la significación del perfil ambiental generado mediante la “adimensionalización” de las categorías (relativizando los valores obtenidos en cada categoría respecto a una cantidad de referencia, por ejemplo, el valor de aquella categoría en cuestión para el conjunto de la actividad mundial, o del país, o de la región donde se realiza el estudio) y la comparación entre las mismas.
- e) Valoración. Permite determinar, cualitativa o cuantitativamente la importancia relativa de las distintas categorías de impacto con la finalidad de obtener un resultado único o índice ambiental. La valoración o ponderación entre categorías es un paso difícil y controvertido debido a la subjetividad envuelta en el proceso (Juicios de valor, Razones políticas, entre otras) y por ello pocas veces se realiza.

La selección de categorías ambientales, la clasificación y la caracterización son etapas obligatorias, mientras que la normalización y la valoración son etapas opcionales (ISO 14042, 2006). Existen diferentes metodologías para la evaluación del impacto del ciclo de vida, cada una de las cuales establece una serie de categorías ambientales a analizar, por ejemplo, calentamiento global, eutrofización, acidificación, toxicidad, etc. Estas metodologías pueden ser agrupadas en midpoints o endpoints en función de donde definen el efecto ambiental. Las metodologías midpoint definen el efecto ambiental sin llegar a identificar el daño causado al hombre y a los sistemas naturales, como si hacen las metodologías endpoint.

La elección de una u otra metodología ha sido uno de los principales focos de discusión entre la comunidad científica que trabaja con ACV (Bare, 2000). De hecho, constituye uno de los principales objetivos de la iniciativa conjunta de la SETAC y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para la mejora de distintos aspectos del ACV que busca “aumentar el consenso global y la relevancia de las metodologías del ACV de existentes y emergentes”.

Esto implicara definir las mejores prácticas en lo referente a la elección y definición de las categorías de impacto que deben ser consideradas a la hora de realizar un estudio de ACV. Las categorías de impacto ambiental representan los impactos ambientales de interés a los cuales se quieren asignar los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV). Es decir, los impactos ambientales de los cuales se desean obtener resultados. Existen multitud de categorías de impacto ambiental y la selección de unas u otras en el ACV que se esté llevando a cabo dependerá del objetivo del estudio, publico objeto y nivel de exactitud de los resultados requeridos. A modo orientativo, se indican a continuación en la tabla 3.1 las principales categorías de impacto ambiental contempladas por la SETAC (Sociedad de Toxicología y Química Ambiental).

Tabla 3.1 Categorías de impacto ambiental

CATEGORÍA DE IMPACTO AMBIENTAL		UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN
CALENTAMIENTO GLOBAL	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas	Kg. Eq CO ₂	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad Consumida
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kg. Eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
EUTROFIZACIÓN	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	Kg. Eq. de NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
ACIDIFICACIÓN	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera	Kg. Eq SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad Consumida
FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad)	Kg. Eq. C ₂ H ₄	Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)

Fuente: IHOBE, 2009

La Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida es un sistema que evalúa, en función del desempeño, los impactos que los procesos tienen sobre el medio ambiente. La mejor manera de comprender el impacto total de un producto o de una estructura sobre el medio ambiente consiste en analizar el impacto en cada etapa de su vida.

El análisis de los impactos en cada etapa de su ciclo de vida según el documento elaborado por IHOBE en el año 2009 incluye:

- Agotamiento de los combustibles fósiles.
- Uso del agua y energías.
- Emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reducción de la capa de ozono en la estratosfera.
- Formación de ozono a nivel del suelo (niebla tóxica o smog).
- Derrames de sustancias tóxicas y perjudiciales en el suelo y las aguas.

3.3.4 Interpretación del ACV

Los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

Explícitamente consiste en la evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir las cargas ambientales asociadas con el consumo de energía, de materias primas y el impacto ambiental de las emisiones que tienen lugar durante el Ciclo de Vida de un producto, proceso o actividad. En esta etapa se combinan los resultados de las dos etapas anteriores (Análisis de Inventario y Evaluación de Impacto), con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones futuras (Contreras, 2007).

Esta etapa puede incluir propuestas cualitativas y cuantitativas de mejoras, como cambios en el producto, en el proceso, en el diseño, sustitución de materias primas, gestión de residuos, etc. De igual forma, puede ir asociada con las herramientas de prevención de la contaminación industrial, tales como; minimización de residuos, o rediseño de productos (Contreras, 2007).

Esta interpretación por lo general consta de las siguientes etapas:

- a) Análisis de contribución, mediante el que se identifican las principales cargas ambientales e impactos
- b) Análisis de dominancia o identificación de los “hot spots” o puntos conflictivos del ciclo de vida. Una vez que se conocen, será sobre estos elementos donde deben dirigirse las medidas de mejora o innovación.

- c) Análisis de sensibilidad de los datos. Este análisis ayuda a identificar los efectos que la variabilidad, lagunas o incertidumbres de los datos tienen sobre el resultado final del estudio e indican el nivel de fiabilidad del mismo.
- d) Conclusiones y recomendaciones finales del análisis desarrollado de ciclo de vida.

3.4 Aplicaciones del análisis de ciclo de vida (ACV)

La información acerca de los impactos ambientales asociados al ciclo de vida del producto se puede utilizar como una herramienta de apoyo a las decisiones, así como para aumentar la conciencia de los problemas ambientales. Debido a su naturaleza científica y cuantitativa el ACV puede ser usado para reemplazar la sabiduría convencional y evaluación intuitiva de impactos ambientales. Los resultados de un ACV pueden ayudar a través de una amplia gama de aplicaciones que incluyen:

- La comunicación sobre los aspectos ambientales de los productos.
- La mejora de productos y procesos.
- Diseño de productos y procesos.
- Desarrollo de estrategias de negocio, incluidos los planes de inversión.
- Establecer criterios de etiquetado ecológico.
- El desarrollo de políticas de productos.
- El desarrollo de estrategias de política
- Decisiones de compra.

La amplia gama de posibles aplicaciones implica que también hay una serie de actores que podrían usar los resultados del ACV. Estos incluyen:

- a) Industria y otras empresas comerciales.

La industria utiliza ACV para mejorar el producto y su diseño, la identificación de puntos de acceso a una realidad medioambiental en los procesos de producción, como también busca mejorar los procesos anteriores o procesos posteriores, como se utilice las fases de un producto. Por ejemplo, la mejora de la durabilidad de los productos de revestimientos puede requerir un mayor costo del medio ambiente en la etapa de producción, pero mirando a toda la vida útil de una casa que podría conducir a ahorros significativos al reducir la necesidad de reemplazo. Los resultados del ACV también se pueden utilizar como parte de un sistema de gestión medioambiental para demostrar continua mejora o de proporcionar información para el ecoetiquetado (Rieznik, 2005).

b) Organismos gubernamentales y regulativos.

Los gobiernos pueden usar ACV en un contexto de la formulación de políticas, sino también en su papel de un consumidor para compras sostenibles. Los datos cuantitativos de ACV se pueden utilizar para el desarrollo de estrategias de reutilización de residuos y estrategias de transporte. Las decisiones sobre la introducción de subsidios para el reciclaje o la construcción de tecnologías y materiales pueden, por ejemplo, basarse en los resultados del ACV (Rieznik, 2005).

c) Organizaciones de consumidores y grupos ecologistas.

El ecoetiquetado es uno de los principales usos de los datos del ACV para las organizaciones de consumidores. En muchos países, el ACV de varios productos representativos de un grupo de productos se utiliza para establecer los criterios de etiquetado ecológico. Las ecoetiquetas basadas en datos de ACV reflejan una visión más holística al ver todo el ciclo de vida de un producto. La calificación energética de los electrodomésticos es un buen ejemplo de esto. No es la fabricación del producto lo que es importante, si no el uso de energía en la fase de uso (Rieznik, 2005).

d) Consumidores

Los consumidores son los "usuarios finales" de los estudios de ACV y pueden utilizar los resultados de las decisiones de compra. Información confiable, transparente y comparable es la información ambiental que a menudo falta y puede ser proporcionada por los estudios de ACV (Rieznik, 2005).

3.5 Declaración Ambiental de Productos

Las Declaraciones Ambientales de Producto (en adelante DAP), son declaraciones ambientales tipo III que durante los últimos años se han erigido como la herramienta ideal para comunicar y mejorar el desempeño ambiental de productos, servicios y empresas. Las DAP presentan información ambiental cuantificada sobre el ciclo de vida de los productos y servicios para permitir la comparación entre productos que cumplen la misma función. Una DAP es objetiva, transparente, verificada por un tercer agente independiente y utiliza metodologías con base científica estandarizadas a nivel internacional. En última instancia, las reglas de categoría de producto (RCP) determinan como se debe calcular y comunicar una DAP para una tipología de producto concreta. Factores tales como la demanda por parte de los consumidores de información ambiental cuantificada creíble, la estandarización de normas de ACV y DAP a nivel internacional, la disminución de los costes de implementación, su

introducción en la normativa ambiental correspondiente y certificaciones ambientales, o la necesidad de reducir el consumo de energía y de materiales por parte de las organizaciones encargadas de elaborar productos y entregar servicios, han proporcionado un aumento exponencial de la publicación y uso de las DAP tanto a nivel internacional como nacional. Toda información ambiental generada sobre el desempeño de productos, servicios y empresas, ya sea de negocio a negocio como también de negocio a consumidor, requiere del cumplimiento de las siguientes características:

a) Objetiva e imparcial

Hoy en día el cliente, ya sea industrial o particular, rehúye el greenwashing (acto de inducir a error a los consumidores en relación con las prácticas ambientales de una empresa o los beneficios ambientales de un producto o servicio), penalizando de forma rotunda información engañosa o sesgada. En consecuencia, la información ambiental suministrada debe estar basada en métodos científicos objetivos y verificados por una tercera parte independiente (Emhart, 2014).

b) Transparencia

La comunicación ambiental suministrada debe ser cuantitativa y explicar las hipótesis tomadas que pueden condicionar el resultado mostrado (calidad de información verificable). Sin dicha información la comunicación ambiental realizada pierde gran parte, si no todo su valor. Parámetros tales como la calidad de los datos utilizados (año, tecnología, tamaño de la muestra, datos propios o tomados de bases de datos, entre otros), los límites del sistema o los factores de emisión utilizados presentan una importancia enorme en la robustez y credibilidad de la información ambiental generada (Emhart, 2014).

c) Comparable

La información general ambiental generada debe estar basada en reglas de categorías de producto internacionales estandarizadas, con el fin de que todas las hipótesis que afectan al resultado mostrado sean tratadas de la misma manera. De esta forma es posible realizar comparaciones rigurosas en el momento de la compra del producto o servicio (Emhart, 2014).

d) Complementable

Con el fin de poder calcular el impacto ambiental de sistemas es necesario que la información ambiental suministrada pueda ser complementada. Por ejemplo, con el fin de obtener el impacto sobre el medio ambiente del ciclo de vida de los materiales de un edificio es necesario sumar el impacto del ciclo de vida de los diferentes materiales que componen el elemento en estudio (Emhart, 2014).

Las DAP son la herramienta ideal de comunicación y mejora del desempeño ambiental de productos, servicios y empresas para cumplir con los requisitos exigibles al día de hoy y en un futuro inmediato.

3.5.1 Procedimiento básico para el desarrollo y verificación de una DAP

Ya se ha descrito y mostrado la estrecha relación entre una DAP y un estudio de ACV. El estudio de ACV del producto/servicio que se quiera verificar desarrollará una metodología de trabajo para evaluar el impacto ambiental del sistema (desde una perspectiva del Ciclo de Vida) y la DAP plasmará el contenido del estudio y los resultados en un documento verificado por una tercera parte independiente. Por lo tanto, para el desarrollo de una DAP se han de seguir los pasos descritos en las normas de ACV ISO 14040 y 14044 y lo descrito en la norma ISO 14025 de desarrollo de DAPs. Adicionalmente se aplicarán los requisitos específicos para ese grupo de productos establecidos en la RCP de referencia. En resumen, los pasos a aplicar serían: Comprobación de la existencia de un RCP de referencia, definición de los objetivos, alcance, límites del sistema y unidad funcional del estudio de ACV, elaboración del Inventario de Ciclo de Vida del sistema, evaluación del impacto ambiental, redacción del informe de ACV, redacción de la DAP y auditoría de verificación de la DAP (IHOBE, 2015).

3.5.1.1 Comprobación de la existencia de una RCP de referencia

El primer paso es comprobar que en el programa de verificación en el cual se quiere verificar la DAP existe una RCP de referencia aplicable al producto/servicio. Cada programa de verificación dispone de una página web con motores de búsqueda para el análisis de los RCPs disponibles y la selección adecuada de aquél que le correspondería al producto/servicio que se desea verificar (IHOBE, 2015). En un siguiente apartado se desarrolla más en detalle las características y funcionamiento de diferentes programas de verificación. Se puede dar el caso de que no exista un RCP aplicable al producto/servicio que se desea verificar. En ese caso, la empresa tiene diferentes opciones:

- Buscar otro programa de verificación, porque la no existencia de una RCP aplicable impide la verificación de la DAP.
- Ponerse en contacto con el programa de verificación y proponer el desarrollo de una nueva RCP. El programa de verificación entonces pondrá en marcha el mecanismo de desarrollo de nuevas RCPs para su creación conjunta con la colaboración de la empresa fabricante y terceras partes interesadas.

3.5.1.2 Definición de objetivos, alcance y unidad funcional

Se determinan los objetivos del estudio, su alcance, los límites del sistema y la unidad funcional a la que se referirá todo el análisis. Debido a la metodología de ACV, éste resulta uno de los pasos fundamentales del método, ya que acota el campo de trabajo y los datos a incluir en el estudio. A la hora de determinar estos parámetros, las especificaciones de la RCP de referencia son fundamentales ya que concretan los detalles en torno a este tipo de decisiones que se han de tomar.

3.5.1.3 Elaboración de Inventario de Ciclo de Vida

En este paso se recopila toda la información (en forma de balances de materiales, energía, residuos y emisiones) relacionada con cada una de las fases del ciclo de vida del producto/servicio objeto de análisis: la extracción, transformación y consumo de materias primas y componentes, los procesos de fabricación, la fase de uso y el fin de vida. La RCP de referencia será la que nos indique el nivel de detalle al que habrá que llegar en cada una de las etapas del ciclo de vida y los posibles escenarios que se deben plantear, sobre todo en cuanto a la fase de uso del producto o en cuanto al fin de vida del mismo y los tratamientos de gestión de residuos a emplear (o el nivel de flexibilidad en el caso de que permita que sea la empresa la que los determine en función de las características concretas del producto).

En aquellos casos en los que no se dispongan de datos primarios acerca de determinados procesos y/o materiales, se realizarán cálculos teóricos, estimaciones o bien asimilaciones a datos procedentes de bases de datos de inventarios de ciclo de vida reconocidas internacionalmente. Serán necesarias por lo tanto una serie de estimaciones y decisiones a la hora de concretar el contenido de este inventario y una vez más las especificaciones de la RCP de referencia serán las que nos indiquen si esas estimaciones/decisiones son válidas o no. Este paso es fundamental ya que demostrará el cumplimiento o no de la RCP de referencia (de cara a la auditoría y verificación de la DAP) y porque garantiza que todas las empresas que desarrollen DAPs en base a esta RCP son comparables por haber tenido en cuentas las mismas consideraciones en cuanto al Inventario de Ciclo de Vida recopilado (Fenercom, 2014).

3.5.1.4 Evaluación del impacto ambiental

Con los datos obtenidos en el Inventario de Ciclo de Vida, se realizará la evaluación del impacto ambiental del sistema analizado. Por lo general, dada la cantidad y relativa complejidad de los cálculos necesarios, esta evaluación se hace mediante un software de ACV. La RCP de referencia será también la que nos indique cuales han de ser las categorías de impacto ambiental que se hayan de calcular y sus unidades de equivalencia, así como cualquier otro tipo de resultados ambientales que haya que calcular/recopilar. Por lo general, el tipo de resultados ambientales que hay que mostrar en una DAP (separado por cada una de las fases del ciclo de vida) es la siguiente, aunque puede variar de un PCR a otro según cual sean las particularidades concretas del tipo de producto considerado en el alcance. Considérese por lo tanto el siguiente listado como la información más típica que se suele pedir al redactar una DAP:

- Categorías de impacto ambiental
- Consumo de recursos
- Consumo de agua
- Generación de residuos
- Otro tipo de indicadores ambientales

3.5.1.5 Redacción de informe de ACV

La información contenida en una DAP no contempla todos los puntos y requisitos exigidos a un informe de ACV según lo marcado en las normas ISO 14040 y 14044. Tiene sentido si consideramos que una DAP es un instrumento de comunicación que, aun siendo técnico, ha de ser capaz de trasladar al interesado (un cliente, el consumidor...) la información más importante en cuanto al perfil ambiental del producto/servicio verificado. La DAP por lo tanto en muchas ocasiones es un resumen del estudio de ACV que habrá sido maquetado y dado un formato comunicativo para que sea accesible para las partes interesadas no expertas en ACV. Es necesario por lo tanto que se redacte un informe de ACVC para que una vez finalizados los pasos anteriores, se recopile todo el análisis, las estimaciones, los detalles y los resultados del estudio en un informe (Fenercom, 2014).

Este informe contendrá los siguientes puntos principales (de acuerdo a lo marcado por las normas ISO 14040 y 14044):

- Objetivos y alcance del proyecto
- Unidad funcional.
- Descripción del flujograma del producto/servicio analizado.
- Límites del sistema.
- Estimaciones realizadas sobre el inventario en su ciclo de vida.
- Inventario de ciclo de vida detallado
- Análisis de la calidad de los datos.
- Evaluación del impacto ambiental.

3.5.1.6 Redacción de la DAP

En esta fase se extrae, adecúa y redacta la información obtenida en el estudio de ACV para dar respuesta a los requerimientos del programa de verificación de la DAP y los requisitos marcados en la RCP de referencia. Los apartados de la DAP, el tipo de información ambiental que se ponga, el nivel de detalle de las descripciones, la información adicional que se ha de incluir... todo vendrá indicado en la RCP de referencia.

Normalmente los programas de verificación no pre-establecen un formato concreto para la DAP. Cada empresa tiene la libertad para crear el documento de la manera que cree apropiado. Aunque hay algún sistema que sí que obliga a que la DAP tenga un formato concreto (estética, portadas y apartados armonizados para todas las DAPs que verifican), no suele ser lo normal. A la hora de redactar la DAP, como ya se ha comentado, hay que considerar que esta es un instrumento de comunicación ha de ser capaz de trasladar a una persona interesada (un técnico municipal, un cliente, el consumidor...) y normalmente no experta en ACV, la información más importante de una manera ágil y eficaz.

La DAP por lo tanto en muchas ocasiones es un mecanismo inmejorable para presentar un producto y trasladar de manera adicional información sobre su perfil ambiental y sus bondades. Es por lo tanto muy recomendable que el departamento de comunicación y marketing de la empresa participe en la redacción de esta DAP, para así también adaptar el

contenido a la imagen corporativa de la empresa y evaluar la traducción al número de idiomas que la empresa considere necesarios.

De manera genérica, una DAP debe contener al menos la siguiente información, aunque siempre será necesario comprobar las especificaciones de la RCP de referencia:

- Identificación y descripción de la organización que elabora la DAP.
- Descripción detallada del producto verificado
- Nombre del programa de verificación de DAP y dirección del administrador del sistema y, si es pertinente, logotipo y datos de contacto.
- Identificación de la RCP de referencia
- Fecha de publicación y período de validez de la DAP.
- Datos del ACV, inventario de ciclo de vida, según los requisitos de la RCP de referencia.
- Información ambiental adicional, según los requisitos de la RCP de referencia.
- Información sobre el contenido del producto, incluyendo la especificación de materiales y sustancias que pueden afectar adversamente a la salud humana y al medio ambiente, en todas las etapas del ciclo de vida.
- Información sobre las etapas que no se consideran, si la declaración no está basada en un ACV que cubra todas las etapas del ciclo de vida.
- Una mención que indique que las DAP de diferentes programas de verificación pueden no ser comparables (si la metodología de ACV, la unidad funcional, los límites del sistema no son los mismos porque no se ha seguido la mismo RCP).
- Información sobre dónde puede obtenerse el material explicativo adicional.

3.5.1.7 Verificación de la DAP

Una vez redactada la DAP del producto, se comenzarán los trámites para la emisión del certificado de la verificación. Cada programa de verificación tiene su propio procedimiento para esta etapa y su propia red de auditores homologados, pero básicamente todos coinciden en los principales pasos a desarrollar. Un proceso de revisión crítica de un estudio de ACV y un proceso de verificación de una DAP son muy similares, ya que en ambos procesos se comprueba el correcto cumplimiento de los requisitos recogidos en las normas ISO 14040 y 14044 de ACV y la norma 14025 de DAPs, además de los requisitos de la RCP de referencia. Por lo tanto, en una verificación de una DAP, el auditor o equipo auditor homologado por el programa de verificación comprobará el correcto cumplimiento de los siguientes apartados en relación a las normas de referencia:

- El origen de los datos recopilados para el inventario de ciclo de vida y el estudio de ACV desde el punto de vista de la veracidad, trazabilidad y fiabilidad de los mismos.
- La metodología de evaluación de impactos ambientales utilizada.
- La presentación del perfil ambiental y la información exigida por la RCP en el informe de ACV y la DAP.
- La coherencia y adecuación otra información ambiental adicional, si existiera.

Normalmente, un proceso de verificación de una DAP consta de dos pasos; la revisión documental y la auditoría de verificación. La revisión documental consiste en la comprobación de la estructura y disposición de la información incluida en el informe de ACV y la DAP. Se centrará en el análisis de toda la documentación que justifique los datos de entrada y la información incluida en el estudio de ACV. El objetivo de esta primera parte es asegurar la conformidad del contenido del ACV y la DAP con las normas 14040 y 14044 y con la RCP de referencia (IHOBE, 2015).

Una vez resuelta la revisión documental, se hace la auditoría de verificación como tal. Lo normal y recomendable es que se haga una visita a planta para observar el proceso productivo del producto declarado en la DAP. En esta auditoría se evaluará in situ la calidad, trazabilidad, veracidad y fiabilidad de los datos contenidos en el ACV y la DAP, así como su conformidad con los requisitos recogidos en la RCP de referencia. Una vez resuelta la auditoría y solventadas las no conformidades que pudiesen haber surgido, el equipo auditor emitirá un informe de verificación final que será enviado al programa de verificación para que este proceda a su registro y emisión del certificado.

3.5.1.8 Síntesis objetiva de la información a desarrollar para una DAP

El trabajo a realizar en el proceso de desarrollo de una RCP necesita una buena coordinación y conocimientos detallados de la metodología de ACV y los programas de verificación de la DAP. A continuación, en la figura 3.4 concluiremos resumiendo los aspectos básicos para el desarrollo de una DAP.

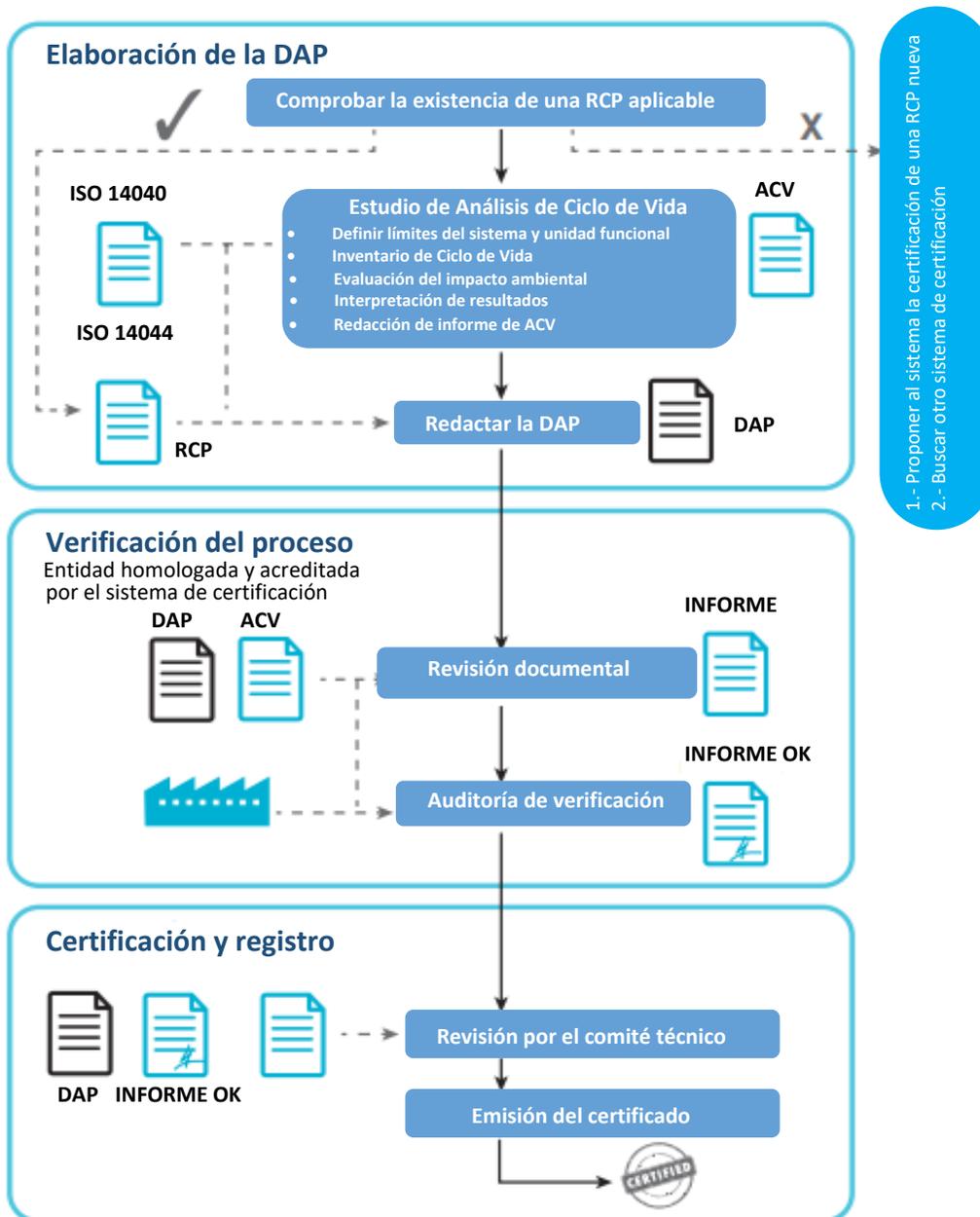


Figura 3.4 Directrices necesarias para el correcto desarrollo de una DAP

Fuente: IHOBE, 2015

3.5.2 Principales ventajas para los usuarios de DAP

Dado que las DAP contienen información basada en hechos e información verificada sobre el rendimiento ambiental de los productos y servicios, éstas pueden ser utilizadas como fuente de información para diversos fines. En este sentido es posible destacar las siguientes ventajas específicas que las DAP aportan a los usuarios.

- **Las DAP son comparables**, permiten realizar comparaciones entre productos ya que la información en las DAP se recoge y se calcula sobre la base de normas de cálculo internacionales aceptadas y armonizadas.
- **Las DAP son creíbles** debido a los requisitos solicitados en las inspecciones de rutina, a la aprobación de la revisión y al seguimiento por parte del verificador independiente.
- **Las DAP son precisas** pues la información tiene que ser continuamente actualizada sobre la base de las rutinas que la empresa dispone para la documentación y los procedimientos de seguimiento.

Las DAP presentan un amplio abanico de aplicaciones entre las que podemos destacar el marketing, la comunicación ambiental a proveedores y consumidores, la obtención de puntos en certificaciones ambientales de edificios como LEED, BEEAM, GREEN, ayudan a la exportación y abren la puerta a la mejora del desempeño ambiental de un producto. La implementación de una DAP permite conocer los procesos (materia y energía) con un mayor impacto, primer paso imprescindible para analizar propuestas de mejora sobre aquellos puntos del ciclo de vida con un mayor potencial (IHOBE, 2015).

**CAPITULO IV: METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO
DE UNA GUIA DAP PARA EL HORMIGON EN CHILE**

4.1 Consideraciones generales

Los materiales de construcción se deben considerar de vital importancia para el desarrollo sustentable de un sector, sociedad o país. Técnicamente estos productos no evolucionan de la misma manera que los materiales primarios de otros sectores, como el electrónico o automovilístico entre otros. Las razones para este freno posiblemente, estén centradas en factores históricos y culturales del sector. Estos factores se plasman en determinados puntos a través de aspectos relacionados con la tradición de uso o disponibilidad haciendo que su elección respete, en la mayoría de los casos, algunos de estos aspectos.

Presionados por la creciente demanda, consecuencia de los avances económicos y sociales contemporáneos, muchos de los materiales de construcción recibieron un impulso para traspasar el umbral de los materiales naturales y locales y convertirse en productos industrializados y exportables. Asimismo, a pesar de que algunos sectores divulguen internacionalmente el perfil medioambiental de sus productos, como es el caso del acero, aluminio, plástico, madera, cemento y hormigón, es de interés que estos datos traspasen los objetivos actuales de la estrategia de mercado, pasando al dominio público, para permitir que su uso apoye el desarrollo o mejoría medioambiental de estos materiales según las condiciones de cada localidad.

El presente capítulo presenta la metodología, los procedimientos y/o pasos que deben ser considerados para la elaboración de una guía para el desarrollo de una DAP para el hormigón en Chile, mediante la utilización de Reglas de Categoría de Productos y elaboración de Análisis de ciclo de Vida de dicho producto, con el fin de entregar los resultados como lo estipula la Norma ISO 14025 Etiquetas y Declaraciones Ambientales de Producto tipo III.

La metodología de trabajo consta de 3 etapas ordenadas según ilustra la figura 4.1 diagrama de metodología de la investigación:

- Sección 1: Recopilación de información bibliográfica y desarrollo de análisis crítico.
- Sección 2: Clasificación de impactos y adaptación de regla de categoría de producto.
- Sección 3: Desarrollo de análisis de ciclo de vida y elaboración de guía DAP

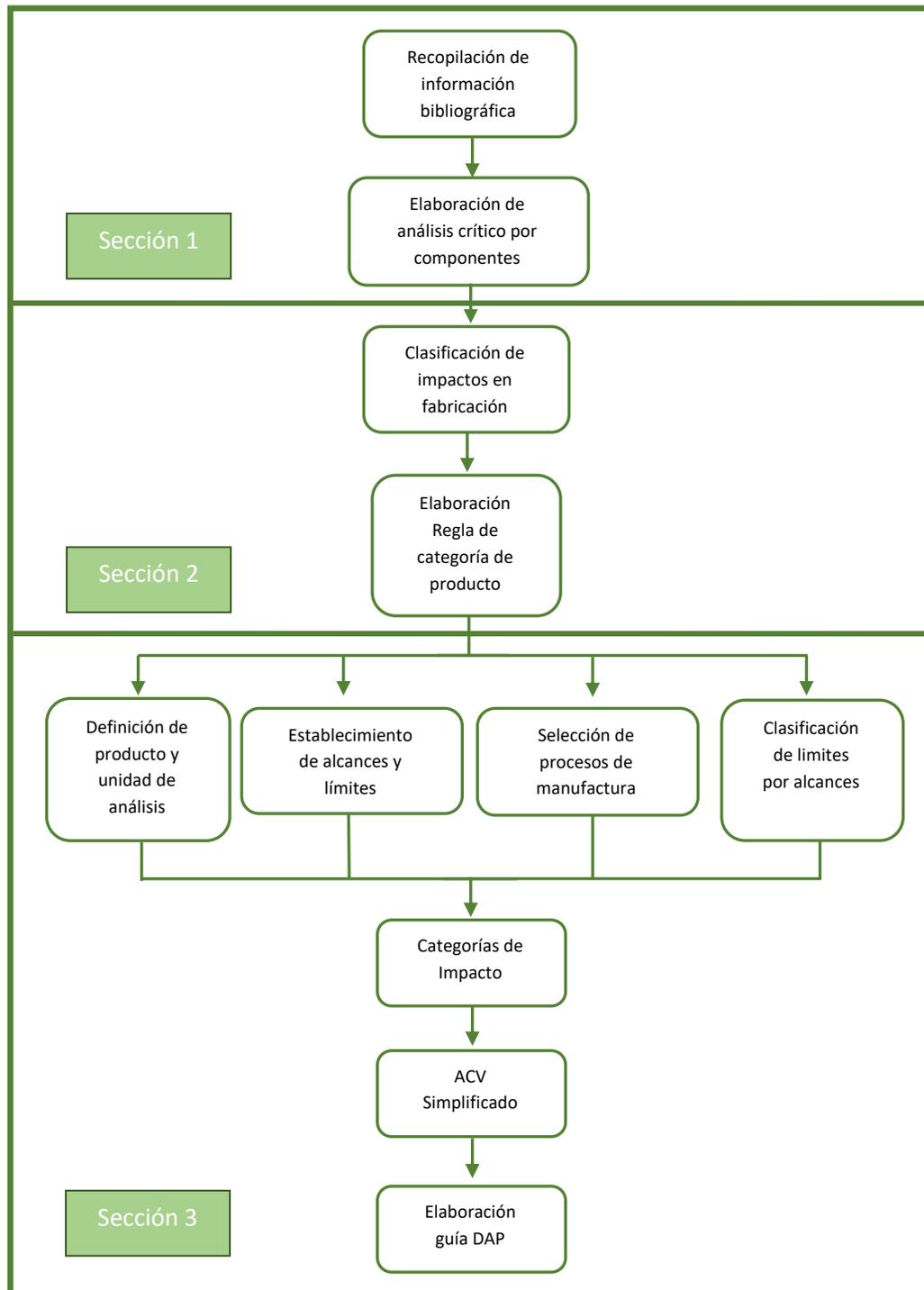


Figura 4.1 Diagrama de metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia

4.2 Recopilación de información bibliográfica a nivel nacional e internacional

La fase inicial de esta metodología para el desarrollo de una guía para generación de una DAP del hormigón, es la recopilación de información para el diseño de documentos y guías que permita a los usuarios entender el concepto, el valor y los trabajos que se deben llevar a cabo, para la elaboración de una DAP para el hormigón. Esta fase considera lograr dos principales objetivos:

- El primer objetivo, es el desarrollo de una guía que oriente al usuario acerca del proceso que se requiere realizar para la elaboración de DAP para el hormigón, tanto en el Alcance que se seleccione como el protocolo o estándar que desee o deba utilizar.
- El segundo objetivo, que en esencia es una parte del objetivo anterior, se refiere al desarrollo investigativo de los principales procesos dentro de la fabricación del hormigón, que sean relevantes para la realización de una DAP.

La información utilizada para este estudio se levantará principalmente del sistema internacional de declaraciones ambientales de productos, el cual se basa en un enfoque jerárquico siguiendo los estándares internacionales:

- ISO 9001, sistemas de gestión de la calidad
- ISO 14001, Sistemas de gestión ambiental
- ISO 14040, LCA - Principios y procedimientos
- ISO 14042, LCA - Evaluación del ciclo de vida
- ISO 14043, LCA – Interpretación de ciclo de vida
- ISO 14044, LCA - Requisitos y directrices
- ISO 14025, declaraciones ambientales tipo III
- ISO 21930, la declaración ambiental de los productos de construcción
- EN 15804, la sustentabilidad de las obras de construcción - Declaraciones Ambientales de Producto.

Las instrucciones generales de este estudio se basan en estas normas, así como las instrucciones para el desarrollo de Reglas de Categoría de Productos (RCP), generadas por la Guía para el desarrollo de Reglas de Categoría de Productos (Guidance for Product Category Rule Development).

4.3 Análisis crítico por componentes del hormigón

Se realizará un estudio de los principales impactos potenciales generados en el proceso de fabricación de hormigón, tomando en cuenta los impactos presentados en las principales RCP internacionales de hormigón elaboradas en la actualidad, la del Carbon Leadership Forum desarrollada en conjunto con The National Ready Mixed Concrete Association y publicada en noviembre de 2012 en Estados Unidos y la del Cement Sustainability Initiative (CSI) publicada en febrero de 2013 a través del programa The International EPD System, con el fin de acertar con los parámetros correctos para la integración de categorías de impactos adecuadas a la realidad de nuestro país.

4.4 Clasificación de impactos en proceso de fabricación de hormigón

El objetivo de esta fase del trabajo es la identificación de los principales procesos que se encuentran presentes en las actividades productivas, de servicios y en general dentro del proceso de fabricación de hormigón. Esta información constituirá la base para una identificación posterior de todas las materias primas y emisiones que participan en dichas actividades y pudiesen ser fuentes relevantes dentro del proceso de fabricación de hormigón para el desarrollo de la DAP.

Para tales propósitos, en primer lugar, la fase contempla la identificación de las actividades productivas, y de servicios relevantes en la fabricación de hormigón en nuestro país, para luego proceder a la identificación de los procesos que son parte de la realización de estas actividades.

4.5 Reglas por Categorías de Producto (RCP)

4.5.1 Definición del Producto

El producto seleccionado se definirá como el producto sobre el cual se realiza el inventario de emisiones para las diferentes categorías de impacto. Por lo tanto, los resultados del inventario de emisiones serán representativos del ciclo de vida del producto estudiado. El estudio del producto escogido debe satisfacer los objetivos seleccionados por la empresa para su inventario de emisiones.

4.5.2 Definición de unidad de análisis

Esta unidad de análisis (unidad funcional) definirá las características de la función del producto en estudio. La unidad funcional incluye información acerca del producto, tal como la función o el servicio que un producto cumple, la duración de la vida de servicio (cantidad de tiempo necesario para cumplir la función), y el nivel esperado de calidad. Basado en la unidad de análisis, se determina el *flujo de referencia*.

El flujo de referencia es la cantidad de producto estudiado necesario para completar la función definida en la unidad de análisis. En el caso de productos intermedios, donde la función del producto es desconocida, la unidad funcional se define como una unidad declarada y se especifica un determinado flujo de referencia (Enguita, 2012).

En esta etapa se entregará una breve descripción del producto a evaluar, en este caso, el hormigón y se proporcionará una unidad declarada para caracterizar el flujo de referencia de la cantidad de material, ya que esta RCP no incluye las fases de uso o fin de ciclo del hormigón.

4.5.3 Establecimientos de alcance y límites de sistema

Durante el establecimiento de los alcances del estudio, se identificarán los procesos a lo largo del ciclo de vida del producto para recopilar datos y calcular las emisiones de dicho producto.

El ciclo de vida de un producto se divide en cinco etapas generales consecutivas e interrelacionadas, que comienza con la extracción de materia prima, pasando por el proceso de fabricación del producto, y hasta que los componentes del producto son desechados y vueltos a la naturaleza. Las etapas del ciclo de vida son: Recolección de materia prima y procesos previos, producción y fabricación del producto, distribución del producto, uso del producto y fin del ciclo de vida (desecho). En este paso se debe elegir que etapas forman parte del estudio y que etapas no serán consideradas.

4.5.4 Selección de procesos de manufactura para calificación y cuantificación de emisiones

Se debe estudiar el ciclo de vida del producto para poder generar un inventario de emisiones, ya que los flujos y procesos identificados en el mapa son la base de la recolección de datos y del cálculo. A continuación, se listan las directrices para realizar la selección de procesos:

- Identificar las etapas del ciclo de vida.
- Identificar todos los procesos aguas arriba del producto
- Identificar los flujos de entrada de componentes y los procesos aguas arriba del producto.
- Identificar los flujos de energía asociados a cada proceso aguas arriba del producto.
- Identificar todos los flujos de entrada de material y energía necesarios el final de vida del producto estudiado.

4.5.5 Clasificación de límites operacionales por alcances de investigación

Esta fase involucra identificar las emisiones asociadas a sus operaciones, categorizándolas como emisiones directas e indirectas, y escogiendo los alcances de estas. Las emisiones directas son aquellas emitidas desde fuentes que son controladas o que son propiedad de la empresa. Las emisiones indirectas son aquellas que son consecuencias de las actividades de la empresa, pero que son emitidas desde fuentes que no son controladas o que no son propiedad de la empresa.

Para ayudar a delinear las fuentes de emisión directa e indirecta, se definirán tres alcances o “scopes” (alcance 1, alcance 2 y alcance 3) para evaluar y reportar GEI: el alcance 1 se refiere a las emisiones de GEI directas, es decir emisiones desde fuentes controladas o que son propiedad de la empresa; el alcance 2 se refiere a las emisiones indirectas debidas al uso de energía comprada, sea electricidad, vapor o calor; por último, el alcance 3 se refiere a otras emisiones indirectas, es decir emisiones que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que son emitidas por fuentes no controladas o que no son propiedad de esta (Ministerio de energía de Chile, 2012).

a) Alcance 1, Emisiones de GEI Directas

Las emisiones de GEI directas, desde fuentes que son propiedad o que son controladas por la empresa, por ejemplo, de la combustión de hornos, vehículos o procesos que son de propiedad o que son controlados por la empresa.

b) Alcance 2, Emisiones de GEI Indirectas Debidas al uso de Energía

El alcance dos toma en cuenta las emisiones debido a la generación de electricidad consumida y comprada por la empresa que reporta. La energía comprada se define como la energía que es traída dentro de los límites organizacionales de la empresa.

c) Alcance 3, Otras Emisiones Indirectas

El alcance tres es una categoría de reporte adicional, que permite el tratamiento de otras emisiones indirectas. Las emisiones del alcance tres son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad y que no son controladas por la empresa.

4.6 Categorías de impacto

Según el análisis crítico desarrollado en la sección 4.3, complementado con un estudio bibliográfico y vislumbradas las emisiones detectadas en el proceso de fabricación del hormigón se definen en la RCP las categorías de impacto asociados al proceso de fabricación.

4.7 Establecimiento de análisis de ciclo de vida simplificado del hormigón

En su expresión más general, se elaborará una guía para el inventario de ciclo de vida del hormigón. Se realizará la guía necesaria para la recopilación de los datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas de la fabricación del hormigón y sus componentes. Se diferenciarán entradas y salidas de la producción de hormigón.

Parte de los flujos materiales y energéticos proceden de la naturaleza o se destinan a ella, mientras que otros flujos tienen su origen o destino en la tecnosfera. Por lo que el procedimiento para realizar la guía para el análisis de inventario se llevará a cabo utilizando los alcances antes mencionados en el punto 4.4.5 clasificación de límites operacionales por alcances de investigación.

4.8 Elaboración de formato de DAP para el hormigón en Chile

Se elaborará un formato de declaración ambiental de producto, con el fin de entregar la información del producto a los consumidores, información recopilada durante todo el desarrollo de la metodología. Se incluirá dentro de esta guía DAP la siguiente información esencial y necesaria para presentar los resultados que se requieren:

- a) Información relacionada con el programa
 - Referencia al programa operador de la DAP.
 - Logotipo del programa.
 - Referencia a la RCP en la cual la DAP está basada.
 - Número de registro de la DAP.
 - Fecha de publicación y validez.
 - Declaración del año cubierto por los datos utilizados en el cálculo del ACV.

- Alcance geográfico de la aplicación de la DAP.
 - Referencias a páginas web o estudios relevantes.
- b) Información relacionada con la empresa y el producto
- Descripción de la compañía, productos fabricados, número de empleados, política ambiental de la empresa, sistema de gestión, entre otros.
 - Características técnicas del producto: La RCP de referencia determinará de forma exacta los parámetros a indicar en función del tipo de producto.
 - El alcance y límites del sistema.
 - Descripción del uso previsto.
 - Todas las hipótesis referidas al tiempo de vida del producto, intervalos de reparación y tiempo de vida útil, entre otras.
 - Breve descripción del estudio de ACV subyacente.
- c) Unidad funcional o unidad declarada
- Unidad funcional: desempeño cuantificado de un sistema del producto para su utilización como unidad de referencia. Debe incluir todas las características que influyen en su rendimiento ambiental.
 - Especialmente en los productos de la construcción donde desconocemos la etapa de uso y/o fin de vida se utiliza la unidad declarada, según los límites propuestos en el análisis.
- d) Declaración de contenido del producto
- Información sobre el contenido del producto, incluyendo la especificación de materiales y sustancias que puedan afectar adversamente a la salud humana y al medio ambiente, en todas las etapas que sean estudiadas en su ciclo de vida.
- e) Información relacionada con el rendimiento ambiental

En base a la información del estudio realizado de ACV, se debe incluir información acerca del uso de recursos, consumo de energía, emisiones contaminantes del inventario de ciclo de vida y los impactos ambientales potenciales. La información ambiental debe ser indicada para las diferentes etapas del ciclo de vida (extracción de materiales, distribución, manufactura, etc). Las etapas del ciclo de vida incluidas y el nivel de agregación de estas variaran en función del producto y lo que indique la RCP correspondiente.

Los indicadores de inventario incluidos en esta guía DAP deberán ser los siguientes:

- Recursos no renovables: Recursos materiales y recursos energéticos.
- Recursos renovables: Recursos materiales y recursos energéticos.
- Recursos secundarios: Recursos materiales y recursos energéticos.
- Flujos de energía recuperada
- Uso de agua dividido en cantidad total de agua y cantidad de agua utilizada en forma directa en el proceso de manufactura de este producto.

f) Impacto potencial sobre el medio ambiente

Esta guía para la elaboración de una DAP podrá incluir según el análisis realizado sobre los potenciales impactos los siguientes parámetros:

- Cambio climático (kg CO₂).
- Reducción de la capa de ozono en la estratosfera (kg CFC-11).
- Acidificación de suelos y fuentes de agua (kg SO₂).
- Eutrofización (kg PO₄²⁻).
- Formación de oxidantes fotoquímicos (kg etileno).
- Otros indicadores de impacto indicados en la RCP en caso de haberlos olvidado.

g) Declaraciones obligatorias

La siguiente información debe estar incluida en esta guía para la elaboración de una declaración ambiental de producto de forma obligatoria:

- Medio para obtener información adicional (referencia sobre metodologías escogidas).

h) Verificación

Esta declaración ambiental de producto debe otorgar información acerca del proceso de verificación que se realice para su validación. Con el fin de entregar transparencia esta DAP debe entregar el nombre y organización del coordinador e información sobre como contactarle a través del administrador del programa y debe además entregar una verificación independiente de la declaración y de los datos de acuerdo con la norma ISO 14025 of 2006.

**CAPITULO V: GUIA PARA EL DESARROLLO DE UNA
DAP MEDIANTE ACV SIMPLIFICADO Y RCP DEL
HORMIGON**

5.1 Análisis crítico de componentes del hormigón

El hormigón es un material de construcción cuyo consumo ha ido incrementando potencialmente durante los últimos años, debido al sinfín de ventajas que presenta, caracterizándose como un material versátil, eficiente e indispensable en el desarrollo de la construcción moderna, además el segundo material más consumido por el hombre después del agua. Gran parte de las construcciones, ya sean industriales, comerciales o residenciales lo utilizan como elemento principal. Más aún si son obras de gran tamaño que se espera tengan una extensa vida útil. En Chile el hormigón es el material de construcción más empleado en la edificación, ofreciendo una gran versatilidad en su uso, gracias a la capacidad para adoptar la forma del molde que lo contiene. Su resistencia mecánica, su estabilidad ante el fuego o el aislamiento acústico son algunas de sus características más destacadas, a las que se suma otro dato clave: su inercia térmica, que cada vez es más valorada en términos de eficiencia energética y, por supuesto, en términos de sustentabilidad (Escalona, 2013).

El hormigón, básicamente, consiste en una mezcla en frío de materias primas: de cemento (10-15% en volumen), agua (15-20%), arena y grava (60-75%) y que, en ocasiones, se completa con determinados aditivos para favorecer algunas de sus propiedades. En ésta mezcla en frío, la masa de cemento y el agua recubre la superficie de los áridos y los une en una pasta continua, que inicialmente permanece en estado plástico y con el paso del tiempo endurece.

Dentro de la cadena de fabricación podemos resaltar los siguientes parámetros:

- **Materias primas (*Cemento*):** El cemento se almacena en silos elevados, localizados por encima del área de carga de las hormigoneras. Estos silos cuentan con filtros de mangas para controlar las emisiones de polvo de cemento que tiene lugar cuando se carga el cemento en los silos. El polvo mineral se recicla hacia el silo de almacenamiento para su uso.
- **Materias primas (*Áridos*):** Los áridos se almacenan en tolvas cerradas que cuentan con una cinta transportadora-pesadora, para hacer llegar estos áridos a la cinta elevadora que los aporta a la boca de descarga del camión hormigonera. Los áridos se acopian y se manipulan por vía húmeda lo que impide la generación de polvo.
- **Materias primas (*Aditivos*):** Son adiciones líquidas utilizadas para controlar las características del hormigón o para mejorar la actuación del hormigón en una determinada aplicación. Los aditivos son suministrados en bidones o garrafas, cuyos envases son gestionados por el fabricante.

- Amasado del hormigón: Se supervisa la dosificación de los ingredientes desde la sala central de control. Las cantidades de los ingredientes en seco se determinan por peso y son añadidos al camión mediante la cinta elevadora y el cemento desde los silos elevados mediante sinfín que lo aporta a la tolva de pesaje de cemento y este es aportado mediante sinfín a la boca de descarga de la cuba de hormigón. Los ingredientes se añaden a la cuba por su parte trasera y superior a través de una boca de descarga metálica. Las capacidades de los camiones hormigonera varían dependiendo del uso previsto del vehículo y de la producción de la planta. El hormigón es amasado en camión hormigonera.
- Lavado de la cuba: Al final del día, la cuba se ha de enjuagar para limpiar todo el hormigón adherido a las paredes interiores. Normalmente, este proceso es realizado por el conductor, usando mangueras. El agua limpia o reciclada se añade al tambor, y se hace girar éste rápidamente en ambas direcciones. Esta agua de lavado se descargará en una balsa de decantación.

Dentro de los procesos de manufactura de hormigón las principales emisiones son las que se producen por gases de combustión de los camiones para realizar la mezcla de los componentes y las emisiones producidas por el material particulado que queda volátil al realizar la dosificación de la mezcla. Por tanto, como se puede comprobar, no existen en la fabricación del hormigón procesos de combustión de hornos para tratamiento de materias primas o para el producto final lo que sí se puede observar en el proceso de manufactura de cemento, que puedan originar emisiones gaseosas que se dispersen a la atmósfera y que permanezcan en ella, que sean transportadas a grandes distancias o que reaccionen con otros de sus componentes gaseosos. En las plantas de hormigón nos encontramos como principales emisiones:

- Las emisiones producidas por la combustión de los camiones para manufactura de hormigón
- Las procedentes del manejo de productos pulverulentos (cemento) y
- Las procedentes del tránsito de vehículos y maquinaria (emisiones de partículas, gases de escape y ruido).

Así, el proceso de fabricación del hormigón consiste en la dosificación de sus componentes en las proporciones adecuadas y en su mezcla. Simultáneamente y como lo muestra la figura 5.1, la manufactura de este producto requiere de otras operaciones auxiliares como pueden ser la recepción y almacenamiento de las materias primas, su transporte y puesta en obra entre otras.

Por otra parte, el hormigón no sólo debe analizarse en una sola etapa, sino idealmente en todo su ciclo de vida, ya sea en la materia prima que se utilicen en su fabricación, el uso energético en producción y operación y durabilidad en su estructura. Esto nos lleva a analizar y como ilustra la figura 5.1 los procesos de extracción y elaboración de materias que componen este producto, así como los procesos de fabricación de este material que cada día es más requerido y utilizado en el desarrollo de la sociedad.

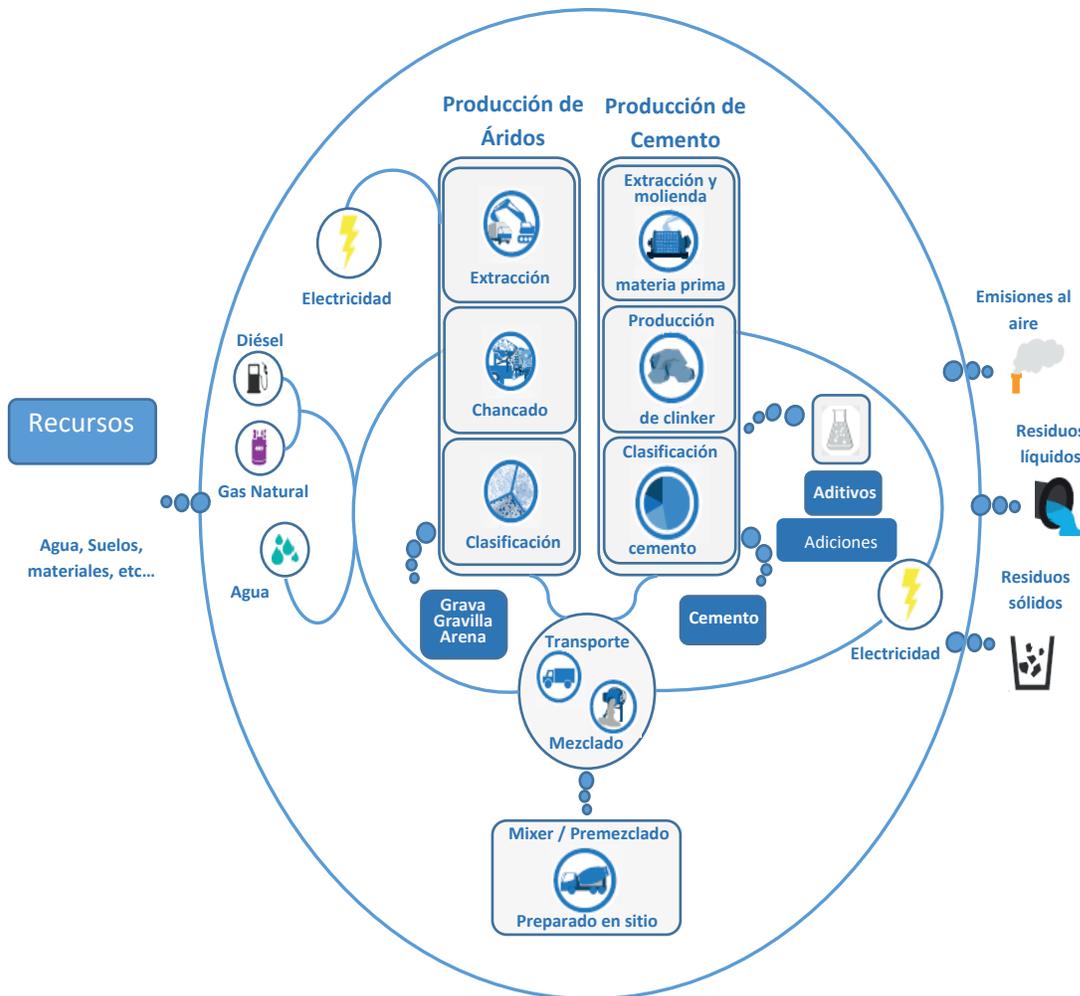


Figura 5.1 Proceso de fabricación de hormigón

Fuente: ECOBASE, 2015

La producción mundial anual de cemento de 1,6 billones de toneladas ocasiona aproximadamente el 7% de la carga total de dióxido de carbono en la atmósfera. El hormigón común contiene aproximadamente un 12% de cemento y 80% de agregados en masa. Esto significa que globalmente, para hacer el hormigón, se están consumiendo arena, grava, y roca triturada a una velocidad de 10 a 11 billones de toneladas por año (Arenas, 2007).

Las operaciones de extracción, procesado, y transporte que involucran tales cantidades de agregados consumen a su vez, cantidades considerables de energía, y afectan adversamente la ecología en las áreas forestadas y lechos de los ríos. La industria del hormigón también emplea grandes cantidades de agua: el requerimiento de agua de mezclado solamente es de aproximadamente 1 trillón de litros, cada año. No hay estimaciones confiables, pero grandes cantidades de agua se usan como agua de lavado en la industria del hormigón elaborado y para el curado del hormigón. Además de los tres componentes primarios, esto es, cemento, agregados, y agua, se incorporan numerosos aditivos químicos y minerales a las mezclas de hormigón (Arenas, 2007). Finalmente, el mezclado, el transporte, la colocación, y la consolidación del hormigón, todas estas operaciones consumen una gran cantidad de energía para realizarse de forma óptima lo que nos lleva a realizar un análisis de los principales componentes que conforman este solicitado material según la estructura de la figura 5.2 que presenta a continuación

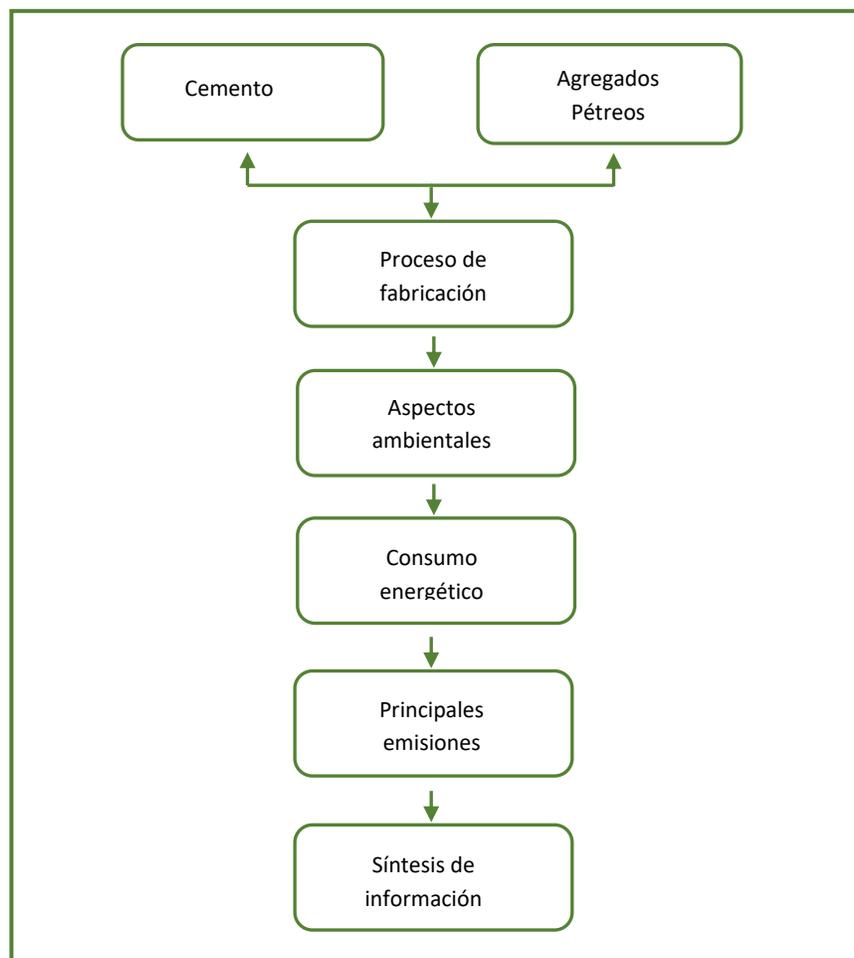


Figura 5.2 Metodología de análisis crítico

Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Fabricación de cemento y extracción de agregados pétreos

Según el estudio bibliográfico realizado para este análisis se puede describir de manera resumida los siguientes alcances:

a) Cemento

En el proceso de fabricación del cemento pueden diferenciarse tres etapas en función del producto obtenido en el transcurso del proceso de homogenización: Crudo, clinker y cemento.

- Crudo: Procede de la extracción y molienda de materias primas (caliza, marga, arcilla) y de la homogeneización de estas.
- Clinker: Producto semielaborado procedente de la cocción del crudo en un horno rotatorio a altas temperaturas (1450°C aproximadamente).
- Cemento: Se obtiene a partir de la molienda conjunta del clinker con otros componentes (cenizas volantes, escoria de alto horno, puzolana, yeso).

La homogeneización de las materias primas puede ser por vía húmeda, por vía seca o por vía semi-seca, dependiendo de si se utilizan corrientes de aire, agua o ambas para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización, de donde pasa a los hornos en los que se produce la cocción del crudo dando lugar al clinker. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en silos de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los tiempos en hornos son más cortos y el crudo necesita estar menos tiempo sometido a altas temperaturas para formar el clinker (ICH, 2010).

b) Agregados Pétreos

Los áridos, son materias primas fundamentales e imprescindibles para la sociedad. En general, son considerados como materiales baratos, abundantes, situados necesariamente cerca de los centros de consumo. Son partículas granulares de material pétreo de tamaño variable. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. En este último caso, actúan procesos de selección o chancado utilizados en las respectivas plantas de áridos (Ebensperguer, 2003).

Las fuentes naturales de áridos en Chile corresponden, tanto a depósitos no consolidados sedimentarios como a depósitos consolidados o en rocas, todas éstas se localizan en todo el país. Los principales tipos de depósitos sedimentarios explotados corresponden a conos de deyección, localizados principalmente en las laderas occidentales de la Cordillera de

los Andes y de la Cordillera de la Costa; abanicos aluviales, ubicados en las depresiones intermedia Sur y Norte; depósitos de terrazas fluviales, principalmente en la Pre Cordillera Andina; Depresión Intermedia y Planicies Litorales. La mayoría de estos depósitos son de edad cuaternaria, principal fuente de áridos en el país (80% de la extracción). La extracción mecanizada de los áridos en pozos se realiza mediante el empleo de maquinaria pesada como retroexcavadoras, excavadoras, cargadores frontales u otros y de acuerdo a un diseño de explotación considera conceptos de bancos, taludes y otros además de contar con un programa de trabajo que incluya los mecanismos de transporte. (Uribe, 2011).

5.1.2 Aspectos ambientales del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos

a) Cemento

Los principales aspectos ambientales asociados a la producción de cemento son las emisiones a la atmósfera y el consumo de energía. Los vertidos de agua se limitan a las escorrentías de lluvia, la refrigeración de equipos (normalmente en circuito cerrado) y al agua sanitaria y no son un impacto ambiental significativo. El almacenamiento y la manipulación de combustibles son una fuente potencial de contaminación del suelo y de las aguas freáticas, por lo que las fábricas deben dotarse de medios adecuados que garanticen la protección del suelo. La figura 5.3 que se muestra a continuación, ilustra un balance de masas típico de la producción de una tonelada de cemento gris con el proceso de vía seca, para una fábrica que utilice fuelóleo como combustible (CONAMA, 2009)

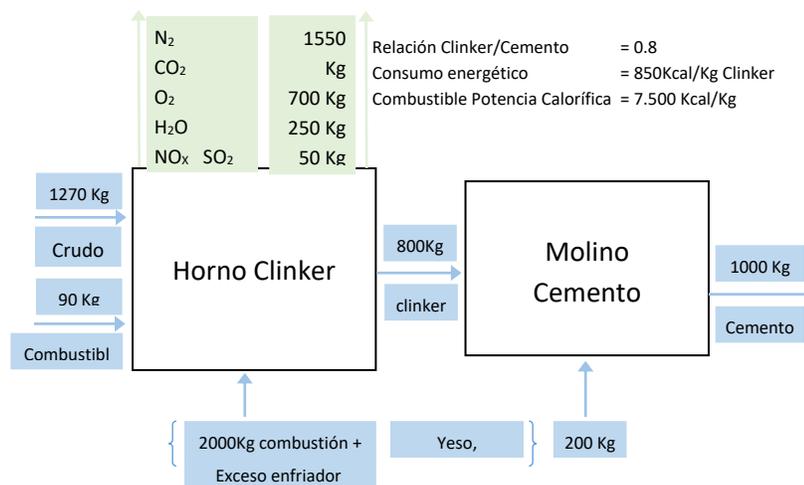


Figura 5.3 Balance de masas para la producción de 1 tonelada de cemento

Fuente: Oficemen, 2007

El balance de masas para la producción de cemento da a conocer que dentro de los procesos de fabricación de cemento existe una significativa carga de emisiones al aire y que podremos clasificar como una de las principales salidas del sistema producidas en el horno de fabricación de clinker, principal componente de la materia prima.

b) Agregados Pétreos

Los principales aspectos ambientales asociados a materiales pétreos son las emisiones a la atmosfera producto de la extracción y procesado de áridos además de emisiones gaseosas liberadas en procesos de combustión de maquinarias y transporte. Estas emisiones generadas son calificadas y cuantificadas de manera similar a la empleada en el proceso de fabricación del cemento.

5.1.3 Consumo energético del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos

a) Cemento

La mayor parte del consumo energético para la fabricación de cemento se concentra en la descarbonatación y la clinkerización de las materias primas en el horno, operación que consume cerca del 90% de la energía total consumida en la fábrica. La energía eléctrica se consume en su mayor parte en las operaciones de molienda, tanto de materias primas como de cemento, que representan aproximadamente el 75% de la energía total consumida. La impulsión de gases y la manipulación y transporte de materiales suman prácticamente el 25% restante. Los costes energéticos – combustible y electricidad – suponen en torno al 30% de los costes de fabricación, repartidos a medias entre los dos componentes térmico y eléctrico. El proceso de cocción de las materias primas requiere de un aporte energético teórico (reacciones químicas endotérmicas) de 1700 a 1800 MJ/T de clinker. La energía térmica consumida por los diferentes tipos de hornos este entorno a los siguientes parámetros ilustrados en la tabla 5.1 de aportes energéticos en cocción de materias (CONAMA, 2009)

Tabla 5.1 Aporte energético teórico para proceso de cocción de materias

Rango	Descripción
2900 - 3200	Para líneas nuevas vía seca, con precalentador de ciclones y precalcinador
3100 - 4200	Para vías secas, con precalentador de ciclones
3300 - 4500	Para hornos vía semiseca o semihúmeda
Hasta 5000	Para hornos largos vía seca
5000 - 6000	Para hornos vía húmeda

Fuente: CONAMA, 2009

Además de la vía de fabricación empleada, el consumo energético en la fabricación de clinker está relacionado con la humedad de las materias primas y con la dificultad en completar las reacciones químicas para la formación del clinker. Esta dificultad depende de la cristalografía de los compuestos que lo conforman y de la presencia de minerales fundentes (hierro, aluminio).

b) Agregados Pétreos

En el consumo energético del sistema de extracción de agregados pétreos se distinguen las máquinas extractoras y las extractoras-cargadoras, que, junto con extraer, cargan el material para su posterior traslado. Dentro de las primeras se encuentran los bulldozer, que se utilizan en aquellos sectores donde no es posible el carguío junto a la extracción y es necesario soltar el material donde pueda ser cargado. Esta situación se da cuando preferentemente el espesor del estrato es de muy baja potencia o cuando no es posible acceder con otra maquinaria. La retroexcavadora es en la actualidad la máquina más usada en los pozos, ya que permite extraer y cargar otro equipo en un solo movimiento, rebajando considerablemente los costos de extracción, ya que con una sola máquina se hacen los movimientos necesarios para que el material este sobre el equipo de transporte, pero su carguío es más lento que el de una máquina especial como el cargador de pala frontal.

También es posible la extracción con una mototraílla, que permite el transporte del material a corta distancia, pero para una auto-carga eficiente de ella es necesario tener el apoyo de un bulldozer. Como su uso es muy específico y preferentemente es para el movimiento de tierra, su aplicación ha sido muy eventual en este tipo de trabajos. En general en este proceso el consumo energético se ve relacionado con el combustible solicitado por las maquinarias para la extracción del mineral y por el combustible de camiones para el transporte hacia la planta procesadora y de tratamiento de material pétreo.

El procesamiento de áridos está basado en un modo de operación vía húmeda en una planta del tipo fija con trituración primaria y secundaria. Estas etapas se pueden dividir en otras cuatro fundamentales: trituración, clasificación, lavado y operaciones auxiliares (alimentación, transporte, almacenamiento, etc.). El proceso se inicia con la descarga de material integral desde el camión o cintas transportadoras sobre una tolva pre-seleccionadora compuesta por un alimentador de placas que elimina el material de sobre-tamaño. El material pasante va a una cinta transportadora de alimentación que conduce a un harnero vibratorio que saca el material bajo 4". El material mayor pasa a un chancador de cono de la segunda bandeja del harnero, el material va a un segundo chancador, obteniendo un material de menor granulometría. El material de salida de ambos chancadores, pasa a una cinta transportadora de

retorno, donde vuelve a ingresar al harnero vibratorio y pasar por las mallas respectivas para su clasificación, dependiendo de la abertura de estas.

Una parte del material pasante de las bandejas vibratorias cae a cintas transportadoras de salida, para formar los pulmones de acopio de grava y gravilla. La caída de producto se realiza con cintas que pueden ser fijas o móviles, con o sin cascada. El material de salida de la última bandeja pasa a un lavador de arena, a objeto de limpiar el producto y eliminar los finos. La grava y la gravilla son depositadas en su lugar de acopio definitivo y la arena es seleccionada por un lavador de arenas, que separa esta de la arcilla. Posteriormente el material lavado es transportado a su acopio. El agua que sale del lavador, es captada y llevada a una piscina de sedimentación, donde el lodo se retira para ser utilizado como relleno u otro uso que se le dé. El agua clara pasa a la piscina de acumulación para volver ser utilizada. El consumo de energético de procesamiento de áridos se ve reflejado en el combustible necesario para maquinarias y transporte y por el sistema eléctrico, encargado de entregar la energía necesaria para el funcionamiento de la planta.

5.1.4 Principales emisiones del proceso de fabricación de cemento y agregados pétreos

a) Cemento

Las emisiones a la atmosfera procedentes de fuentes puntuales o difusas, constituyen uno de los principales aspectos ambientales de la industria del cemento. Actualmente la directiva del IPCC (Intergovernmental panel on climate change), incluye una relación indicativa general de los contaminantes atmosféricos que deben ser tomados en consideración y para las que deben fijarse límites de emisión cuando los niveles y potencial de peligrosidad del compuesto contaminante, lo hagan necesario. Dentro de las emisiones emitidas en el proceso de fabricación del cemento el foco más importante de emisión a la atmosfera por chimenea es el horno de clinker.

Las emisiones relevantes asociadas a este proceso provienen de las reacciones físicas y químicas de las materias primas procesadas y de los combustibles empleados para la cocción, donde estas son: óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono CO_2 , partículas (polvo), donde los principales constituyentes de los gases de salida de un horno de cemento son nitrógeno del aire de combustión, CO_2 de la descarbonatación del CaCO_3 y de la oxidación del combustible, vapor de agua del proceso de combustión y exceso de oxígeno. Además de las 4 emisiones mencionadas en el párrafo anterior, otras emisiones asociadas a la operación del horno son: Monóxido de carbono (CO) y Compuestos orgánicos volátiles (COV). El contenido de estos dos compuestos en los gases emitidos se ve afectado, además de por las condiciones de la combustión, por el contenido en materia orgánica de las materias primas, que se ven parcialmente oxidadas en contacto con los gases del horno, lo que afecta al

nivel de monóxido de carbono y de compuestos orgánicos volátiles en los gases. Según el estudio bibliográfico consultado para este análisis las principales emisiones producidas y vertidas al medioambiente se distinguen a continuación:

- Óxidos de Nitrógeno

El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son los óxidos de nitrógeno predominantes en los gases emitidos por el horno de cemento (NO>90% de los óxidos de nitrógeno).

Dentro de este análisis podemos detallar 2 fuentes principales de emisiones de óxidos de nitrógeno, por un lado, se encuentra el NO_x térmico que se emite cuando parte del nitrógeno en el aire de combustión reacciona con oxígeno para formar óxidos de nitrógeno. Este se produce principalmente en la zona de clinkerización del horno, en la que se alcanzan temperaturas cercanas a 2000°C. La cantidad de NO_x térmico generado está relacionado tanto con la temperatura del producto como el contenido de oxígeno (factor de exceso de aire). Cuanto mayor sea el exceso de oxígeno, mayor será la formación de NO_x térmico. Cuando las materias primas son de difícil cocción la temperatura de la zona de clinkerización debe ser mayor, lo que implica necesariamente la generación de más NO_x térmico y el NO_x de combustión que cuando los compuestos de nitrógeno presentes en el combustible reaccionan con el oxígeno en el ambiente para formar los óxidos de nitrógeno. Este se genera por la oxidación del nitrógeno (N) presente en el combustible, el cual se combina con otros átomos de nitrógeno para formar N₂ gas o reacciona con el O₂ para formar el NO_x combustible. Las emisiones de NO_x dependen fundamentalmente del tipo de horno que se emplee y de las características de cocción de las materias primas.

- Dióxido de Azufre

Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) de las fábricas de cemento están directamente relacionadas con el contenido de compuestos volátiles de azufre en las materias primas. Los hornos que emplean materias primas con contenidos bajos de compuestos volátiles de azufre tienen emisiones muy bajas de SO₂, en algunos casos por debajo de los límites de detección. El dióxido de azufre (SO₂) es el principal compuesto de azufre emitido (99%), aunque también se generan pequeñas cantidades de SO₃ y en condiciones reductoras puede generarse sulfuro de hidrogeno (H₂S).

Los sulfuros y el azufre orgánico presentes en las materias primas se evaporarán en cuanto la temperatura del crudo comience a elevarse y el 30% o más pueden emitirse desde la primera etapa del intercambiador de ciclones. Los gases de esta etapa se emiten a la atmosfera o se llevan al molino de crudo cuando este está en funcionamiento. En el molino de crudo,

entre el 20 y el 70% del SO_2 será capturado por las materias primas finalmente molidas. Por ello es importante que, cuando hay compuestos volátiles en azufre en las materias, la molienda de crudo se optimice para que actúe como sistema de captación de SO_2 .

- Partículas

Las principales fuentes de partículas por chimenea (fuentes localizadas o puntuales) son los hornos, los molinos de crudo, los enfriadores de clinker y los molinos de cemento. En todos estos procesos circulan grandes volúmenes de gases cargados de partículas, que deben ser desempolvados. El diseño y la fiabilidad de los precipitadores electrostáticos modernos y de los filtros de mangas aseguran que las partículas emitidas se puedan reducir a niveles no significativos, donde incluso se han podido lograr en algunas instalaciones niveles de emisión por debajo de $10\text{mg}/\text{m}^3$.

- Óxidos de Carbono (CO_2 , CO)

La emisión de dióxido de carbono (CO_2) es de 900 a 1.000 kg/t de clinker gris, en relación a un consumo específico de aproximadamente 3.500 a 5.000 MJ/tonelada de clinker, pero dependiendo así mismo del tipo de combustible. En la fabricación de cemento gris por vía seca aproximadamente un 60% del CO_2 generado se origina en el proceso de disociación del carbonato cálcico de la caliza en óxido de calcio y CO_2 (denominado descarbonatación o calcinación de la caliza) y el 40% restante se produce en la combustión del combustible. Las emisiones resultantes de la combustión son directamente proporcionales al consumo específico, y a la relación entre el contenido de carbono (C) y el poder calorífico del combustible.

La emisión de CO está relacionada con el contenido de materias orgánicas en las materias primas y con las condiciones del proceso de fabricación, pero también puede producirse por una combustión incompleta cuando el control de la alimentación de los combustibles sólidos no es óptimo. Dependiendo de las características de las canteras, se aportan al proceso entre 1,5 y 6 g de carbono orgánico por kg de clinker proveniente de las materias primas. Los ensayos realizados con materias primas de varios orígenes han demostrado que entre el 85 y el 95 % de los compuestos orgánicos presentes en las materias primas se oxidan completamente a CO_2 en presencia de un 3% de oxígeno en exceso; mientras entre el 5 y el 15 % se oxidan parcialmente a CO (Cembureau, 1997).

- Compuestos orgánicos volátiles

En general, la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) y de monóxido de carbono en los procesos de combustión va a menudo asociada a combustiones incompletas. En los hornos de cemento, la emisión es baja en condiciones normales de operación, debido al largo tiempo de residencia de los gases en el horno, la elevada temperatura y las condiciones de exceso de oxígeno. Las concentraciones pueden aumentar durante las operaciones de arranque o en casos de perturbaciones de la marcha normal del horno. La frecuencia con la que ocurren situaciones de operación anómala del horno es muy variable, desde una o dos veces a la semana hasta una vez cada dos o tres meses (Oficemen 2000).

Cuando la materia prima utilizada tiene materia orgánica, esta última se volatiliza en las primeras etapas del proceso (precalentador, precalciner), a medida que el crudo se calienta, dando lugar a emisiones de COV. La materia orgánica se libera a temperaturas entre 400 y 600 °C. El contenido en COV de los gases del horno de cemento está normalmente entre 10 y 100 mg/Nm³. En algunos casos se alcanzan emisiones de COV de hasta 500 mg/Nm³ debido a las características de las materias primas (Informe Cembureau, 1997).

b) Agregados Pétreos

El foco más importante de emisión a la atmósfera es provocado por las operaciones del procesamiento que incluyen el chancado, harneado, separación por tamaño, manipulación de materiales y almacenamiento. Todos estos procesos pueden significar fuentes emisoras de material particulado (PM y PM-10) si no son controlados. Otras emisiones del proceso pueden ser acústicas, además de las emisiones atmosféricas generadas por los motores de la maquinaria necesaria para llevar a cabo dichos procesos. Estas emisiones provienen de las reacciones físicas y químicas de las materias primas procesadas y de los combustibles empleados para la extracción y procesamiento de los áridos. Las emisiones relevantes asociadas al proceso de extracción y procesamiento de áridos son:

- Material particulado (PM y PM-10): Los puntos de emisión de la planta son el alimentador, los chancadores o molinos y las cintas que traspasan el material desde un molino a otro hasta la salida del material, además de los camiones encargados del transporte.
- Combustible: Fuente de emisión directa e indirecta producto de la quema de combustibles en la institución, maquinaria y vehículos (CO₂).
- Electricidad: Emisiones indirectas de la quema de combustibles fósiles en la generación de electricidad.

- Transporte: Quema de combustibles generando emisiones directas e indirectas de CO₂, producidas por el transporte.

5.1.5 Síntesis de información para construcción de inventario de emisiones

Realizado el análisis crítico pauteado es necesario sintetizar la información para la correcta construcción de la pauta para la elaboración de un inventario de emisiones. La figura 5.4 a continuación ilustra el trabajo realizado en el análisis crítico de manera resumida con el fin de facilitar y esclarecer la información que se desea comunicar.

Síntesis de información relevante para construcción de Inventario de emisiones		
Cemento - Agregados Pétreos		
Materias primas vs Emisiones	Cemento	Agregados Pétreos
Emisiones Fijas		
Emisiones de material particulado MP-10	Las principales fuentes de partículas por chimenea (fuentes puntuales) son: los hornos, los molinos de crudo, los enfriadores de clínker y los molinos de cemento. En todos estos procesos circulan grandes volúmenes de gases cargados de partículas, que deben ser despolvados.	Fuentes generadoras de MP asociadas a extracción, procesamiento, transporte y acopio intermedio de los áridos se resumen en: Extracción de áridos en pozos y cauces, vertido de relleno en sectores explotados, operación de maquinaria y equipos, chancado y clasificación de material pétreo y acopio.
Emisiones de CO - CO ₂	Las emisiones de CO ₂ en el sistema de fabricación de cemento, se sitúan de acuerdo a lo analizado, en tres etapas siguientes: 1.- Resultado de la reacción química en el horno de obtención del clínker. 2.- Combustible utilizado en la obtención del clínker. 3.- Energía consumida en todo el proceso.	Dióxido de carbono (CO ₂): Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (p. ej. gasolina, gasoil)
Emisiones de NO _x	El NO _x expresa los gases dióxido de nitrógeno (NO ₂) y el óxido de nitrógeno (NO) emitidos al aire. Estos gases se emiten mayoritariamente en las siguientes fases: 1.- Combustible utilizado en obtención de clínker. 2.- Energía consumida en todo el proceso.	Óxidos nítricos (NO _x): Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor.
Emisiones de SO ₂	Las emisiones de SO ₂ en la fabricación del cemento corresponden a las 3 siguientes etapas: 1.- Resultado de la reacción química que se produce en el horno de obtención del clínker, a partir del contenido de azufre de las arcillas y materias primas empleadas 2.- A la quema del azufre contenido en el combustible utilizado en obtención del clínker 3.- A la quema del azufre en la obtención de la energía consumida en todo el proceso	Dióxido de azufre (SO ₂): El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape.

Emisiones Moviles		
Emisiones de material particulado MP-10	Las operaciones de transporte del cemento a la fábrica de hormigón generan pequeñas emisiones de material particulado, ya sea por un mal almacenamiento de la materia prima, o simplemente por el tránsito de los camiones por las vías estipuladas para su paso.	Uso de vías para transporte de productos: 1.- Descargas al buzón de alimentación y cintas transportadoras 2.- Transferencias continuas de material pétreo 3.- Transporte por circulación por calles
Emisiones de CO2 - NOx - SO2	Los camiones encargados del transporte de materias primas procesadas a la planta de hormigón funcionan al igual que los camiones de la planta de áridos con motores diésel, y los principales gases emitidos por la combustión de camiones son en este caso: Dióxido de carbono (CO2), Óxidos nítricos (NOx), Dióxido de azufre (SO2).	Los camiones del transporte de materias primas procesadas a planta de hormigón funcionan como motores diésel y emiten emisiones similares a las que se producen en el proceso de extracción por maquinaria pesada. Los principales gases emitidos por la combustión de camiones son: CO2, Óxidos nítricos (NOx), Dióxido de azufre (SO2).
Emisiones Indirectas		
Consumo energético (Electricidad)	La energía eléctrica se consume en su mayor parte en las operaciones de molienda (materias primas y como de cemento) y representan aprox. el 75% de la energía eléctrica total consumida. La impulsión de gases y transporte de materiales suman el 25% restante, por lo que el cálculo de emisiones se verá traducido en el consumo anual de energía con el fin de unificar los consumos.	Dentro del procesamiento de áridos, los procesos los llevan a cabo el harnero vibrador y los equipos para el chancado del material. Estos equipos funcionan por la conexión con el sistema eléctrico existente, por lo que estos procesos se tomarán como emisiones indirectas, emisiones generadas por la compañía eléctrica para la producción de energía necesaria en los procesos de harneado y chancado.

Figura 5.4 Síntesis de información relevante para construcción de inventario de emisiones
Fuente: Elaboración Propia

5.2 Elaboración guía DAP

Luego de concluido en el punto anterior el análisis crítico, iniciaremos a continuación la elaboración de una guía para elaborar la toma de decisiones y construcción de una declaración ambiental de producto incluyendo la regla de categoría de producto adaptada de estándares internacionales reconocidos y del análisis de ciclo de vida simplificado, el inventario de ciclo de vida adecuado para la correcta entrega de información.

GUÍA PARA ELABORACIÓN DE DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO DEL HORMIGÓN EN CHILE

Según normas ISO 14025, ISO 14040 e ISO 21930

Nombre del Producto:

Numero de declaración:

Fecha de registro:

Validez:

5.2.1 Conductas valoradas para la realización de una guía DAP en el proceso de fabricación de hormigón

El principal recurso necesario para la fabricación de hormigón es el cemento y este se encuentra conformado por altos niveles de caliza, el principal agente contaminador de este proceso. El consumo energético proviene de tres fuentes fundamentales: El combustible para las maquinas (2%), la energía suministrada por la red (11%) y el combustible fósil necesario para la quema de materia prima en el horno (87%). Dentro de un análisis realizado y con respecto a las emisiones a la atmosfera, se confirma que las emisiones más altas son las de dióxido de carbono, seguida en un plano más bajo por los óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre. La contribución del dióxido de carbono es el principal generador del efecto invernadero y esta contribución disminuye a medida que también disminuye el porcentaje de clínker en el cemento.

Por lo que respecta a las fases de fabricación del cemento, el horno de clínker es el punto de mayor repercusión en todo proceso, por el hecho de que es en donde se produce proporcionalmente el mayor consumo energético y la mayor parte de las emisiones. Desde el punto de vista de consumo de combustibles, el uso de combustibles secundarios, que son productos clasificados como residuos (neumáticos, caucho, plásticos, aceites, entre otros) sería ventaja utilizarlos ya que por una parte se eliminan como residuos y por otra parte se produce un ahorro en combustibles fósiles. La fabricación de hormigón conlleva un alto consumo de materias primas y energía y genera elevadas cantidades de emisiones, que se liberan al medioambiente mediante los procesos de fabricación y procesamiento de las materias primas que conforman este producto, estudiándolas de manera individual. Es importante tener el control de este uso de recursos y de las emisiones liberadas mediante una herramienta capaz de cuantificar y cualificar estos procesos, con el fin de construir un medio de comunicación abierta

entre productores y consumidores. Para tales efectos, los ojos de la opinión pública están puestos sin duda en la industria de la construcción, que es la responsable del 40% de la energía consumida mundialmente (Roodman and Lenssen, 2001) durante las etapas de construcción y operación de edificios, además de producir un cuarto del total de emisiones de CO₂ a nivel mundial (Metz, 2007).

Para ayudar en la evaluación, existen certificaciones de construcción sustentable, que funcionan como herramientas para medir la sustentabilidad en los edificios según sus diferentes parámetros. En este contexto, los materiales y productos que componen una obra de construcción, adquieren mayor relevancia, ya que su manufactura y cadena productiva asociada, influye dentro de los impactos y emisiones totales del edificio. El método más aceptado para estos fines, es el análisis de ciclo de vida (ACV), ya que investiga el impacto de los productos o procesos en cada etapa de su vida útil, desde el principio de su desarrollo, hasta su obsolescencia, midiendo los recursos invertidos (input) y los residuos y emisiones generadas (output). El ACV puede ser utilizado en productos, procesos y servicios. Al ser una herramienta técnica, necesita complementarse con un lenguaje más amigable para comunicar los resultados a los consumidores y empresas involucrados. Así nace la Declaración Ambiental de Productos (DAP) o eco etiquetado, como un sistema que informa sobre los impactos ambientales de un producto, según los estándares de international organization for standardization (ISO).

De esta manera, podemos evaluar impactos como: la huella de carbono, el agotamiento de los recursos, acidificación, eutrofización, calentamiento global, eco toxicidad, el impacto en la salud humana, entre otros, de forma cualitativa y cuantitativa en todas las etapas de fabricación de las materias primas y en el desarrollo de un proyecto de construcción.

5.2.2 Resumen general para declaración ambiental de producto del hormigón

Para iniciar el proceso de elaboración de una declaración ambiental de producto es necesario plasmar la siguiente información general que acredita la empresa, el producto, la unidad declarada, el programa que rige esta declaración y lo más importante la validez y verificación de esta.

Tabla 5.2 Resumen general informativo de declaración ambiental de producto

DECLARACION AMBIENTAL DE PRODUCTO		
Esta declaración ambiental de producto se realiza para un hormigón especificado, correspondiente a un producto elaborado y estandarizado por esta empresa		
Empresa		Empresa titular de la declaración
Dirección		
Teléfono		
Página web		
Producto		
INFORMACION GENERAL DE LA DECLARACION AMBIENTAL DE PRODUCTO		
Programa		
Administrador del programa		
Número de declaración		
Unidad declarada de producto	La unidad declarada de producto corresponde a 1m3 de hormigón fabricado por la empresa	
RCP utilizada como guía para este documento	The carbon leadership forum PCR: North America Product Rules for ISO 14025 type III Environmental Product declarations (EDPs) and GHG Protocol Complaint Product "Carbon footprint of concrete" (www.carbonleadershipforum.org)	
Validez	Esta declaración ambiental es aplicable exclusivamente al o los productos identificados en este documento de la empresa y correspondiente a las plantas hormigoneras declaradas.	
	Tiempo de validez:	
Fecha de registro		Personal acreditador
Fecha de expiración		
Verificación	Verificación de la DAP según norma ISO 14025 e ISO 21930	
	Interna	Externa

Fuente: Elaboración propia

Luego de acreditar la información solicitada en la tabla 5.x, realizaremos la revisión de RCP, clasificación de los procesos de fabricación de hormigón clasificados según sus emisiones e iremos directamente a realizar el correspondiente inventario de ciclo de vida que cuantificará la información que presentaremos en nuestra DAP

5.2.3 Reglas por Categorías de Producto (RCP) para el hormigón en Chile

a) Definición del producto

Esta Regla de Categoría de Producto (RCP) cubre el producto "Hormigón Premezclado y sus componentes" y permite la cuantificación y presentación de informes de los impactos ambientales asociados con la producción en las etapas que hacen referencia desde la cuna a la puerta. Esta RCP se desarrolla con el fin de ser utilizada para modelar los impactos ambientales de los componentes en el proceso de fabricación de hormigón premezclado, tomando presente los impactos de ciclo de vida de todos los materiales adicionales excluyendo los mencionados en los alcances y que sus procesos sean contabilizados e integrados en un ACV. El objetivo de esta RCP es incentivar a los productores de hormigón a cuantificar, reportar, mejorar la comprensión y reducir los impactos ambientales de la producción de hormigón y permitir declaraciones ambientales de producto para mezclas específicas. Esta información puede ser utilizada para modelar los impactos ambientales del hormigón en las siguientes aplicaciones: hormigón prefabricado y hormigón en masa.

a) Descripción del producto y unidad declarada

Esta regla de categoría de producto, cubrirá el producto "Hormigón" y permitirá la cuantificación y presentación de informes de los impactos ambientales asociados con la producción en las etapas desde la cuna hasta la puerta. Esta RCP se desarrollará específicamente para ser utilizada en Chile. Se debe tener cuidado al ser utilizada en otras regiones, debido a que las políticas con respecto a asignación de energía utilizada y residuos no son globalmente aplicables. Esta RCP será utilizada para modelar impactos

ambientales de los componentes del hormigón premezclado y se complementará con un análisis de ciclo de vida para contribuir a la elaboración de una declaración ambiental de productos. El objetivo principal de esta RCP es incentivar a los productores de hormigón a cuantificar, reportar, mejorar la comprensión y reducir los impactos ambientales de la producción de hormigón y permitir DAP para mezclas específicas. De acuerdo a la NCh170, el hormigón es un material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia. Esta RCP definirá como unidad declarada a 1m³ de hormigón, y esta se utilizará para caracterizar un flujo de referencia de la cantidad de material, ya que esta RCP no incluye fases de uso o fin del ciclo del hormigón, por lo que el concepto de unidad funcional será modificado por el de unidad declarada.

b) Etapas del ciclo de vida: Alcances y límites de sistema

Esta Regla de Categoría de Productos establecerá etapas para el proceso de fabricación del hormigón limitando el proceso desde la cuna a la puerta, desglosando etapas de extracción de materias primas, transporte y elaboración del producto, dando hincapié a los impactos medioambientales, utilización de materias primas, recursos y emisiones que se generan en cada etapa con el fin de analizarlos extensamente en el desarrollo de ACV. La función principal de los diferentes alcances será la de separar y definir las emisiones producidas en las operaciones, de manera de organizarlas mediante fronteras operacionales. Esta Regla por Categoría de Producto se desarrolla considerando las etapas de producto desde la cuna hasta la puerta, no incluyendo etapas de fin de uso o fin de ciclo del hormigón. Esta RCP como ilustra la figura 5.3 de información de ciclo de vida de un edificio se desarrolla considerando las primeras etapas del ciclo de vida, las que incluyen la etapa de producción y transporte de hormigón, dejando a las siguientes etapas para futuras y nuevas investigaciones.

Las etapas propuestas para este estudio son las etapas resaltadas dentro del ciclo de vida de un edificio construido a base de hormigón y hacen referencia solo al proceso de producción y transporte, que son las etapas escogidas para realizar el análisis de ciclo de vida (ACV) y luego una guía para declaración ambiental

de producto (DAP). Las etapas A-1 y A-3 son las etapas que se contemplan como proceso de fabricación del producto y en este caso incluiremos las etapas A2 y A4 que especifica el transporte realizado para realizar el proceso de fabricación, almacenamiento y entrega, con el fin de acotar los límites desde la cuna a la puerta. Para establecer los límites desde la cuna hasta la puerta se debe realizar un análisis minucioso del proceso de fabricación del hormigón, por lo que se tiene que investigar más allá de las actividades realizadas en una planta de fabricación.

Cada componente y elemento que forma parte en el proceso de fabricación de hormigón ha sido extraído, transportado y tratado, lo que conlleva al uso de recursos naturales, materias primas, energía y por procesos desarrollados a la liberación de emisiones contaminantes al medio ambiente, que no son visualizadas, ni cuantificadas en el proceso de mezclado de hormigón.

La figura 5.5 ilustra las etapas que, dentro del ciclo de vida de un edificio de hormigón, serán

A continuación, y como se mencionó en el punto anterior se tomará como guía la clasificación estipulada en la figura 5.3 para normalizar las actividades relacionadas con el proceso de fabricación de hormigón

contempladas para esta DAP, mientras que la figura 5.6 muestra en detalle las etapas y/o actividades desarrolladas en el proceso de fabricación de hormigón, etapas necesarias para evaluar y cuantificar el uso de recursos y la liberación de emisiones en la fabricación de este producto.

Etapa de Producto A 1-3	Etapa de Construcción A 4-5	Etapa de Uso B 1-7	Final de Ciclo C 1-4
A1 Suministro de Materias Primas	A4 Transporte	B1 Uso	C1 Deconstrucción Demolición
A2 Transporte	A5 Proceso de construcción e instalación	B2 Mantenición	C2 Transporte
A3 Producción de hormigón		B3 Reparación	C3 Procesamiento de residuos
		B4 Reemplazo	C4 Disposición
		B5 Refacción	
		B6 Uso de energía operacional	
		B7 Uso de agua operacional	

Figura 5.5 Ciclo de vida de un edificio

Fuente: RCP Carbon Leadership Forum, 2012

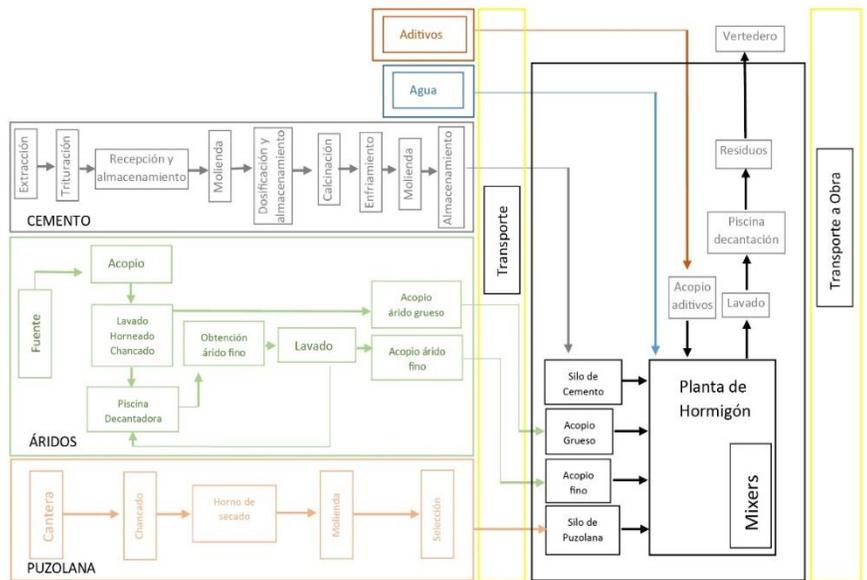


Figura 5.6 Proceso por etapas de fabricación de hormigón

Fuente: Elaboración propia

estipulando que el estudio de análisis de ciclo de vida se realizará desde la cuna hasta la puerta, identificando como principales etapas las ilustradas en dicha figura:

Etapa de producto

A1 Suministro de Materias primas (procesos aguas arriba): Extracción, procesamiento de los materiales (incluyendo combustible y energía) utilizados en la producción del hormigón.

A2 Transporte: El transporte de estos materiales desde el proveedor a la "puerta" del productor de hormigón.

A3 Manufactura (procesos base): Los procesos base resultantes de la utilización de energía para almacenar, transportar, mezclar y separar el hormigón y operar la infraestructura (planta hormigonera)

Etapa de construcción

A4 Transporte a la etapa de construcción: El transporte del hormigón desde la "puerta" del productor al terreno de construcción.

Según y cómo queda estipulado en estos alcances, están serán las únicas etapas estudiadas del ciclo de vida completo del hormigón.

c) Selección de procesos de manufactura para calificación y cuantificación de emisiones

Los siguientes parámetros regirán en la siguiente regla de categoría de producto para el proceso de fabricación del hormigón.

Etapa de Producto A1: Suministro de materia prima

- Extracción de materias primas y procesos de combustibles.
- Generación de electricidad, vapor o calor usado en el proceso de manufactura del producto.
- Residuos generados directamente del proceso de manufactura.
- Emisiones generadas por consumo de equipos y procesos de manufactura.
- Cualquier transporte requerido en la cadena de producción.

Etapa de Producto A2: Transporte

- La distancia actual y el modo de distribución de las materias primas al proceso de manufactura donde el hormigón se produce y las emisiones asociadas al transporte.
- El transporte de todos los materiales del origen de la extracción y los procesos de producción aguas arriba al sitio de manufactura.
- El transporte a los centros de distribución. Si se utilizan múltiples centros de suministro, un promedio basado en volumen o masa puede ser utilizado.
- El trayecto de regreso de los camiones, asumiendo que los camiones vuelven sin carga, a no ser que se documente lo contrario.

Etapa de Producto A3: Manufactura (procesos centrales)

- Consumo de energía de operación en la planta.
- Reporte de los impactos por m³ producidos en periodos determinados de tiempo (Mensual, semestral, anual).
- Consumo de combustibles.
- Lavado de vehículos y equipos.

Etapa de Construcción A4: Transporte al terreno de construcción.

- El transporte incluirá el combustible y tipo de vehículo
- Se debe utilizar uso promedio de litros por kilómetros de gasolina/diésel o kilómetros por m³ para gas natural por camiones
- La distancia total anual viajada por cada tipo de vehículo utilizado a un sitio específico.
- El impacto promedio por metro cubico se estimará al dividir el impacto total del combustible utilizado para transporte por metro cubico de hormigón producido por año.

Los parámetros indicados en la siguiente clasificación son los que regirán y entregarán las directrices para el correcto desarrollo del inventario de análisis de ciclo de vida.

d) Límites operacionales y su clasificación por alcance de investigación

Dentro de las emisiones presentadas en los procesos de manufactura descritos en el análisis crítico podemos encontrar que los principales agentes contaminantes se ven relacionados con las emisiones de material particulado en gran parte de los procesos de extracción y procesamiento, además de emisiones de gases por quema de combustibles en maquinaria pesada para producción y transporte de estos recursos. A continuación, clasificaremos las emisiones del proceso de fabricación de árido, cemento y hormigón, principales agentes de esta investigación, como se encuentra estipulado en la metodología de clasificación por alcances. Según los alcances expuestos anteriormente, clasificaremos las emisiones de proceso de fabricación de hormigón de la siguiente forma y como lo ilustran las tablas 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 a continuación:

- Alcance 1: Emisiones directas del proceso de fabricación de hormigón.
- Alcance 2: Emisiones indirectas del proceso de fabricación de hormigón (energía eléctrica).
- Alcance 3: Emisiones directas e indirectas de componentes del proceso de fabricación de hormigón.

Tabla 5.3 Emisiones de proceso de fabricación de hormigón – Alcance 1

Alcance 1	
Emisiones directas proceso de fabricación de hormigón	
Material particulado	Calculo de material particulado en el proceso de dosificación del producto a cuba de mixer.
Gases de combustión	Emisiones generadas en el proceso de rotación de la cuba del mixer. Emisiones generadas en el transporte de hormigón al lugar de despacho.
Efluentes líquidos	Lavado de cuba de mixer y de camiones en general.
Emisiones acústicas	Emisión producto de funcionamiento de maquinaria móvil (camiones).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4 Emisiones de proceso de fabricación de hormigón – Alcance 2

Alcance 2	
Emisiones indirectas proceso de fabricación de hormigón	
Consumo eléctrico	Emisiones por consumo de electricidad para maquinaria de dosificación de áridos y cemento, además del consumo de iluminación y funcionamiento de planta.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5 Emisiones de proceso de fabricación de hormigón – Alcance 3 (áridos)

Alcance 3 (Áridos)	
Otras emisiones indirectas proceso de manufactura	
Material particulado	Extracción, procesamiento y transporte de áridos
Gases de combustión	Extracción de material pétreo (gases de combustión maquinaria) Transporte a planta de procesamiento y a planta de hormigón
Efluentes líquidos	Consumo promedio de agua para procesos de manufactura Vertidos líquidos y su deposición
Emisiones acústicas	Emisiones generadas en el proceso de extracción (Principal foco)
Consumo eléctrico	Procesamiento de áridos (harnero vibrador) (Equipo chancador) Iluminación y procesos de planta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6 Emisiones de proceso de fabricación de hormigón – Alcance 3 (cemento)

Alcance 3 (Cemento)	
Otras emisiones indirectas proceso de manufactura	
Material particulado	Emisiones en chimenea de horno de clínker, procesos de molinos de crudo, enfriamiento de clínker, molinos de cemento y transporte
Gases de combustión	Horno de clínker Transporte a planta de manufactura a planta de hormigón
Efluentes líquidos	Consumo promedio de agua para procesos de manufactura Vertidos líquidos y su deposición
Emisiones acústicas	Emisiones generadas en el proceso de manufactura
Consumo eléctrico	Molienda de materias primas, molienda de cemento e iluminación y procesos de planta

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los alcances establecidos y luego de una correcta caracterización de impactos ambientales concluyente a un análisis crítico país de la fabricación de hormigón, procederemos a revisar categorías de impacto y a realizar el inventario de ciclo de vida de esta DAP.

5.2.4 Categorías de Impacto

Las emisiones son consideradas como parámetros fundamentales en los análisis de impactos ambientales, por lo que de las diferentes salidas que recogen los análisis, centraremos este estudio en los factores principales que se generan en la producción de hormigón y sus componentes.

- a) **Calentamiento global**, se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos globales, incluyendo la temperatura y las precipitaciones, que son causados por el aumento de las concentraciones de gases efecto invernadero en la atmósfera. Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un gas contribuye al calentamiento global se define por su potencial de calentamiento global (PCG). La unidad de medida utilizada para indicar el PCG es la de CO₂ – equivalente y su fórmula para el cálculo viene expresada de la siguiente manera:

Figura 5.7 Potencial de calentamiento global

Potencial de calentamiento global (PCG _{total})	Gas	Fórmula química	PCG
$\sum \text{PCG} \times \text{Masa emitida}$ (Contaminante)	Dióxido de Carbono	CO ₂	1
	Metano	CH ₄	21
	Óxido Nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorocarbonos			
Donde PCG:	HFC-23	CHF ₃	11700
Es la suma de los potenciales de calentamiento global de los gases de efecto invernadero liberados (equivalentes a kg de CO ₂) de la mezcla gaseosa sometida a examen.	HFC-32	CH ₂ F ₂	650
	HFC-41	CH ₃ F	150
	HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	1300
Masa emitida:	HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2800
Corresponde a la masa de un contaminante concreto (gas de efecto invernadero) sometido a examen.	HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1000
	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1300

Fuente: Climate change 1995, The science of climate change

- b) **La disminución de la capa de ozono**, que se refiere a la destrucción de la misma debido a la contaminación humana. La capa de ozono protege a la Tierra de la radiación ultravioleta que es perjudicial para la vida. El PAO – Potencial de agotamiento de la capa de ozono, mide la potencia relativa con un compuesto de referencia que es el CFC-11 y que, por tanto, se define con un PAO de 1.0, lo que permite comparar diferentes sustancias. Los potenciales de reducción de la capa de ozono de una serie de gases pueden sumarse y expresarse

en forma de potencial de destrucción del ozono a partir de la siguiente fórmula:

Figura 5.8 Potencial de reducción de ozono

Potencial de reducción del ozono (PAO _{total})	Compuesto	Potencial de reducción de ozono
$\sum \text{PAO} \times \text{Masa emitida}$ (Contaminante)	Halón 1301	12000
	Tetracloruro de carbono	1.2
Donde PAO:	CFC-11	1
Corresponde al potencial de reducción del ozono del gas de la mezcla contaminante sometida a examen, en kg equivalentes a CFC-11.	CFC-114	0.850
	Bromuro de metilo	0.370
	Cloruro de metilo	0.150
Masa emitida:	Metilcloroformo	0.120
Corresponde a la masa de un contaminante sometido a examen expresada en kg.	HCFC-141b	0.086
	HCFC-142b	0.043

Fuente: AEMA, 2001

- c) **La acidificación**, es el resultado de las emisiones atmosféricas humanas y se refiere al aumento de la acidez de los océanos, lagos, ríos y arroyos. Este es un fenómeno que contamina las aguas subterráneas y daña la vida acuática. El PA Potencial de acidificación del suelo y del agua, se define como la capacidad de liberar protones al medio, con la consecuente bajada del pH. Los gases que presentan los efectos acidificantes más significativos son el dióxido de azufre (SO₂), el amoníaco (NH₃) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Al multiplicar la masa de contaminante liberado por el potencial de acidificación de un gas concreto se obtiene el efecto de acidificación total, que se expresa de forma general como equivalente al dióxido de azufre.

Figura 5.9 Potencial de acidificación

Potencial de acidificación (PA _{total})
$\sum \text{PA} (\text{Contaminante}) \times \text{Masa liberada} (\text{Contaminante})$
Donde PA:
Es la suma de los potenciales de acidificación
Masa liberada:
Corresponde a la masa de un contaminante emitido en kg.

Fuente: Guía Fenercom, 2014

- d) **La eutrofización**, se produce debido a los residuos, cuando el exceso de nutrientes causa un mayor crecimiento de una especie en un ecosistema equiparado bloqueando la penetración de luz solar necesaria para la formación de vida. El proceso de eutrofización tiene lugar en las

aguas superficiales cuando estas se enriquecen en nutrientes de forma excesiva, lo que provoca un aumento desmesurado en el crecimiento de plantas, algas y otros microorganismos. Cuando esta diversidad de especies muere, comienza el proceso de putrefacción, lo que consume una gran cantidad de oxígeno que hay en las aguas y estas dejan de ser aptas para la supervivencia de la mayoría de los seres vivos acuáticos. El efecto de eutrofización puede cuantificarse a través de la siguiente manera:

Figura 5.10 Potencial de eutrofización

Potencial de eutrofización (PE total)	Sustancia contaminante	Formula química	PA
$\sum PE \times \text{Masa liberada}$ (Contaminante)	Óxidos de Nitrógeno	NOx	0.7
	Amoniaco	NH ₃	1.88
Donde PA:	Óxidos de Azufre	SOx	1
Corresponde al potencial de acidificación del contaminante, equiparado al dióxido de azufre, se expresa en kg equivalentes a SO ₂	Ácido clorhídrico	HCl	0.88
Masa liberada:	Ácido fluorhídrico	HF	1
Corresponde a la masa de un contaminante emitido en kg.	Ácido fósforico	H ₃ PO ₄	0.98

Fuente: Guía Fenercom, 2014

e) **La formación fotoquímica de ozono**, ocurre cuando la luz solar reacciona con hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, para producir un tipo de contaminación del aire conocido como Smog. El ozono situado a menor altura, también llamado troposférico, es un contaminante que se forma por una serie compleja de reacciones químicas iniciadas por la luz del sol y en las que reaccionan óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles para crear ozono. Utilizar los PCOFs individuales (Potencial de formación de ozono troposférico) o PFOF (Fotoquímico) de ciertas sustancias permite expresar una serie de COVs como equivalentes de etileno y sumarlos para el cálculo del PCOF total de la siguiente manera:

Figura 5.11 Potencial de creación de ozono fotoquímico

Fuente: Guía Fenercom. 2014

f) **El agotamiento del recurso hídrico**, de forma muy simplificada es el cálculo de la Huella Hídrica (HH) el cual es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce, que contempla las dimensiones directa e indirecta. La Huella Hídrica Sector Construcción se cuantifica en base a la HH indirecta de los materiales utilizados en el mismo. En este caso se debe contabilizar la HH del cemento como principal insumo en el proceso de fabricación de hormigón y la HH del lavado de agregados pétreos adicional a la HH en el proceso de producción de hormigón y se realiza el estudio de una HH equivalente. Es decir, se multiplica la cantidad de cemento y áridos utilizados en la producción por la equivalencia hídrica cuantificada para el cemento y áridos.

Figura 5.12 H. hídrica sector construcción

Huella Hídrica Sector Construcción

HH Construcción = Insumo A x HH equivalente Insumo A

Fuente: Manual de evaluación para la huella hídrica, 2014

5.2.5 Análisis de ciclo de vida simplificado de fabricación de hormigón

Potencial de creación de ozono fotoquímico (PCOF total)

$\sum PCOF_{(Contaminante)} \times Masa emitida_{(Contaminante)}$

a) Objetivos y Alcances

Establecimiento de sistema

Debido a una época de gran desarrollo socioeconómico de Chile, el que ha sido acompañado de un explosivo crecimiento en el área de la construcción, deja abierta la inquietud, si los recursos que utilizamos en grandes cantidades generan o no un impacto ambiental en nuestro planeta.

La producción anual de hormigón, según el instituto de cemento y del hormigón de Chile, supera los 15 millones de toneladas (ICH, 2009). Tomando en cuenta que es una cifra de un país en crecimiento y que esta tendencia continuará en el tiempo, es necesario desarrollar un estudio que permita vislumbrar y ayude a disminuir las cargas ambientales asociadas al proceso de fabricación de dicho producto.

- Elemento para análisis: Hormigón y componentes de elaboración.
- Público Objetivo: Grandes empresas dedicadas a la fabricación de hormigón.
- Problemática: Conservación y cuidado del medioambiente.

b) Definición de directrices generales

Función del sistema

El sistema se denomina, "Cargas ambientales asociadas al proceso de fabricación de Hormigón". El hormigón, es conocido como uno de los productos de mayor utilización en la industria de la construcción y según (Nixon, 2002), es el principal componente de los residuos de demolición constituyendo aproximadamente el 50% del volumen de dichos residuos.

Este sistema se enfoca en cuantificar efectos en relación a las siguientes variables:

- Cantidad de energía consumida.

5.2.6 Inventario de ciclo de vida del proceso de fabricación de hormigón

El análisis de inventario comprende la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema de producción (ISO 14040-2006). En la

- Tipo de materias primas utilizadas.
- Emisiones líquidas, gaseosas y residuos sólidos generados.

Unidad funcional

En relación a la base de cálculo sobre la cual se efectuarán los balances de materias, residuos y energía se selecciona como unidad, "Producción de 1 m³ de Hormigón". En el caso de cemento y materiales pétreos se realizará de acuerdo a la dosificación empleada para el hormigón propuesto.

Límites y objetivos del sistema:

El análisis se centraliza en el desglose de subsistemas de producción de materiales que permiten elaborar el producto. Esta evaluación incluye la obtención de recursos primarios, procesos de fabricación y transporte de los componentes del producto y sus materias primas, finalizando con el producto terminado.

La extensión del estudio se desarrollará desde "La cuna hasta la puerta" y el estudio hace referencia solo a nuestro país. Como objetivos específicos de trabajo se desean llevar a cabo los siguientes enunciados:

- Analizar el hormigón desde el punto de vista de sus componentes identificando su incidencia con el medioambiente.
- Acotar magnitudes de las cargas ambientales transmitidas por las entradas al sistema (Recursos/Materiales) y salidas (Emisiones/Residuos) del sistema de producción.
- Implementar indicadores ambientales que permitan identificar los factores principales de los potenciales impactos medio ambientales causados por estas cargas.

realización del ICV analizaremos aspectos ambientales presentes en cada proceso unitario, desde el punto de vista de las categorías de impacto asociadas al consumo energético, consumo hídrico, material particulado MP-10 y emisiones de CO₂ correspondientes. En concreto, se consideran las etapas principales referidas a los flujos energéticos del proceso.

Es de gran importancia señalar que los datos del consumo e información utilizada para este estudio, están exclusivamente relacionados con la unidad funcional definida como 1 m³ en la RCP para el hormigón y sus componentes como se muestra en la tabla 5.7 a continuación.

Tabla 5.7 Consumo de materias y energía para la fabricación industrial de 1 m³ de hormigón

Consumo de materias primas y energía en el proceso de fabricación de 1 m ³ de hormigón		
Dosificación de hormigón: H-		
Recursos	Unidad	Cantidad
Cemento	ton	
Piedra triturada	m ³	
Arena	m ³	
Agua	lt	
Aditivos	kg	No Aplica
Energía eléctrica	kw	
Combustibles	gl	
Hormigón producido	m ³	1

Fuente: Elaboración propia

Para identificar las emisiones y de nuestra unidad funcional utilizaremos los alcances mencionados en la sección de límites operacionales y su clasificación por alcance de investigación.

- **Alcance 1:** Clasificación y cuantificación de fuentes de emisión directa en cada una de las categorías antes mencionadas.
- **Alcance 2:** Luego de clasificar y cuantificar las fuentes de emisión directa, identificaremos las fuentes de emisión indirectas derivadas del consumo de energía adquirida por la empresa para llevar a cabo los procesos de manufactura. Para el caso de nuestro país corresponderá sólo a las emisiones de los generadores asociados al consumo eléctrico de la empresa y dependerán de él o de los sistemas interconectados en el que se encuentre las instalaciones de la empresa.
- **Alcance 3:** En este alcance se identificarán el resto de emisiones indirectas aguas arriba o aguas debajo de los procesos de manufactura de la empresa, como también cualquier emisión no incluida en el alcance 1 o en el alcance 2.

5.2.6.1 Alcance 1: Hormigón

a) Material particulado

Tabla 5.8 Emisiones de material particulado en el proceso de fabricación y transporte del producto.

Emisiones de material particulado en proceso de fabricación y transporte de hormigón			
Identificación de actividades contaminantes	MP-2.5 (ug/m3N)	MP-10 (ug/m3N)	MP (ug/m3N)
Recepción y almacenamiento de materias primas			
Proceso de dosificación de hormigón (cemento y áridos)			
Transporte de camión mixer			
TOTAL EMISIONES			

MEDICIONES CON ESTACIÓN METEOROLOGICA SIMPLE

b) Gases de combustión

Tabla 5.12 Emisiones generadas en el proceso de rotación de la cuba del camión mixer mediante motor diésel.

Descripción	Consumo (l)	Densidad combustible (kg/l)	PCI (GJ/t)	Energía total combustible (GJ)	Emisiones de CO2 (T CO2)	Emisiones CH4 (T CH4)	Emisiones N2O (T N2O)	Emisiones GEI (TCO2 e)
Motor diésel de cuba de camión mixer		0,85	42,40					

Descripción	F.E.	Unidad
Gasolina para motores	69,3	t CO2/TJ
Diésel para motores	74,1	t CO2/TJ
Gasolina para motores	3,8	kg CH4/TJ
Diésel para motores	3,9	kg CH4/TJ
Gasolina para motores	5,7	kg N2O/TJ
Diésel para motores	3,9	kg N2O/TJ
Fuente: IPCC 2006 (Combustión móvil)		

Proceso de cálculo combustión móvil	
Energía C. Total	$EC = (C (l) \times DC (kg/l) \times PCI (GJ/t)) / 1000$
Emisiones (T CO ₂)	$E (T CO_2) = EC \times (FE (t CO_2/TJ) / 1000)$
Emisiones (T CH ₄)	$E (T CH_4) = EC \times (FE (kg CH_4/TJ) / 1 \times 10^6)$
Emisiones (T N ₂ O)	$E (T N_2O) = EC \times (FE (kg N_2O/TJ) / 1 \times 10^6)$
Emisiones (TCO ₂ e)	$E (TCO_2 e) = E (T CO_2) + E (T CH_4) \times PCG (CH_4) + E (T N_2O) \times PCG (N_2O)$

Tabla 5.10 Emisiones generadas en el transporte de hormigón al lugar de despacho.

Transporte de materias primas a planta de hormigón						
Descripción	Consumo (l)	Energía total combustible (GJ)	Emisiones de CO2 (T CO2)	Emisiones CH4 (T CH4)	Emisiones N2O (T N2O)	Emisiones GEI (TCO2 e)
Consumo de combustible de vehículos de organización a gasóleo o diésel						
Consumo de combustible de vehículos de organización gasolina						
Total combustión móvil						

c) Huella hídrica

Tabla 5.11 Consumo de recurso hídrico en planta de hormigón.

Consumo en el proceso de fabricación de hormigón				
Identificación fuente de descarga	Etapa de actividad	Caudal de descarga (m3/día)	Duración de descarga	Frecuencia de emisión
Agua proveniente de servicios básicos				Variable
Agua proveniente de lavado de camiones				Variable
Agua proveniente de homogenización de hormigón				Variable
Total				

Producción diaria promedio de hormigón		m ³
Consumo de agua diario / Producción de hormigón		m ³ de agua/ m ³ de hormigón

5.2.6.2 Alcance 2: Hormigón

a) Consumo de energía eléctrica

Tabla 5.12 Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta

Emisiones indirectas por consumo de electricidad			
Planta (Instalación)	Consumo diario (MWh)	Factor de emisión (T CO ₂ e/MWh)	Emisiones GEI (T CO ₂ e)
Instalación 1			
Instalación 2			
Instalación 3			
Instalación 4			
Total emisiones consumo eléctrico			

Factores de emisión		
Año	SING	SIC
2013	0,811	0,432
2014	0,790	0,360
2015	0,764	0,346

* SING: Sistema interconectado norte grande

* SIC: Sistema interconectado central

* Factores de emisión tomados desde ministerio de energía
<http://huelladecarbono.minenergia.cl>

Producción diaria promedio de hormigón		m ³
Emisiones GEI / Producción de hormigón		T CO ₂ e / m ³ de hormigón

5.2.6.3 Alcance3: Áridos y Cemento

1.- Áridos

a) Material particulado

Tabla 5.13 Emisiones de material particulado en el proceso de extracción del producto.

Emisiones de material particulado en proceso de extracción de áridos			
Identificación de actividades contaminantes	MP-2.5 (ug/m3N)	MP-10 (ug/m3N)	MP (ug/m3N)
Extracción de material en frente de trabajo			
Vertido de material de relleno en sectores explotados			
Operación de maquinaria y equipos			
TOTAL EMISIONES			

Propuesta: MEDICIONES CON ESTACIÓN METEOROLOGICA SIMPLE

Tabla 5.14 Emisiones de material particulado en el proceso de procesamiento del producto.

Emisiones de material particulado en proceso de procesamiento de áridos			
Identificación de actividades contaminantes	MP-2.5 (ug/m3N)	MP-10 (ug/m3N)	MP (ug/m3N)
Operación de chancado de material pétreo			
Operaciones de clasificación de material pétreo			
Acopio de productos finales y/o transporte a planta de hormigón			
TOTAL EMISIONES			

Propuesta: MEDICIONES CON ESTACIÓN METEOROLOGICA SIMPLE

b) Gases de combustión

Tabla 5.15 Gases de combustión de motores diésel de maquinaria pesada para la producción de agregados pétreos

Combustión de maquinaria pesada para producción de agregados pétreos						
Descripción	Consumo (l)	Energía total combustible (GJ)	Emisiones de CO2 (T CO2)	Emisiones CH4 (T CH4)	Emisiones N2O (T N2O)	Emisiones GEI (TCO2 e)
Consumo de combustible de vehículos de organización a gasóleo o diésel						
Consumo de combustible de vehículos de organización gasolina						
Total combustión móvil						

Tabla 5.16 Gases de combustión de motores de camiones de transporte de materias primas a planta de hormigón

Transporte de materias primas a planta de hormigón						
Descripción	Consumo (l)	Energía total combustible (GJ)	Emisiones de CO2 (T CO2)	Emisiones CH4 (T CH4)	Emisiones N2O (T N2O)	Emisiones GEI (TCO2 e)
Consumo de combustible de vehículos de organización a gasóleo o diésel						
Consumo de combustible de vehículos de organización gasolina						
Total combustión móvil						

c) Consumo eléctrico

Tabla 5.17 Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta

Emisiones indirectas por consumo de electricidad			
Planta (Instalación)	Consumo diario (MWh)	Factor de emisión (T CO ₂ e/MWh)	Emisiones GEI (T CO ₂ e)
Harnero vibrador			
Equipo chancador			
Iluminación de la planta			
Instalación general			
Total emisiones consumo eléctrico			

Factores de emisión		
Año	SING	SIC
2013	0,811	0,432
2014	0,790	0,360
2015	0,764	0,346

* SING: Sistema interconectado norte grande

* SIC: Sistema interconectado central

* Factores de emisión tomados desde ministerio de energía
<http://huelladecarbono.minenergia.cl>

Producción diaria promedio de áridos		m ³
Emisiones GEI / Producción de áridos		T CO ₂ e / m ³ de áridos

d) Huella hídrica

Tabla 5.18 Consumo de recurso hídrico en planta de agregados pétreos.

Consumo en el proceso de fabricación de agregados pétreos				
Identificación fuente de descarga	Etapas de actividad	Caudal de descarga (m ³ /día)	Duración de descarga	Frecuencia de emisión
Agua proveniente de servicios básicos				Variable
Agua proveniente del proceso de lavado de material pétreo				Variable
Agua proveniente de lavado de vehículos y maquinaria				Variable
Total				

Producción diaria promedio de áridos		m ³
Consumo de agua diario / Producción de áridos		m ³ de agua / m ³ de áridos

* El destino de efluentes líquidos si son reciclados o reutilizados no serán cuantificados como emisiones en el inventario de ciclo de vida.

2.- Cemento

Tabla 5.19 Consumo de materias primas en la producción de 1 m³ de hormigón

Subsistema: Producción de Clínker			Subsistema: Producción de Cemento		
Entrada de materiales con respecto a cantidad de cemento ocupada en 1 m ³ de hormigón	Cantidad de material (kg)	Contribución %	Entrada de materiales con respecto a cantidad de cemento ocupada en 1 m ³ de hormigón	Cantidad de material (kg)	Contribución %
Marga			Clínker		
Minerales de arcilla			Escorias		
Pizarra			Cenizas		
Óxidos férricos			Otros		
Otros			Total		100%
Total		100%	Yeso		

a) Material particulado

Tabla 5.20 Emisiones de material particulado en el proceso fabricación del producto.

Emisiones de material particulado en proceso de fabricación de cemento			
Identificación de actividades contaminantes	MP-2.5 (ug/m ³ N)	MP-10 (ug/m ³ N)	MP (ug/m ³ N)
Emisiones de chimenea en horno de clínker			
Procesos de molinos de crudo			
Enfriamiento de clínker			
Molino de cemento			
Acopio de productos finales y/o transporte a planta de hormigón			
TOTAL EMISIONES			

Propuesta: MEDICIONES CON ESTACIÓN METEOROLOGICA SIMPLE

b) Gases de combustión

Tabla 5.21 Emisiones al aire de proceso de producción de clinker y producción de cemento

Subsistema: Producción de Clinker			Subsistema: Producción de Cemento		
Salidas del sistema con respecto a cantidad de cemento ocupada en 1 m3 de hormigón	Cantidad de material (kg)	Contribución %	Salidas del sistema con respecto a cantidad de cemento ocupada en 1 m3 de hormigón	Cantidad de material (kg)	Contribución %
Amoniaco (NH ₃)			Amoniaco (NH ₃)		
Monóxido de carbono (CO)			Monóxido de carbono (CO)		
Dióxido de carbono (CO ₂)			Dióxido de carbono (CO ₂)		
Hidrocarburos (C _x H _y)			Hidrocarburos (C _x H _y)		
Óxido nitroso (N ₂ O)			Hidrofluoruros (HF)		
Óxidos de nitrógeno (NO _x)			Óxido nitroso (N ₂ O)		
Dióxido de azufre (SO ₂)			Óxidos de nitrógeno (NO _x)		
Óxidos de azufre (SO _x)			Dióxido de azufre (SO ₂)		
Hidrofluoruros (HF)					
Total		100%	Total		100%

* MEDICIONES ESTIMADAS POR CADA PLANTA DE FABRICACION

Tabla 5.22 Clasificación de emisiones según efecto invernadero (Calentamiento Global)

Subsistema: Producción de Clinker				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	CO2 equivalente parcial (kg)	Contribución %
CO2		1		100%
N2O		270		0
CO2 equivalente total (kg)				100%
Subsistema: Producción de Cemento				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	CO2 equivalente parcial (kg)	Contribución %
CO2		1		96%
N2O		270		4%
CO2 equivalente total (kg)				100%
Sistema: Producción de Cemento				
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	Contribución %
Subsistema de producción de clinker				70%
Subsistema de producción de cemento				30%
CO2 equivalente total (kg)				100%

* Datos normalizados por Sima Pro 4.0 – Slag cement production

Tabla 5.23 Clasificación de emisiones según potencial de acidificación

Subsistema: Producción de Clínter				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	SO2 equivalente parcial (kg)	Contribución %
Amoniaco (NH3)		1.88		0%
HF		1.60		0%
NOX		0.70		66%
SO2		1.00		2%
SOX		1.00		32%
SO2 equivalente total (kg)				100%
Subsistema: Producción de Cemento				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	SO2 equivalente parcial (kg)	Contribución %
Amoniaco (NH3)		1.88		0%
HF		1.60		0%
NOX		0.70		42%
S2O		1.00		58%
SO2 equivalente total (kg)				100%
Sistema: Producción de Cemento				
Subsistemas			SO2 equivalente (kg)	Contribución %
Subsistema de producción de clínter				62%
Subsistema de producción de cemento				38%
SO2 equivalente total (kg)				100%

* Datos normalizados por Sima Pro 4.0 – Slag cement production

Tabla 5.24 Clasificación de emisiones según potencial de eutrofización

Subsistema: Producción de Clínter				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	PO4 equivalente parcial (kg)	Contribución %
Amoniaco (NH3)		0.33		0%
NOX		0.13		100%
PO4 equivalente total (kg)				100%
Subsistema: Producción de Cemento				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	PO4 equivalente parcial (kg)	Contribución %
Amoniaco (NH3)		0.33		0%
NOX		0.13		100%
PO4 equivalente total (kg)				100%
Sistema: Producción de Cemento				
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	Contribución %
Subsistema de producción de clínter				72%
Subsistema de producción de cemento				28%
CO2 equivalente total (kg)				100%

* Datos normalizados por Sima Pro 4.0 – Slag cement production

Tabla 5.25 Clasificación de emisiones según potencial ozono fotoquímico

Subsistema: Producción de Clínker				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	C2H4 equivalente parcial (kg)	Contribución %
CXHY		0.396		100%
C2H4 equivalente total (kg)				100%
Subsistema: Producción de Cemento				
Sustancia emitida	Cantidad emitida (kg)	Factor de caracterización	C2H4 equivalente parcial (kg)	Contribución %
CXHY		0.396		100%
C2H4 equivalente total (kg)				100%
Sistema: Producción de Cemento				
Subsistemas			C2H4 equivalente (kg)	Contribución %
Subsistema de producción de clínker				6%
Subsistema de producción de cemento				94%
C2H4equivalente total (kg)				100%

* Datos normalizados por Sima Pro 4.0 – Slag cement production

Tabla 5.26 Gases de combustión de motores de camiones de transporte de materias primas a planta de hormigón

Transporte de materias primas a planta de hormigón						
Descripción	Consumo (l)	Energía total combustible (GJ)	Emisiones de CO2 (T CO2)	Emisiones CH4 (T CH4)	Emisiones N2O (T N2O)	Emisiones GEI (TCO2 e)
Consumo de combustible de vehículos de organización a gasóleo o diésel						
Consumo de combustible de vehículos de organización gasolina						
Total combustión móvil						

* Los valores referenciales y la metodología para el cálculo son idénticos a los propiciados para el cálculo de emisiones en el transporte de áridos especificados en la tabla 5.12

c) Consumo eléctrico

Tabla 5.27 Emisiones indirectas generadas por consumo eléctrico de planta

Emisiones indirectas por consumo de electricidad			
Planta (Instalación)	Consumo diario (MWh)	Factor de emisión (T CO ₂ e/MWh)	Emisiones GEI (T CO ₂ e)
Molienda de materias primas			
Molienda de cemento			
Iluminación de la planta			
Instalación general			
Total emisiones consumo eléctrico			

Factores de emisión		
Año	SING	SIC
2013	0,811	0,432
2014	0,790	0,360
2015	0,764	0,346

* SING: Sistema interconectado norte grande

* SIC: Sistema interconectado central

* Factores de emisión tomados desde ministerio de energía
<http://huelladecarbono.minenergia.cl>

Producción diaria promedio de cemento		m ³
Emisiones GEI / Producción de cemento		T CO ₂ e / m ³ de cemento

d) Huella hídrica

Tabla 5.28 Consumo de recurso hídrico en planta de fabricación de cemento.

Consumo en el proceso de fabricación de cemento.				
Identificación fuente de descarga	Etapas de actividad	Caudal de descarga (m ³ /día)	Duración de descarga	Frecuencia de emisión
Agua proveniente de servicios básicos de instalaciones				Variable
Agua proveniente del proceso de enfriamiento del material				Variable
Agua proveniente de lavado de vehículos y maquinaria				Variable
Total				

Producción diaria promedio de áridos		m ³
Consumo de agua diario / Producción de áridos		m ³ de agua / m ³ de cemento

* El destino de efluentes líquidos si son reciclados o reutilizados no serán cuantificados como emisiones en el inventario de ciclo de vida.

5.2.7 Resultados del Inventario del ciclo de vida del proceso de fabricación de hormigón

Tabla 5.29 Parámetros que describen los impactos medioambientales (Etapas A1 – A4)

Parámetros y unidades	Impacto / m3 de hormigón normal premezclado (Por planta de fabricación y procesos de manufactura de materias)							
	17.5	20	25	30	35	40	45	50
Resistencia a la compresión (Mpa)								
Potencial de calentamiento global (kg CO2 equ.)								
Potencial de reducción de ozono (kg CFC11 equ.)								
Potencial de acidificación (kg SO2 equ.)								
Potencial de eutrofización (kg PO4 -3 equ)								
Potencial de formación de ozono fotoquímico (kg etileno equ.)								
Cuantificación de material particulado (kg)								

Tabla 5.30 Parámetros que describen los recursos utilizados (Etapas A1 – A4)

Parámetros y unidades	Impacto / m3 de hormigón normal premezclado (Por planta de fabricación y procesos de manufactura de materias)							
	17.5	20	25	30	35	40	45	50
Resistencia a la compresión (Mpa)								
Total de energía primaria renovable (T CO2 equ.)								
Total de energía primaria no renovable (T CO2 equ.)								
Uso de material secundario (kg)								
Uso de combustibles secundarios no renovables (m3)								
Uso de agua potable desde la red (m3)								

Tabla 5.31 Parámetros de otros impactos medioambientales adicionales (Etapas A1 – A4)

Parámetros y unidades	Impacto / m3 de hormigón normal premezclado (Por planta de fabricación y procesos de manufactura de materias)							
Resistencia a la compresión (Mpa)	17.5	20	25	30	35	40	45	50
Residuos peligrosos (kg)								
Residuos no peligrosos (kg)								
Residuos radioactivos (kg)								
Reutilización de residuos (kg)								
Materiales para reciclaje (kg)								
Materiales reciclados para producir energía (kg)								
Energía exportada (MJ)								

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES DE LA MEMORIA
INVESTIGATIVA**

6.1 Conclusiones

En este capítulo, se exponen las conclusiones resultantes de los trabajos de investigación llevados a cabo en la presente memoria. Estas conclusiones se presentan como conclusiones generales en relación a lo estudiado en esta memoria y conclusiones específicas, asociadas a los temas concretos tratados en distintos capítulos.

Para finalizar, en este capítulo se aportan diferentes líneas de investigación que deberían servir para orientar futuros trabajos de investigación y aplicación que consoliden el empleo del análisis de ciclo de vida, tanto en el ámbito de los materiales derivados del cemento como para otros productos de la construcción.

6.1.1 Conclusiones Generales

El amplio estudio bibliográfico realizado, refleja que existe una creciente tendencia de estudio de temas medioambientales con diferentes herramientas con el fin de cuantificar las distintas variables. Ahora bien, esa situación no es igual en los distintos sectores, así mientras está bastante avanzado en sectores industriales, especialmente en la industria química y en productos de relativamente corta vida útil, podemos observar que se encuentra más retrasado en el sector de la construcción donde la vida útil de una estructura, entendida como un producto, está en la mayoría de los casos sin estudios objetivos.

Dentro del estudio realizado en esta memoria podemos dar hincapié a la idea de que el hormigón es un material de construcción cuyo consumo ha ido incrementando potencialmente durante los últimos años, debido al sinfín de ventajas que presenta, caracterizándose como un material versátil, eficiente e indispensable en el desarrollo de la construcción moderna, además el segundo material más consumido por el hombre después del agua. Gran parte de las construcciones, ya sean industriales, comerciales o residenciales lo utilizan como elemento principal. Más aún si son obras de gran tamaño que se espera tengan una extensa vida útil.

Dentro de la composición general del hormigón podemos encontrar en gran proporción la incorporación del cemento, que luego de un exhaustivo análisis crítico, podemos aseverar que es el principal agente contaminante que conforma dicho producto, donde en su proceso de manufactura sobresale la elaboración del clinker que es clasificado como un gran agente contaminante. Dicho esto, debemos dar en hincapié que las metodologías que se presentaron en esta guía pretenden facilitar la toma de decisiones a los decisores políticos y empresariales, estimando los potenciales impactos positivos y negativos de cualquier propuesta, teniendo en cuenta los aspectos fundamentales de la sustentabilidad.

La forma más adecuada e internacionalmente reconocida a la hora de llevar a cabo el análisis de la sustentabilidad de un proyecto, es a través del análisis de ciclo de vida del mismo con un enfoque global desde la cuna a la tumba, o como se llevó a cabo en esta memoria desde la cuna hasta la puerta, pasando por todas las etapas relevantes del proceso de fabricación del producto. Para llevar a cabo dicho análisis, es fundamental disponer de las correspondientes eco etiquetas tipo III, declaraciones ambientales de producto verificadas por una tercera parte independiente.

El análisis de ciclo de vida, las reglas de categoría de producto y las declaraciones ambientales de producto, en conjunto, son el mejor sistema actual de comunicación del comportamiento ambiental de un producto de manera fiable, transparente y cuantificable y se ha demostrado su validez e importancia para la prestación de servicios y manufactura de productos en el sector de la construcción.

Como se ha aclarado, una de las posibles explicaciones de que los temas de ACV estén menos desarrollados en el sector de la construcción es la dificultad de la definición de los límites del sistema en el proceso constructivo, con una vida útil no definida y diferentes puntos de análisis. Por ello, en la presente memoria entendíamos necesario abordar esa dirección y en consecuencia se hacen aportaciones conceptuales, entendemos que significativas, en cuanto a la definición de estos límites y la diferenciación del nivel del análisis.

Para la realización de las correspondientes declaraciones de producto, el proceso debe partir de un análisis muy exhaustivo de todos los procesos y la disponibilidad de todos los datos técnicos asociados a los mismos. Las declaraciones ambientales de producto son aplicables a todo tipo de productos y están diseñadas para satisfacer las diversas necesidades de información dentro de una cadena de suministro y de los productos finales. Pero, la parte más beneficiosa de una DAP es que puede ser considerada como objetiva, mediante el uso de métodos científicamente aceptados y validados sobre la base de las normas internacionales para la evaluación del ciclo de vida, verificable, debido a que la información para las DAP se recoge y se calcula sobre la base de reglas de cálculo aceptadas y armonizadas, precisa, porque la información tiene que ser continuamente actualizada, gracias a las rutinas establecidas en la empresa para la documentación y los procedimientos de seguimiento, y creíble, a través de los requisitos de rutina, revisión, aprobación y seguimiento por parte de un verificador independiente y reconocido.

De acuerdo con argumentos y experiencias recopiladas en el presente documento, se deduce que una DAP es una tendencia en el día de hoy para comunicar el perfil ambiental de un producto, servicio o actividad de una manera veraz, trazable y verificable. Por ello, las ventajas de desarrollar y verificar una DAP son:

- Mejora la competitividad de la empresa a nivel internacional.
- Le permite acceder a mercados que anteriormente no tenía entrada.
- Se utiliza como herramienta informativa de cara a la consecución y compra de otros productos y servicios.
- Su clasificación en grupos permite hacer comparaciones entre productos funcionalmente equivalentes.
- Se puede comprobar y validar por una tercera parte independiente que garantice la credibilidad y la veracidad de la información contenida en la DAP. Sin embargo, es necesario trabajar en pro de la armonización de las Reglas de Categoría de Producto (RCP) para conseguir comparaciones efectivas y eficaces entre diferentes DAPs verificadas con diferentes programas de verificación.

6.1.2 Conclusiones Específicas

Evolución del escenario nacional

El análisis de la situación actual en nuestro país permite constatar que resulta prioritaria la adaptación a un escenario condicionado por las futuras exigencias normativas en el contexto de Estados Unidos y Europa, teniendo presentes las limitaciones prácticas existentes en el contexto nacional, que se caracteriza por la falta de bases de datos y estudios específicos para la evaluación ambiental de las prácticas constructivas chilenas. La atención del trabajo de investigación desarrollado se ha centrado en el ámbito de la evaluación ambiental del hormigón, como principal material de construcción, con el objetivo principal de plantear una metodología de evaluación de los aspectos o impactos ambientales asociados al ciclo de vida de su proceso de fabricación que alcance el equilibrio preciso entre simplicidad de planteamiento, (que haga viable su aplicación práctica en el contexto de nuestro país) y rigor metodológico, de manera que los resultados sean siendo fiables y verificables.

Grado de sustentabilidad de los materiales

Frecuentemente se asocia el impacto ambiental de un material con los resultados concretos de una evaluación en la que este material resulta preferible, desde el punto de vista de su comportamiento ambiental, siendo consecuentemente identificado como ***material sustentable***.

En este sentido, cabe realizar una precisión elemental: los materiales no son sustentables por sí mismos, es su empleo el que puede resultar preferible ambientalmente. Para poder ser definido como “sustentable” sería preciso incorporar variables económicas, sociales y culturales en un lugar específico, para una función determinada. Al margen de los procesos de extracción o fabricación, que en muchos sectores se caracterizan por un elevado grado de estandarización a nivel internacional, existen factores como el transporte hasta un determinado lugar, el tratamiento que han de recibir para un uso o las repercusiones que su comportamiento tendrá en un emplazamiento concreto (por ejemplo, en cuanto a comportamiento energético, durabilidad, etc.), que determinarán la conveniencia de su elección, en función de si efectivamente el impacto ambiental asociado es inferior al generado por las posibles soluciones alternativas. Se puede formular, por lo tanto, la siguiente aseveración: No se puede establecer una relación directa entre un material y la relevancia del impacto ambiental asociado, sin especificar el contexto geográfico específico y su función.

Elección de materiales

Los materiales usados en la construcción se deben mirar desde los diferentes procesos del ciclo de la vida para comprender mejor su relación con el entorno natural y para buscar tomar medidas que mitiguen los efectos sobre este. Es mejor para el sistema ambiental construir con materiales que no necesiten de muchos procesos de industrialización, pues de esta manera se enmarca en los principios de la sustentabilidad. Para hablar de sustentabilidad de los materiales usados en la construcción e deben de tener en cuenta no solamente aspectos ambientales, sino también aquellos de índole técnico, económico y cultural

Análisis de ciclo de vida como herramienta de evaluación

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se ha constituido como la metodología de referencia para la evaluación ambiental de productos y procesos, siendo el enfoque prioritario, tanto en la definición de políticas normativas, como en el planteamiento de los instrumentos de evaluación de carácter voluntario. El objetivo conceptual es identificar y cuantificar las cargas o impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final de los residuos. En los últimos años la metodología de ACV ha experimentado una progresión exponencial de su aplicación y en la actualidad numerosos proyectos, estudios sectoriales e iniciativas normativas están impulsando un avance sin precedentes en la concreción metodológica y un notable enriquecimiento de las bases de datos disponibles.

El ACV permite identificar los elementos más relevantes, desde el punto de vista de su contribución a las cargas ambientales del sistema analizado, y plantear acciones de mejora, garantizando que éstas se traduzcan en una reducción efectiva del impacto ambiental asociado y no deriven en una transferencia de impactos entre las diferentes etapas del ciclo de vida.

Es importante, por otra parte, señalar que no existe un criterio científico consensuado que permita llegar a un único valor de puntuación final para definir el comportamiento ambiental de un producto o proceso. La aplicación rigurosa de la metodología de ACV requiere conocimiento experto, pero, como la propia ISO 14044 expone, no hay una única base científica para sintetizar los resultados del ACV a una única “calificación global”

Ciclo de vida incompleto

Una de las principales limitaciones de la aplicación del ACV en el sector de la construcción es la falta de información disponible sobre el impacto ambiental asociado a los materiales de construcción, representativa de los procesos involucrados en contextos específicos y elaborada con transparencia y fiabilidad. Esta información ha de ser necesariamente el punto de partida de la modelización del impacto ambiental, por lo que, para garantizar la viabilidad de la evaluación, es necesario mejorar el acceso a la información.

Si bien la falta de disponibilidad de datos constituye un primer obstáculo, es importante señalar que la evaluación a nivel de producto dificulta incorporar al análisis el enfoque funcional de forma adecuada, por lo que los resultados de esta evaluación, tal y como son expresados en las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), representan básicamente la información modular que será empleada para la evaluación del ciclo de vida completo. La comparación directa de productos, sin considerar de forma adecuada su contexto funcional, puede conducir a conclusiones erróneas. Finalmente, insistir en que la labor a desempeñar desde el ámbito científico ha de dirigirse fundamentalmente en dos direcciones: por una parte, promover la generación de datos representativos y fiables, su difusión y accesibilidad, de modo que resulte factible abordar el análisis en un sistema complejo como lo es el sistema de fabricación de hormigón, por otra parte, los esfuerzos han de concentrarse en el proceso de armonización metodológica y elaboración de guías de aplicación e interpretación, que garanticen la coherencia y comparabilidad de los resultados obtenidos, optimizando la viabilidad práctica de las evaluaciones.

Desarrollo y comunicación de factores del ciclo de vida del hormigón

Con la elaboración de este documento se pretende ofrecer un marco guía normativo a aquellos fabricantes que decidan cuantificar los impactos ambientales de los procesos de fabricación de hormigón, ya sea de forma individual o agrupándose sectorialmente, opción aplicable para aquellos de composición y características funcionales similares y que además quieran optimizar los costes que conllevan las consultoras de ACV y las entidades de verificación medioambiental. Esta guía para la elaboración de DAP referente al hormigón resulta especialmente útil para una persona o empresa que quiera en una primera etapa de proyecto, conocer el impacto ambiental de un producto de la gama de hormigones prefabricados. Esta información proporciona al fabricante un factor diferenciador frente a su competencia, no sólo a nivel de imagen corporativa, sino también al poder ofertar en obras que se certifiquen bajo sistemas de evaluación ambiental (LEED, BREEAM, entre otros.), que bonifican la obtención de créditos por la utilización de productos con DAP o ACV certificados.

También es necesario apuntar que el hecho de que un hormigón premezclado disponga de una DAP no implica que sea medioambientalmente mejor que otro que no lo tenga, aunque ésta deba ser una vía eficaz para mejorar el comportamiento ambiental (por ejemplo, reducción del consumo eléctrico o de agua asociado, sin menoscabo de sus prestaciones).

6.2 Líneas futuras de investigación

En la presente memoria se ha estudiado las bases y criterios en que deben asentarse los inventarios de ciclo de vida de la producción de hormigón, siendo concluyente la necesidad de realizar un inventario nacional.

La creación de una red de información dentro del sector es una opción viable y factible, lo que se requiere es la decisión política y empresarial de instalarla, dado que la acción de un fabricante no sería una acción aparentemente bien aceptada por los demás productores. Asimismo, la importancia de la información para el usuario es imprescindible, pues, este necesita disponer de la información como medio de apoyo en sus procesos de decisión.

La elaboración de herramientas numéricas (cuantitativas) que se apoyen en un adecuado soporte informático, facilitaría la adquisición y gestión de estos datos, tanto en el ámbito interno del sector cementero y del hormigón, como en la estructuración general de la información que necesita hacerse pública.

Al mismo tiempo que se desarrollen inventarios para el hormigón, es de gran manera necesario y con gran esfuerzo en paralelo el desarrollo de inventarios para los otros materiales componentes del hormigón (cemento, áridos, aditivos, entre otros). Estos inventarios del ciclo de vida, necesitan, por lo tanto, tener los mismos niveles de precisión que los del hormigón con el fin de no distorsionar la evaluación del sistema analizado.

El medio de comunicación denominado declaración ambiental de productos, es la herramienta actualmente utilizada para tener una comunicación clara, limpia y transparente del uso de recursos y la emisión de contaminantes en la manufactura de un producto. Una nueva idea para una futura investigación relacionada con esta memoria es la de realizar una guía de comunicación que organice y comunique la información que conllevan todos los procesos de todos los principales materiales requeridos en el sector de la construcción.

Bibliografía

- Alejandro Gallego (2008), Diferenciación espacial en la metodología de ACV, Santiago de Compostela, disponible en <http://www.usc.es/biogrup/sites/default/files/AlejandroGallego.pdf>
- Análisis de ciclo de vida de la Construcción, disponible en <http://oliebana.com/2012/09/23/analisis-de-ciclo-de-vida-acv-en-la-construccion/>
- Agustín Hernández Aja (2009) Análisis de ciclo de vida, disponible en <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html#30>
- Antón Vallejo (2004) Metodología del análisis del ciclo de vida, disponible en http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104-100039/#documents
- Asamblea general de las naciones unidas (1987) Desarrollo sostenible, disponible en <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- BASF (2013) Perfil Medioambiental del Hormigón, Construcción y Tecnología <http://www.imcyc.com/revistacyt/marzo2013/pdfs/sustentabilidad.pdf>
- Bare, J.C. (2000) LCIA Workshop Summary. Midpoints vs Endpoints.
- Beatriz Rivela (2010) Análisis de ciclo de vida, Madrid, disponible en <http://oa.upm.es/14912/1/BeatrizRivela.pdf>
- Blanca Romero Rodríguez (2011) Análisis de ciclo de vida y la gestión, disponible en <http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf>
- BREEAM UK (2014) Compliant (or equivalent) Tools and Data Submission Requirements, disponible en <http://kb.breeam.com/knowledgebase/gn08-scope-of-impact-compliant-tools-and-data-submission-requirements/>
- Brundtland, G. (1987) Our Common Future the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, disponible en <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Calvente, Arturo (2007) El concepto moderno de sustentabilidad

- Carbon Leadership Forum (2012) North American product category rules for ISO 14025 type III environmental product declarations and GHG protocol conformant product “Carbon footprint” of Concrete.
- Carbon leadership forum (2012) Concrete product category rules – Finalization status and key stakeholder Issues.
- Carbon Leadership Forum (2013) PCR CONCRETE VERSION 1.1
- Cardim de Carvalho (2001) Análisis de ciclo de vida de Productos, Barcelona, disponible en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5903/TESIS.pdf?sequence>
- Carlos Ibaceta, 2004, Memoria “Proposición de una Metodología de Evaluación de la Sustentabilidad de los materiales de construcción y generación de un sello verde” Universidad de Valparaíso, Chile.
- CES (2014) Certificación Edificio Sustentable - Manual de evaluación y calificación.
- CONAMA (2000) Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, Santiago de Chile, disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-39922_recurso_1.pdf
- CONAMA (2007) Ley 19.300, Bases generales del medio ambiente, disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-26087_ley_bases.pdf
- CONAMA (2009) Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, disponible en http://www.mma.gob.cl/retc_ingles/1316/articles-51545_recurso_1.pdf
- CONAMA (2010) Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile.
- Consoli, F (1993) Guidelines for the cycle assessment: A code of practice – Portugal.
- Contreras, A. (2007) Metodología para el análisis del ciclo de vida combinado con análisis energético.
- Enguita (2012) Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación, disponible en <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19179/TFM-OscarEnguita.pdf>
- F. Spreckley (1981) Tres pilares de la sustentabilidad

- Feijoo, G (2007) Análisis del ciclo de vida (I). Desarrollo sostenible y ACV.
- Fenercom (2014) Guía sobre Declaración Ambiental de Producto y Cálculo de Huella de Carbono, disponible en <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-Declaracion-Ambiental-de-Producto-y-Calculo-de-Huella-de-Carbono-fenercom-2014.pdf>
- Gabriel Tirado Bustamante, Tesis de Título “Validación de la metodología de evaluación de la sustentabilidad de los materiales de construcción. Aplicación al Hormigón y sus componentes”, 2005, Valparaíso-Chile.
- Gerdau Aza (2013) Declaración ambiental de productos según normas ISO 14025 e ISO 21930 para acero de refuerzo A630-420H
- Goncalvez (2004) El análisis de ciclo de vida y su aplicación a la arquitectura y al urbanismo.
- Guidance for Product Category Rule Development (2013) Version 0.9 (Draft for public comment)
- Hormigones Transex Ltda. (2013) Declaración ambiental de producto para el hormigón
- ICH (2010) Demanda anual de hormigón en Chile, disponible en <http://ich.cl/descargas/>
- IHOBE (2009) Sociedad pública de gestión ambiental – Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto.
- IHOBE (2015) La Declaración Ambiental de Producto. Un instrumento de información y comparación ambiental entre productos.
- INE (2015) Informe anual 2015, disponible en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/2015/informe-medio-ambiente2015.pdf
- International EDP System (2010) Product category rules of concrete, version 1.0
- International EDP System (2010) Product category for preparing an Environmental Product Declaration for Slag Cement (UN CPC 3744) Version 2.0
- International EDP System (2013) General programme instructions for the international EDP System.

- International EDP System (2014) Environmental product declaration – ready mix concrete using holcim manufactured cement.
- International Sustainability Systems Report (2010) The sustainability professional, competency survey report, disponible en https://www.sustainabilityprofessionals.org/system/files/ISSP%20Special%20Report_3.10_final_0.pdf
- ISO 15392 (2008) Sustainability in building construction- General principles
- ISO 21930 (2007) Sustainability in Building Construction-Environmental declaration of building products.
- Kim Mullins (2000) Green design institute: Economic Input-output life cycle assessment (EIO-LCA), Carnegie Mellon University, disponible en <http://www.cmu.edu/gdi/research/lca.html>
- MMA (2014) Quinto informe nacional de diversidad biológica de Chile ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica, disponible en www.cbd.int/doc/world/cl/cl-nr-05-es.pdf.
- MMA (2016) Proyecto de Ley REP
- Ministerio de Energía Chile (2013) Inventario de emisiones de GEI para PyMEs, disponible en <http://huelladecarbono.minenergia.cl/limites-oper>
- MINVU-BRE (2014) Código de Construcción Sustentable.
- National Ready Mixed Concrete Association (2014) Ready mixed concrete EDP <http://www.nrmca.org/sustainability/epdprogram/Downloads/NRMCA%20EPD%2012.07.2014.pdf>
- National Ready Mixed Concrete Association (2014) A cradle to gate life cycle Assessment of ready- mixed concrete Manufacture.
- OCDE (2014) Greenhouse gas emissions by source
- OCDE (2015) Economics Surveys Chile, disponible en http://dx.doi.org/10.1787/eco_surveys-chl-2015-en
- OCDE (2016) Evaluaciones del Desempeño Ambiental en Chile.

- ONU (1992a) Convention on biological diversity, disponible en <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>
- ONU (1992b) United Nations Framework convention on climate change, disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- ONU, (1992c) Programme for the further implementation of Agenda 21, disponible en <http://www.un.org/documents/ga/res/spec/aress19-2.htm>
- ONU (1992d) Declaración de rio sobre el medio ambiente y desarrollo <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
- ONU (2002) Cumbre de Johannesburgo – Informe de la cumbre del desarrollo sostenible
- ONU (2005) “World Summit outcome” disponible en <http://www.un.org/womenwatch/ods/A-RES-60-1-E.pdf>
- Schiller (2010) Evaluación ambiental de edificios – Aplicación del sistema Green Building Challenge, Buenos Aires.
- Schmid (2008) Diferenciación espacial en la metodología de ACV: Desarrollo de factores regionales para eutrofización acuática y terrestre – Universidad de Santiago de Compostela.
- UN Documents (1987) Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development
- UNE-EN ISO 14025 (2006): Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- UNE-EN ISO 14040 (2006): Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044 (2006): Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- UNE-EN 15804 (2012): Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto.
- UNGC (2010) Sustainable cities, global compact cities programme, disponible en <https://www.unglobalcompact.org/library/237>

- U.S. EPA (2008) Air Pollution Control Technology Fact Sheet, US Environmental Protection Agency, disponible en <http://usasearch.gov/search?input-form=simple-firstgov&query=site%3Aepa.gov+EPA-452%2FF-03-034&x=38&y=15>.
- U.S. EPA (1994) Emission Factor Documentation for AP-42, Portland Cement Manufacturing, final Report., Office of Air Quality Planning and Standards Emission Inventory Branch, Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA (1999) Nitrogen Oxides (NOX), Why and How They Are Controlled. North Carolina
- WWF (2006) World wide fund for nature, disponible en http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/living_planet_report_timeline/lp_2006/
- Zabalza (2011) Life cycle assessment of Building materials: Comparative analysis Energy and Environmental and evaluation of the eco – efficiency improvement potential.

Referencias

<http://www.cnrcop.es/>
<http://www.dapco.cl/>
<http://www.ecfr.gov/>
<http://www.environdec.com/>
<http://www.ich.cl/>
<http://www.ipcc.ch/>
<http://www.fenercom.com/>
<http://www.lifecycleinitiative.org/>
<http://www.nrmca.org/>
<http://www.pnuma.org/>
<http://www.prtr-es.es/>
<http://www.wbcdcement.org/>