

4. ACV. Estado del conocimiento

El Análisis de ciclo de vida (life-cycle assessment) es una herramienta que permite evaluar el impacto ambiental de un proceso o producto considerando todas las etapas que intervienen desde su producción hasta su eliminación, desde la extracción de los recursos hasta la distribución del producto ya elaborado o el tratamiento de los desechos derivados. Esto implica identificar y cuantificar la energía, los materiales usados y los desechos liberados al medioambiente en cada etapa del ciclo de vida de un producto. De este modo se evalúa el impacto ambiental generado y se hallan las opciones de mejora.

Esta concepción del ACV ha sido generalmente aceptada entre la comunidad de investigación ambiental como la única base legítima sobre la que comparar materiales alternativos, componentes y servicios. El ACV se centra en los impactos ambientales relacionados con los sistemas ecológicos, la salud humana y el agotamiento de los recursos. No tiene en cuenta efectos económicos o sociales.

Las áreas de aplicación generales son:

- La identificación de los procesos, ingredientes y sistemas que más contribuyen al impacto ambiental.
- La comparación de diferentes opciones para un proceso en particular con el objetivo de minimizar los impactos ambientales.
- Ser de guía en las planificaciones estratégicas a largo plazo relacionadas con las modas en el diseño de productos y en los materiales.
- La evaluación de los efectos sobre los recursos naturales asociados con determinados productos, incluyendo nuevo productos, y
- Ayudar a introducir a los diseñadores de productos en el uso de materiales de producción más respetuosos con el medioambiente y en la comparación ambiental de productos equivalentes.

Hay mucho escrito sobre metodología para realizar un buen análisis de ciclo de vida pero pocos casos reales de aplicación. La principal causa de ello reside en la complejidad que supone un estudio desde la cuna hasta la tumba de cualquier producto manufacturado. Es necesaria información de la energía utilizada y de las emisiones generadas por los diferentes agentes interventores en la fabricación del producto estudiado, esto implica trabajar en la mayoría de casos con datos procedentes de diferentes fuentes y no homogeneizados.

Existen bases de datos de carácter internacional especialmente diseñadas para la elaboración de análisis de ciclo de vida pero de acceso restringido.

4.1. Origen y evolución del Análisis de Ciclo de Vida

La evolución hacia el Análisis de Ciclo de Vida empezó con estudios que pretendían optimizar el consumo de energía en un contexto en el que un gran consumo representaba una limitación para los industriales, como por ejemplo aumento de costes o posibles boicots de suministro energético.

Con el tiempo, estos simples estudios de consumo energético se transformaron en estudios que también contemplaban el consumo de energía de las materias primas, con la intención de mejorar el análisis y obtener más información.

Finalmente, tras amainar la crisis del petróleo, aparecieron estudios que tenían en cuenta no tan sólo la energía, sino todos los impactos asociados y no tan sólo los “inputs” (materias primas) sino también los “outputs” (elementos de desecho). Ya se puede empezar a hablar de Análisis de Ciclo de Vida. A partir de entonces la historia del ACV avanzó como se recoge a continuación.

1969 : primer estudio multicriterio para Coca-Cola (por Harry E. y Teastley Jr.) Teniendo en cuenta todos los impactos medioambientales, desde la extracción de las materias primas hasta el vertido de los desechos (lo que se llama un enfoque de la cuna a la tumba).

Objetivos del estudio:

- Escoger entre embotellado plástico o vítreo.
- Escoger entre producción de embotellado externa o interna.
- Optar por un fin de vida para la botella escogida: reciclar o “usar y tirar”.

El estudio reveló la botella de plástico como la mejor opción, contrariamente a todas las expectativas.

Este estudio no ha sido nunca publicado en su versión completa. Sólo apareció un resumen en la revista “Science” [Harry, E. y Teastley, Jr.; abril 1976]. Con los primeros resultados del estudio aparecieron las primeras discusiones sobre la validez de este. Esta situación llevó a la comunidad científica a decidir llevar a cabo un proceso de estandarización de los análisis de ciclo de vida.

1972: En el Reino Unido Ian Boustead calcula el total de energía usada en la producción de varios tipos de envases para bebidas, comparando materiales como vidrio, plástico, acero y aluminio. Durante los años siguientes Boustead consolidará su metodología para hacerla aplicable a materiales diversos

1979: Ian Bousted publica el Manual de Análisis de Energía Industrial recopilando así el resultado de sus investigaciones anteriores [Bousted,I.; 1979].

1979: Se funda el SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) en América del Norte para unificar hallazgos medioambientales. Esta sociedad no tiene ánimo de lucro y está compuesta por individuos e instituciones de todo el mundo.

1984 : Publicación por parte de EMPA del « Ecological report of packaging material », un artículo sobre las diferencias entre materiales para envasado [EMPA, 1984]

El EMPA es una institución que investiga sobre tecnología y ciencia de materiales. Pertenece al instituto federal suizo de tecnología y como tal, es un importante elemento en la tecnología, la ciencia y la educación en Suiza.

1991 : Publicación de los primeros trabajos del SETAC. Esta asociación empieza a dividir el análisis de ciclo de vida en tres pasos: objetivo y alcance, análisis de inventario y análisis de impacto.

Marzo 1992 : Primer proyecto Europeo de etiquetas ecológicas (“Eco-labels”). Estas etiquetas fueron lanzadas para estimular la producción y el consumo de productos ecológicos a escala europea. Las estadísticas demuestran que los consumidores quieren formar parte activamente en la protección del medioambiente comprando productos que garanticen ser menos agresivos ambientalmente.

Junio 1992 : creación de SPOLD. SPOLD era una asociación de industrias (entre ellas Ciba , Danfoss, Dow Corning, Electricite de France, Procter & Gamble, y Unilever) interesadas en acelerar el desarrollo del análisis del ciclo de vida como una herramienta aceptada de asesoramiento para la necesaria reestructuración de las políticas empresariales hacia un desarrollo sostenible. SPOLD se propone la creación de un estándar de intercambio de información entre 1995 y 1996. Esta asociación terminó sus actividades a finales del 2001. Su trabajo lo continúa actualmente otra asociación llamada UNEP.

1996 : NF X30-300, primer estándar en Francia para un “Análisis del Ciclo de Vida”

1997-2000 : La Organización de Estandarización Internacional (ISO) publica una serie de estándares internacionales para definir la metodología de un ACV, las ISO 14040,41,42,43. [AENOR; 2003]

La ISO (“International Organization for Standardization”) es una red de organismos de normalización nacionales de 156 países, con un miembro por país y con una Secretaría central en Génova, Suiza, que coordina el sistema. Su misión es la de promover el desarrollo de la normalización y de sus actividades relacionadas con el fin de facilitar el intercambio de productos y servicios entre países, así como desarrollar la cooperación internacional en actividades intelectuales, científicas, tecnológicas y económicas. La ISO empezó a funcionar el 23 de febrero de 1947 como organización no gubernamental. Sus miembros no son delegaciones de los gobiernos nacionales, como en el caso del sistema de los Estados Unidos. Ocupa una peculiar posición entre los sectores público y privado. Esto ocurre porque, por un lado muchos de los organismos miembros son parte de la estructura gubernamental o están dirigidos por el gobierno de su país. Por otro lado, otros miembros tienen sus raíces únicamente en el sector privado porque son organismos creados por sociedades nacionales de asociaciones industriales. Por ello, la ISO es capaz de actuar como una organización puente en la que el consenso puede ser alcanzado mediante soluciones que cumplen tanto los requerimientos empresariales como las más amplias necesidades de la sociedad, como pueden ser las necesidades de los grupos implicados como consumidores y usuarios.

El organismo miembro de la ISO en España es AENOR.

1997: La Comisión Europea emprende un estudio sobre el desarrollo de la política de productos integrada en los Estados miembros y sobre el empleo del concepto de “ciclo de vida de los productos” por parte de la industria y los consumidores.

La política de productos integrada (PPI) pretende complementar las políticas medioambientales actuales utilizando un potencial hasta ahora no explotado para reducir los efectos ambientales de los productos durante su ciclo de vida. La PPI pretende estimular cada fase individual del ciclo de vida para mejorar su comportamiento medioambiental. Esta política se centra principalmente en el diseño ecológico de los

productos y en la generación de información e incentivos para un uso eficiente de productos más ecológicos.

1999-2001 : Se publican las ISO 14020,25,48,49, serie de documentos técnicos estándar referidos a comunicación-etiquetado ambiental y a normalización de datos y ejemplos para el análisis del ciclo de vida.

7 de febrero 2001 : Presentación del libro verde sobre la política de productos integrada. Este documento recoge una lista de acciones propuestas e instrumentos de implementación [Comisión Europea; 2001].

4.2. Las ISO 14040 a 43

Las ISO 14040 a 43 son una serie de estándares publicados por la Organización Internacional de Estandarización entre el 1997 y el 2000 para la homogeneización del ACV. Cada una de estas ISO describe un paso del método para la realización de los Análisis de ciclo de vida.

- ISO 14040 Definición del objetivo y alcance (1997)
- ISO 14041 Análisis de inventario del ciclo de vida (1998)
- ISO 14042 Evolución del impacto del ciclo de vida (2000)
- ISO 14043 Interpretación de los resultados (2000)

Esta serie de estándares permiten hacer fiables y comparables los Análisis del ciclo de vida. Estas dos características son esenciales para una práctica duradera de estos análisis.

4.3. Proceso de Análisis del ciclo de vida: etapas de trabajo

A continuación se enumeran los contenidos de un análisis de ciclo de vida tal y como los define de organización de estandarización internacional a través de las normas ISO 14040 a 14043.

1. Definición del objetivo y alcance (ISO 14040)

1.1. Definición de los objetivos del estudio.

La realización de un estudio de ACV se puede hacer por diferentes motivos o con diferentes objetivos. Puede haber por ejemplo un ACV con el objetivo de comparar ambientalmente dos productos, servicios, o bien procesos. Por ejemplo, un estudio hecho con el propósito de evaluar si es mejor ambientalmente, para una determinada bebida, un envase de vidrio reutilizable o bien un envase de plástico reciclable. Hay otros estudios, en cambio, que tienen el objetivo de determinar las etapas del ciclo de vida que contribuyen más a determinados impactos con tal de poder proponer mejoras ambientales.

1.2. Elección de la unidad funcional

La unidad funcional será la unidad a la cual irán referidas todos los datos del sistema (tanto de consumo como de emisiones). Esta unidad puede ser de tipo físico; por

ejemplo en la evaluación del ciclo de vida de una nevera, se podría adoptar como unidad funcional “una nevera de características x”. O bien, de tipo funcional; por ejemplo para comparar dos pinturas de exterior se podría establecer como unidad funcional “la cantidad de pintura necesaria para mantener bien pintado 1 m² de pared durante 10 años”. Normalmente cuando se quiere hacer algún tipo de comparación (teniendo en cuenta que sólo se podrán comparar productos o servicios que cumplan una misma función), es necesario adoptar una unidad de tipo funcional, es decir, que vaya referida a la función que desarrollan los productos o servicios a comparar.

1.3.Determinación de los límites del sistema a considerar

Se entiende por límites del sistema o alcance del estudio a la definición clara de qué es lo que se incluye dentro del sistema estudiado y qué es lo que queda fuera.

Normalmente se excluyen del estudio aquellas etapas que se prevé que no serían significativas, que no tendrán un peso importante en la comparación.

1.4.Requisitos de calidad de los datos

Es necesario establecer unas normas de filtrado de datos que conceda validez y fiabilidad a estos. Algunos de los parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

Cobertura temporal

Cobertura geográfica

Cobertura tecnológica

Precisión, amplitud y representatividad de los datos

Consistencia y reproducibilidad de los métodos usados en el ACV

Fuentes de datos y su representatividad

Incertidumbre de la información

1.5.Revisión crítica

La revisión crítica es una técnica para verificar si un estudio de ACV ha cumplido los requisitos de la Norma Internacional (ISO) en cuanto a metodología, obtención y presentación de datos.

2. *Análisis de inventario del ciclo de vida (ISO 14041)*

La fase de inventario consiste en una recopilación de datos para cuantificar las entradas y salidas (de materia y energía) del sistema estudiado.

Se debe llegar a flujos materiales y energéticos que provengan o vayan directamente a la naturaleza, es decir, si de un proceso salen unas aguas residuales que se depurarán, o unos residuos que se tratarán, se deben incluir los consumos a causa de estos tratamientos y también las emisiones de contaminantes que llegarán finalmente al medio en forma de gas, sólido o líquido.

El análisis de inventario empieza definiendo el sistema a estudiar, a continuación divide este sistema en diferentes etapas para organizar el estudio y finalmente establece los flujos materiales y energéticos que implica cada etapa.

2.1.El sistema: construcción del árbol del ciclo vital

2.2.Recolección de datos

2.3.Identificación de la contribución de flujos a las diferentes etapas del ciclo de vida e identificación de las etapas más representativas

2.4.Procedimientos de cálculo

3. Evaluación del impacto del ciclo de vida (ISO 14042)

La finalidad de esta fase consiste en convertir la información obtenida en el inventario en una información interpretable: de los centenares de valores de intervenciones ambientales del inventario (emisiones, recursos consumidos, etc.), hay que reducir el número de criterios a los efectos sobre un número reducido de impactos ambientales. Entonces se hace una valoración, que consiste en poner valores relativos a los diferentes impactos ambientales para hacer una suma ponderada y obtener así un sólo índice para cada producto o componente que estamos analizando.

Las bases teóricas para la evaluación del impacto y, aún más, para interpretar y comparar la amplia gama de fuentes e impactos ambientales están pobremente definidas en la actualidad.

Características de las emisiones [Dept. Medi Ambient, 2005]

CO₂ (dióxido de carbono)

- Gas incoloro de olor ligeramente picante, prácticamente inodoro y más pesado que el aire.
- El incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera puede alterar la temperatura de la Tierra debido a que este gas es transparente a la radiación solar recibida del sol, dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra. El efecto total es que cuanto mayor sea la concentración de CO₂ en la atmósfera, mayor es la cantidad de energía recibida por la Tierra desde el Sol que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor. Este fenómeno que se conoce con el nombre de «efecto invernadero» produce un recalentamiento de la atmósfera. En las zonas lluviosas se incrementarán las precipitaciones y las zonas áridas serán aún más áridas, mientras que los hielos polares comenzarán a derretirse.
- Tóxico en altas concentraciones.

SO₂ (dióxido de azufre)

- Gas incoloro de olor fuerte y sofocante
- En una atmósfera húmeda se transforma en ácido sulfúrico y causa la lluvia ácida
- A partir de concentraciones > 0,1 ppm se produce una importante reducción de la visibilidad

NO₂ (dióxido de nitrógeno)

- Gas de color amarronado y de olor irritante

- Tóxico a altas concentraciones
- Interviene en la formación de la niebla fotoquímica (smog) y de la lluvia ácida.
- Contribuye al efecto invernadero.

COV (compuestos orgánicos volátiles)

- Familia de compuestos formados por hidrógeno y carbono
- Intervienen en la formación de la niebla fotoquímica (smog)
- Combinados con otros elementos provocan problemas de malos olores
- También llamados HCT (hidrocarburos totales)

3.1. Selección de las categorías impacto y asignación de los datos del inventario

A continuación se presentan las categorías de impacto que habitualmente contempla un ACV.

3.1.1. El efecto invernadero: es el calentamiento previsible de la atmósfera terrestre provocado por el aumento del dióxido de carbono (CO₂) y otros gases en la atmósfera. Estos gases (en gran parte subproductos del consumo de combustibles fósiles), forman una capa que retiene el calor de la atmósfera. Esta retención de calor puede provocar un aumento de la temperatura media en la Tierra. El ascenso de la temperatura puede afectar a los océanos hasta el punto que suba el nivel del mar, con graves consecuencias para la tercera parte de la humanidad que vive en las zonas litorales. Los cambios climáticos también podrían afectar drásticamente a los esquemas del tiempo, a las estaciones alrededor del mundo y por extensión a la agricultura. Otras sustancias que también contribuyen a aumentar el efecto invernadero son el metano (CH₄), componente básico del gas natural emitido también por pantanos y zonas inundadas; el vapor de agua; el óxido nitroso (N₂O), emitido por ejemplo por suelos con un exceso de nitrógeno; etc. El efecto invernadero es un impacto a escala global.

El CO₂ es usualmente la referencia estándar para el efecto invernadero. El efecto de las diferentes sustancias que afectan al calentamiento global se mide en función de su capacidad de absorber e irradiar el calor de la Tierra en relación con la capacidad radiactiva del CO₂. La equivalencia no es fácil de determinar debido mayormente a las diferencias en la duración de la vida media de los gases en la atmósfera. Por ejemplo, según el protocolo de Kyoto, el potencial de calentamiento global (PCG) del metano es de 56 respecto al CO₂ en un horizonte temporal de 20 años pero este factor de equivalencia desciende a 23 en un horizonte a 100 años. Aún así, no se tienen en cuenta las reacciones directas e indirectas entre gases que alteran de forma compleja la duración de sus respectivas vidas medias. El Protocolo de Kyoto establece que “los potenciales de calentamiento global usados por los firmantes del protocolo serán aquellos proporcionados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)” (Ver tabla 4.1). Estos valores se establecen con un horizonte temporal de 100 años.

Tabla 4.1. Comparación de los potenciales de calentamiento global para un horizonte temporal de 100 años calculados por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) según el Segundo (1996) y Tercer (2001) informe de análisis.[IPCC 1996 y 2001]

Gas	PCG (IPCC 1996)	PCG (IPCC 2001)
CO ₂	1	1
CH ₄	21	23
N ₂ O	310	296
HFC-23	11,700	12,000
HFC-125	2,800	3,400
HFC-134a	1,300	1,300
HFC-143a	3,800	4,300
HFC-152a	140	120
HFC-227ea	2,900	3,500
HFC-236fa	6,300	9,400
PFCs (CF ₄)	6,500	5,700
(C ₂ F ₆)	9,200	11,900
(SF ₆)	23,900	22,200

3.1.2. *Disminución del ozono estratosférico:* Las altas capas de la atmósfera (estratosfera) contienen ozono (O₃), forma molecular del oxígeno que absorbe la mayor parte de las nocivas radiaciones ultravioletas. Sin ozono, probablemente la vida en la Tierra no habría llegado a su forma actual.

Determinados productos químicos que contienen átomos de cloro o de bromo liberados a la atmósfera perjudican la capa de ozono. Por ejemplo, la acumulación de clorofluorocarbonos (CFC) o halógenos a la estratosfera está reduciendo el grosor de la capa de ozono y nos está privando de la protección frente a los rayos ultravioletas. Esto puede comportar el aumento de los cánceres de piel y puede perjudicar los ecosistemas naturales y artificiales. Los CFC se producen en la fabricación de espumas y se usan como propulsores de los aerosoles vaporizadores (aunque en varios países ya se ha prohibido su uso). La mengua de la capa de ozono también es un impacto a nivel planetario, a pesar de que su efecto se hace notar más en ciertas áreas que en otras.

Para la caracterización de este tipo de impacto, se mide la capacidad de destrucción de las moléculas de ozono de cada sustancia, en relación con el CFC-11 (ver tabla 4.2). Se toma este compuesto como referencia porque su efecto está muy bien estudiado y ha sido uno de los principales responsables de la destrucción del ozono estratosférico. La capacidad de destrucción del ozono depende de la cantidad de átomos de cloro y/o bromo en la molécula y del tiempo que tarda en degradarse en la atmósfera.

Tabla 4.2. Potenciales de disminución del ozono estratosférico. [U.S. EPA; 2001]

	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-114	CFC-115
Potencial	1.0	1.0	0.8	1.0	0.6

3.1.3. *Lluvia ácida:* El uso de combustibles fósiles provoca emisiones de óxidos de azufre (principalmente SO₂) y de nitrógeno (NO_x) al aire. Estos contaminantes se combinan con la humedad de la atmósfera y forman ácidos sulfúrico y nítrico (H₂SO₄ y HNO₃) que caen en forma de lluvia ácida. Esta lluvia afecta negativamente lagos y bosques, flora y fauna, tierras agrícolas, reservas de agua y la

salud humana. Los efectos de la lluvia ácida dependen de la sensibilidad de las zonas afectadas. Además, los óxidos de nitrógeno y de azufre no pueden ser transportados a escala global, de manera que se dice que la lluvia ácida es un impacto regional. Asimismo, las regiones a las que puede afectar son extensas y a menudo alejadas del foco emisor.

Para caracterizar el efecto de diferentes sustancias sobre la lluvia ácida en el ACV, se utiliza la capacidad de cada sustancia para formar protones (hacer el pH más ácido) en el medio receptor. Esta capacidad se expresa en relación a la del óxido sulfuroso (SO₂), ya que es una de las principales sustancias generadoras de lluvia ácida emitidas por la actividad humana. Los óxidos de nitrógeno (NO_x), por ejemplo, tienen un efecto potencial sobre la lluvia ácida de 0,7 kg equivalentes de SO₂ por kg de NO_x (Ver tabla 4.3).

Tabla 4.3. Factores de equivalencia derivados del Eco-indicador 95 (en SimaPro 4.0)

Sustancia	Factor de equivalencia g SO ₂ -eq/ g sustancia
SO _x	1.00
NH ₃	1.88
NO _x	0.70

3.1.4. Eutrofización: La eutrofización se produce cuando los nutrientes (materia orgánica y mineral) se acumulan en los ecosistemas acuáticos. Este aumento de nutrientes en el agua incrementa el crecimiento de plantas que, debido a su respiración, reducen drásticamente los niveles de oxígeno.

Los sedimentos provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales favorecen la eutrofización. El proceso de descomposición es natural, pero cuando los residuos presentes en las aguas residuales se acumulan pueden provocar el crecimiento rápido de la población de descomponedores aeróbicos. Estos descomponedores agotan pronto la aportación de oxígeno, de forma que no pueden continuar con su función. Si estos residuos fuesen tratados y devueltos al suelo, en lugar de a los cursos de agua y a los acuíferos, se reduciría este problema. La eutrofización es un impacto de alcance regional.

Dado que los principales nutrientes en los medios terrestres y acuáticos son el nitrógeno y el fósforo, el potencial de una sustancia de generar eutrofización se calcula a partir de la cantidad de nitrógeno y/o fósforo que esta sustancia aporta al medio al ser emitida. En el ACV, los efectos se expresan en relación a los fosfatos de forma que el efecto total sobre la eutrofización se expresa en g equivalentes de PO₄⁻ (Ver tabla 4.4).

Tabla 4.4. Factores de equivalencia derivados del Eco-indicador 95 (en SimaPro 4.0)

Sustancia	Factor de equivalencia g PO ₄ -eq/ g sustancia
PO ₄	1.00
NH ₃	0.33
NO _x	0.13
COD	0.02
N	0.42
NO ₃	0.10
P	3.06

3.1.5. Toxicidad: En muchos procesos industriales modernos se utilizan sustancias peligrosas o tóxicas para las personas y/o para los ecosistemas. La toxicidad de una sustancia dependerá de la propia sustancia, pero también de la vía de administración o exposición, la dosis o la manera como se administra. Hasta los contaminantes y las sustancias presentes en el medio en baja concentración (metales pesados como el plomo o el mercurio), se pueden acumular hasta niveles críticos o letales en los niveles tróficos superiores a través de la biomagnificación. Otras intervenciones en el medio que pueden causar toxicidad son la emisión de partículas (que pueden penetrar en los pulmones y causar problemas respiratorios) y la emisión de radiaciones de las centrales nucleares de producción de electricidad o de otras instalaciones asociadas al ciclo nuclear. También parece que se generan problemas de salud por causa de los campos electromagnéticos generados por las líneas de alta tensión o por las microondas recibidas por los receptores de telefonía móvil.

Es muy difícil agrupar todos los posibles efectos tóxicos en un solo impacto. Generalmente, se distingue entre toxicidad para las personas y toxicidad para los ecosistemas, ya que las vías de exposición en un y otro caso son muy diferentes. También se distingue entre toxicidad aguda y toxicidad crónica, ya que muchas sustancias son emitidas en concentraciones muy bajas como para matar a un individuo (toxicidad aguda), pero en cambio su efecto se nota a largo plazo (toxicidad crónica). Algunos tipos de cáncer, por ejemplo, son el resultado de la exposición prolongada a determinadas sustancias o radiaciones.

3.1.6. Agotamiento de recursos: El origen básico de todos los bienes materiales son los recursos naturales (materiales y energía obtenidos o procedentes del medio ambiente). Los recursos no renovables son los que se renuevan mediante ciclos naturales extremadamente lentos (combustibles fósiles) o aquellos que a efectos de utilización por parte de las personas, no se renuevan en ciclos naturales (depósitos minerales). El consumo per cápita global de recursos aumenta continuamente. Se ha calculado que el planeta Tierra es capaz de sostener como máximo mil millones de habitantes (delante de los cerca de seis mil millones actuales) si todo el mundo viviera según los estándares de los que disfrutaban la mayor parte de los países ricos. Estos países, con un 20% de la población mundial, consumen el 80% de los recursos de la Tierra. El crecimiento de la población, el aumento del consumo individual y la mala gestión conducen al agotamiento de los recursos naturales. Generalmente, en el ACV se mide el efecto relativo del consumo de recursos sobre el agotamiento de estos recursos teniendo en cuenta su escasez relativa y el horizonte temporal en el que se cree que se agotaran. Así, la relevancia ambiental del consumo de un recurso es inversamente proporcional a su abundancia (cuanto más hay, menos importante es consumirlo), y directamente proporcional al ritmo de explotación (si se consume muy rápidamente, se agotará antes, y por lo tanto debe ser más importante).

El cálculo de esta categoría de impacto es de una gran complejidad dado que supone poseer datos de un inventario previo de todos los recursos existentes en el planeta para calcular la relevancia de cada uno en función de su escasez.

3.1.7. Niebla fotoquímica (smog): está causado por emisiones atmosféricas de óxidos de nitrógeno y componentes orgánicos volátiles (COVs). Los óxidos de nitrógeno y COVs se generan durante la combustión para la producción de calor y

energía, además los COVs son generados en muchos otros procesos. La niebla fotoquímica provoca daños para la salud humana, degrada gran cantidad de materiales y la reduce la producción de las cosechas en la agricultura.

El potencial de contribución total a la formación del smog (sm) de las distintas sustancias se calcula en equivalentes de C₂H₄ (ver tabla 4.5).

Tabla 4.5. Factores de equivalencia derivados del Eco-indicador 95 (en SimaPro 4.0)

Sustancia	Factor de equivalencia g C ₂ H ₄ -eq/ g sustancia
C ₂ H ₄	1.000
CH ₄	0.007
COV	0.398

3.1.8. Energía consumida. Se considera como energía consumida por un material toda aquella energía asociada con procesos relativos al ciclo de vida de dicho material. Esto incluye las primeras materias, el proceso de manufacturación, el transporte, su utilización y su posterior final como residuo. Este consumo total de energía es un componente significativo del impacto del ciclo de vida.

Las intensidades del consumo de energía implicado denotan la cantidad de energía que es requerida (directa o indirectamente) para producir una unidad de producto acabado. Los valores de consumo de energía obtenidos para el propósito de este estudio incluyen toda la energía necesaria para producir hormigón o acero inoxidable en cada caso, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida.

3.1.9. Generación de residuos sólidos y líquidos. Esta categoría de impacto tiene como finalidad contabilizar la cantidad de residuos que generan las distintas actividades involucradas en el ciclo de vida en estudio diferenciando entre residuos líquidos y sólidos.

3.1.10. Emisiones de metales pesados. La presencia en la naturaleza de partículas de metales pesados en cantidades más elevadas de lo normal tiene efectos nocivos sobre los seres vivos. Esta categoría de impacto está íntimamente relacionada con la de toxicidad pero su cálculo es mucho más directo. Algunas de las sustancias que se contemplan en esta categoría de impacto son, por ejemplo, el cromo (Cr), el arsénico (As), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), el talio (Tl) o el plomo (Pb).

3.2. Determinación de los flujos que se contemplan en este análisis de impacto

En este apartado se contemplan los flujos que afectan a cada categoría de impacto en cada etapa y se cuantifican dichos impactos.

3.3. Determinación de su contribución al impacto

3.4. Cómputo del impacto

Para el cómputo del impacto existe un Eco-Indicador creado para dar un peso relativo a cada impacto del Análisis de Ciclo de Vida. El proyecto Eco-Indicador fue desarrollado por PRÉ Consultants en colaboración con la industria, las universidades de Ámsterdam, Leiden y Delft y las consultoras holandesas CE y TNO. A mayor valor del indicador, mayor impacto ambiental. El uso del Eco-Indicador es sencillo

y está pensado para la elaboración de los ACV. El diseñador enumera las emisiones que ocurren durante la vida útil del producto o proceso en estudio, expresa el valor de estas emisiones en su unidad funcional correspondiente y posteriormente multiplica por el valor por unidad funcional que establece el Eco-Indicador (ver tabla 4.6). Mediante estos datos se puede proceder al análisis global del ciclo de vida.

Tabla 4.6. Potencial de contribución al impacto ambiental por unidad funcional derivados del Eco-indicador 95

Categoría de impacto ambiental	Valor por unidad funcional	Unidad funcional
Efecto invernadero	2.5	Kg CO2-eq
Lluvia ácida	10.0	Kg SO2-eq
Eutrofización	5.0	Kg PO4-eq
Niebla fotoquímica (Summer smog)	2.5	Kg C2H4-eq
Emisión de metales pesados	5.0	Kg

La correlación entre los diferentes niveles de daños y efectos ambientales se estableció tras el estudio del estado actual del medioambiente en Europa. Se definió cuál era el estado de cada categoría de impacto así como el grado al que cada efecto en particular tenía que ser reducido para alcanzar el nivel de daños fijado para él. Gran parte de este trabajo fue llevado a cabo por el Instituto Nacional Holandés para la Salud Pública y la Higiene Ambiental (RIVM). Se dibujaron mapas de Europa en los que se mostraban con gran detalle los problemas medioambientales. Estos fueron los datos utilizados para determinar el nivel actual del problema medioambiental y fijar los factores a los que debería reducirse para alcanzar un nivel aceptable. El peso de cada impacto en el Eco-Indicador depende de la sensibilidad del medio ambiente a dicho impacto. Esta sensibilidad puede variar con el tiempo y por lo tanto también variarían los pesos del Eco-Indicador.

3.5. Identificación de los principales flujos que contribuyen al impacto

4. Interpretación de los resultados (ISO 14043)

4.1. Identificación de los puntos fuertes y débiles de los casos estudiados

4.2. Alcanzar los objetivos establecidos durante la primera etapa

4.3. Validación de la solución, si fuese necesario, mediante :

Recolecta de datos adicionales.

Análisis de sensibilidad, escenarios

4.4. Detalle de las aplicaciones y límites del estudio

4.5. Dirigir a otros posibles estudios.

4.4. Aplicación del ACV a esta tesina

El uso principal del ciclo de análisis de vida es la comparación entre diferentes alternativas. Por ello utilizaremos este método para comparar el armado de acero al carbono con el armado de acero inoxidable.

Antes de proceder a la realización del análisis de ciclo de vida para la comparación entre el uso de armadura de acero inoxidable y el uso de armadura de acero al carbono, se hace necesaria una recopilación de información previa sobre el proceso de fabricación del hormigón y de los diferentes tipos de acero con la intención de obtener los flujos de materia y energía que requiere el análisis de ciclo de vida de la estructura de hormigón armado.