

ÍNDICE

1. Introducción al Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	11
1.1. Evaluación integrada de impactos ambientales	11
1.2. Historia del ACV	14
1.3. Marco normativo	17
2. Metodología del ACV	19
2.1. Definición de objetivos y alcance	20
2.1.1. Sistema del producto, límites del sistema y alcance	20
2.1.2. Función del sistema, unidad funcional y flujo de referencia	22
2.1.3. Otros puntos a definir	23
2.2. Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	24
2.2.1. Reglas de asignación	25
2.2.2. Recopilación de datos de inventario	26
2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	28
2.3.1. Selección de categorías de impacto	29
2.3.2. Clasificación	30
2.3.3. Caracterización	31
2.3.4. Normalización	33
2.3.5. Agrupación	34
2.3.6. Ponderación	34

2.4. Interpretación de resultados	35
2.5. Elaboración del informe final	37
2.6. Revisión crítica	37
2.7. Limitaciones del ACV.....	37
2.8. Bases de datos de ACV	38
2.9. Metodologías de Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida	39
2.9.1. Ecoindicador 99	42
2.9.2. CML	43
2.10. Herramientas informáticas para el ACV	44
3. Aplicaciones del ACV	47
3.1. Ecoeficiencia	47
3.2. Ecodiseño	48
3.2.1. Estrategias de ecodiseño	49
3.3. Etiquetado ambiental	50
3.3.1. Política de productos integrada	50
3.3.2. Ecoetiquetas	52
3.3.3. Declaraciones ambientales de producto (DAP)	55
3.3.3.1. Programas y sistemas DAP	56
3.3.3.2. Reglas de categoría de producto (RCP)	57
4. Huella de carbono	59
4.1. Huella de carbono y empresa	59
4.1.1. Factores motivantes para el cálculo de la huella de carbono	60
4.1.2. Tendencias del mercado	61
4.2. Normas y referenciales	62
4.2.1. Enfoque corporativo	62
4.2.1.1. GHG Protocol	62
4.2.1.2. Familia de normas ISO	64
4.2.1.3. PAS 2060	66
4.2.2. Enfoque producto	66
4.2.2.1. PAS 2060	66
4.2.2.2. ISO 14067	67
4.2.2.3. GHG Protocol	68
5. Ejemplo práctico de cálculo de huella de carbono	69
5.1. Introducción	69
5.2. Definición de objetivos	70

5.3. Alcance	70
5.3.1. Función del sistema	70
5.3.2. Unidad funcional	70
5.3.3. Sistema del producto	70
5.3.4. Límites del sistema	70
5.3.5. Requisitos de calidad de los datos	72
5.3.6. Metodología de evaluación de impacto	72
5.4. Análisis de inventario de ciclo de vida	72
5.4.1. Producción de perfiles de aluminio	74
5.4.2. Lacado de perfiles	75
5.4.3. Montaje de ventana	76
5.4.4. Embalaje	77
5.4.5. Unidades de doble vidrio hermético (UDVH).....	78
5.4.6. Puesta en obra	78
5.4.7. Fase de uso	79
5.4.7.1. Permeabilidad al aire	81
5.4.7.2. Transmitancia térmica, U	81
5.4.7.3. Factor solar normal	82
5.4.7.4. Datos de inventario	82
5.4.8. Desmontaje	82
5.4.9. Fin de vida	83
5.4.10. Procesos de transporte	83
5.5. Evaluación de impactos de ciclo de vida	86
5.5.1. Producción y lacado de perfiles de aluminio	87
5.5.2. Montaje y embalaje de ventana	87
5.5.3. Unidades de doble vidrio hermético	88
5.5.4. Puesta en obra y desmontaje	88
5.5.5. Fase de uso	88
5.5.6. Fin de vida	89
5.5.7. Procesos de transporte	90
5.6. Interpretación	91
5.6.1. Análisis de contribución o puntos críticos	91
5.6.2. Análisis de sensibilidad	93
5.6.3. Análisis de escenarios	94
5.7. Conclusiones	96
ANEXO. Impactos ambientales y categorías de impacto	97
A.1. Calentamiento global	97

A.1.1. Efecto invernadero	98
A.1.2. Forzamiento radiativo	98
A.1.3. Potencial de calentamiento global	99
A.2. Agotamiento de capa de ozono	100
A.3. Acidificación	101
A.4. Eutrofización	102
A.5. Formación de oxidantes fotoquímicos	103
A.6. Agotamiento de recursos abióticos	104
A.7. Toxicidad	105
A.8. Uso del suelo	106
Bibliografía	109
Enlaces web de interés	110
Siglas y acrónimos	111
Glosario de términos	113

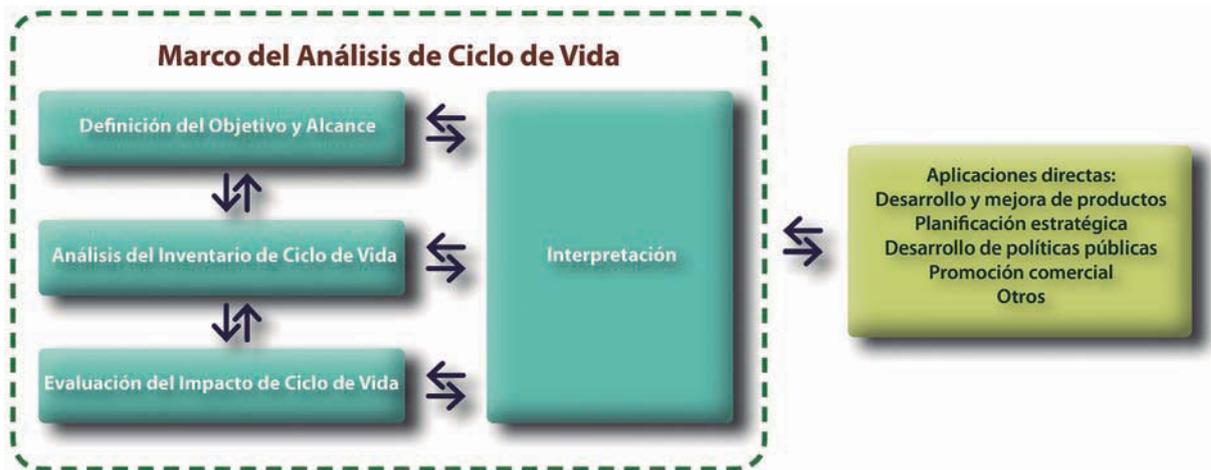


Figura 2.5. Fases de un análisis de ciclo de vida (ISO 14040).

2.1. Definición de objetivos y alcance

La primera fase del ACV es determinar los objetivos y el alcance del estudio. En los objetivos han de quedar claramente definidas las motivaciones por las que se realiza el estudio y la aplicación prevista de los resultados. Se debe exponer quién o quiénes tendrán acceso a dichos resultados o si se prevé utilizarlos en aseveraciones comparativas que se divulgarán al público.

El alcance del estudio debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del mismo son compatibles y suficientes con los objetivos determinados previamente.

En el alcance se definen aspectos fundamentales de todo ACV como lo son:

- El sistema del producto a estudiar
- Los límites del sistema
- Las funciones del sistema del producto
- La unidad funcional
- Los procedimientos de asignación
- Las categorías de impacto y la metodología de evaluación de impacto

- Requisitos relativos a los datos
- Las suposiciones
- Las limitaciones
- El tipo de revisión crítica (si la hay)

A continuación se desgranar todos estos términos.

2.1.1. Sistema del producto, límites del sistema y alcance

El sistema del producto se define como el conjunto de procesos unitarios que interconectados material y energéticamente, describen la presencia del producto en la tecnosfera y su interacción con el medio ambiente. El sistema del producto no es sino el conjunto de procesos que sirven de modelo para estudiar el ciclo de vida del producto (desde la extracción de materia primas hasta el fin de vida del producto). La representación visual del sistema del producto es un diagrama de procesos interconectados entre sí por flujos describiendo el producto bajo estudio a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para entender mejor el concepto de sistema del producto pondremos un ejemplo. Si es-

tamos interesados en la realización del ACV de una cafetera doméstica, el sistema del producto estaría formado por supuesto por la propia cafetera (producto) pero además estarían incluidos dentro de éste el embalaje, las piezas de repuesto, el agua y la energía necesarias para un escenario de uso medio, el agua y el detergente usados en su limpieza, los filtros de papel o incluso el propio café, y por supuesto los procesos de fin de vida tanto en vertedero como el posible reciclaje de ciertos componentes.

En la mayoría de los casos se tiende a usar de manera indistinta ambos términos refiriéndose en realidad con producto a sistema del producto.

Los límites del sistema definen los procesos del sistema del producto que se incluyen dentro del estudio que se desea abordar. En la Figura 2.2 se muestran los límites del sistema más frecuentes en la mayoría de los ACV. Si dichos límites incluyen todas las etapas del ciclo de vida del producto del producto se dice que el alcance del sistema es «de la cuna a la tumba». Cuando el alcance del sistema cubre desde la extracción de materias primas hasta el momento en que el

producto se pone en el mercado (a la salida de la planta de fabricación), se denomina alcance «de la cuna a la puerta». Cuando dicho alcance se limita a los procesos de fabricación, se le denomina «de la puerta a la puerta». Sin embargo, el alcance que contempla todo el ciclo de vida (de la cuna a la tumba), es el único que nos asegura que las cargas medioambientales de una etapa no se traspasan a otras etapas del ciclo de vida. En los últimos años, un nuevo enfoque ha irrumpido con fuerza y está basado en que los flujos de salida en el fin de vida del sistema pueden servir como materias primas o entradas al mismo o a otro sistema del producto. A este tipo de alcance en ACV se le denomina como «de la cuna a la cuna».

Toda decisión de omitir etapas del ciclo de vida o procesos, así como los criterios o reglas de corte por las que poder despreciar la contribución de determinadas entradas o salidas debe quedar claramente justificada en el alcance. En cualquier caso, los límites del sistema deben garantizar la precisión y representatividad de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos.

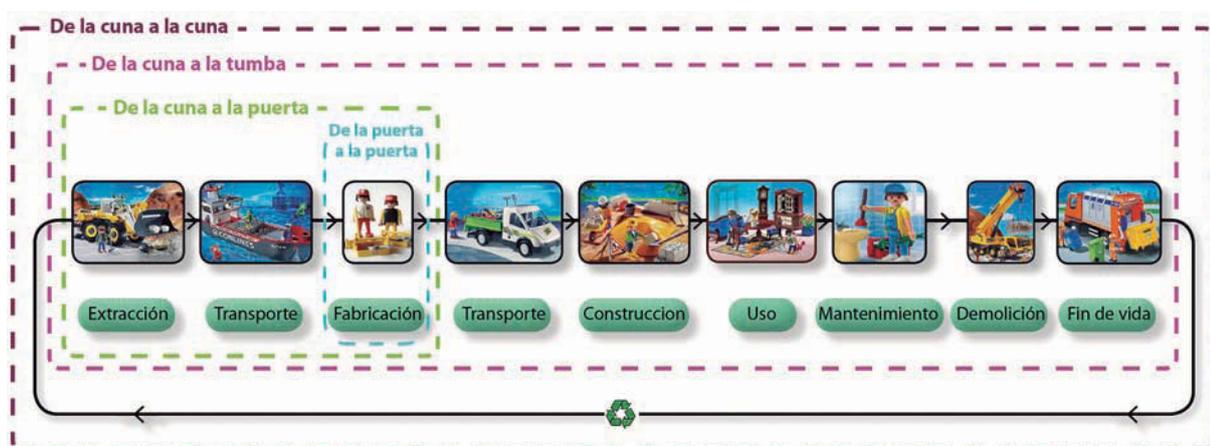


Figura 2.1. Etapas del ciclo de vida incluidas en los límites de sistema más usuales en ACV. Ejemplo aplicado a un material de construcción. (Elaboración propia.)

2.1.2. *Función del sistema, unidad funcional y flujo de referencia*

Tanto la función del sistema como la unidad funcional constituyen aspectos clave del ACV, especialmente si se desea hacer análisis comparativos entre dos sistemas del producto diferentes. Los productos son generalmente objetos físicos cuyo cometido es satisfacer una necesidad a su usuario, es decir, proporcionar un servicio o función, que es la razón de su existencia. Al hacer un análisis comparativo de productos, la función es el punto central, ya que es en realidad a esta función, y no al producto físico, al que deben atribuirse los impactos ambientales. Por tanto, con el objeto de hacer comparables productos distintos, debemos ser capaces de identificar las funciones que desempeñan y medirlas.

Las funciones del producto o del sistema del producto describen las características operativas y funcionales del mismo y han de ser identificadas escrupulosamente. Para entender esto último se muestra un ejemplo. Si pretendemos comparar ambientalmente mediante ACV un teléfono móvil de gama baja y un «smartphone» nos encontraremos importantes diferencias a la hora de definir las funciones de ambos sistemas. Con un teléfono de gama baja se tienen únicamente cubiertas unas necesidades básicas de comunicación. Mientras tanto, un teléfono de gama alta no sólo cubre más necesidades de comunicación que el de gama baja sino que además puede cumplir las funciones de una cámara fotográfica, de un GPS, de un reproductor de música, etc.

Mientras tanto, la unidad funcional es la cuantificación de las funciones identificadas en

el sistema del producto o del producto a secas. La necesidad de definir correctamente la unidad funcional es de vital importancia para el resultado de un ACV ya que todas las entradas y salidas que serán calculadas en la segunda fase de esta metodología (análisis de inventario de ciclo de vida, apartado 2.2) han de estar referidas y normalizadas a esta unidad funcional.

A priori, se tiende a proponer unidades funcionales de tipo físico basadas en objetos determinados. Esto es viable cuando se desea hacer el ACV de un producto. En el caso en que se desee comparar dos productos diferentes tendremos que definir unidades funcionales basadas en las funciones que cumplen ambos productos y no en los objetos físicos correspondientes. Como ejemplo, podemos estar interesados en analizar dos sistemas de envasado para una bebida: mediante botellas de vidrio retornables o de plástico desechables. Como hemos dicho, se tiende a comparar objetos físicos, y podríamos definir la unidad funcional como «1 envase» comparando en este caso un envase de vidrio con un envase de plástico. En tal caso, estaríamos dejando de lado el hecho de que cada envase tiene características funcionales diferentes: el de vidrio es reutilizable un determinado número de veces, mientras que el de plástico es de un solo uso lo que implica que para envasar y distribuir un mismo volumen de bebida son necesarios más envases de plástico que de vidrio.

Teniendo esto es mente, la función de ambos sistemas del producto podría ser definida como «proteger el contenido durante la distribución y consumo de la bebida», siendo los dos tipos de envase diferentes maneras de cumplir con este objetivo. Para poder establecer una comparación entre los dos sistemas habría que

definir una unidad funcional que permita cuantificar esta función. Por tanto la unidad funcional para este estudio podría ser «proteger 1.000 litros de bebida durante su distribución y consumo doméstico».

Finalmente, el flujo de referencia se puede definir como la cantidad de producto necesaria para satisfacer la unidad funcional. En el ejemplo anterior, el flujo de referencia para el envase de plástico sería «1.000 botellas de polietileno de 1 litro» mientras que para el envase de vidrio sería «100 botellas de vidrio de 1 litro», suponiendo que una botella de vidrio se reutiliza 10 veces de media antes de ser retirada por la propia compañía.

A la hora de definir la unidad funcional, no sólo deben describirse aspectos relativos a la cantidad sino también a la calidad y a la duración de la función. Como hemos visto, la función debe quedar cuantificada mediante algún tipo de magnitud física: volumen, superficie, temperatura, etc., pero por otro lado, se han de definir ciertos requerimientos de calidad que las alternativas comparadas deben cumplir por igual. Si un producto no cumple con algunos de estos criterios de calidad en el servicio, sencillamente no es una alternativa para cumplir la función. Por último, productos diferentes pueden tener vidas útiles distintas por lo que en la unidad funcional se debe quedar fijado también el tiempo durante el cual se deberá prestar la función.

Se presenta un ejemplo que reúne todos estos conceptos. Si deseamos comparar pinturas de dos fabricantes distintos, la unidad funcional podría ser «protección de 1 m² de superficie de madera exterior expuesta al sol y a la lluvia en un clima mediterráneo durante 10 años y sin goteo en la aplicación manual». En este caso,

los flujos de referencia de las dos alternativas (expresados en kg de pintura necesarios para cumplir dicha unidad funcional) tendrán que contemplar el rendimiento de la pintura (metros cuadrados cubiertos por cada kg de pintura), la resistencia a las inclemencias del tiempo (duración en años por cada aplicación de pintura) y tener en cuenta que ninguna de ellas gotee al ser aplicada manualmente.

Los parámetros de calidad, duración y magnitud están basados en rendimientos técnicos característicos y de la vida de servicio del producto. Estos parámetros han de estar basados en reglas del producto, guías de sector o promedios industriales. Las empresas que quieran que los resultados de sus ACV sean comparables a los de otros productos similares tendrán que ceñirse a estas reglas (ver apartado 3.3.3.2).

Otro ejemplo que permite ilustrar la inclusión en la unidad funcional de la magnitud asociada al servicio, la duración o la vida de éste y el nivel esperado de calidad lo constituye el de las bombillas de luz. En este caso, la unidad funcional se podría definir como «iluminar 20 metros cuadrados, durante 50.000 horas con una eficacia luminosa de 300 lúmenes/W». El flujo de referencia para una empresa que produzca bombillas capaces de iluminar 10 m² durante 10.000 horas y con una calidad de 100 lúmenes/W será de 30 bombillas.

2.1.3. Otros puntos a definir

Dentro del alcance también se han de definir las categorías de impacto y la metodología con la que se va a realizar la evaluación de dichos impactos. Las categorías de impacto no son sino los indicadores que reflejan la intensidad del

impacto provocado por el producto. Ejemplos de categorías de impacto son el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización, uso de recursos de agua dulce, la generación de residuos radioactivos, uso de energía primaria, etc.

Otro punto importante a definir dentro del alcance es el relativo a los requisitos de calidad de los datos, que especifican las características que han de cumplir los datos necesarios para llevar a cabo el estudio de ACV.

- Cobertura temporal (antigüedad máxima aceptable).
- Cobertura geográfica (área para la que se buscarán los datos: local, regional, nacional, continental, global).
- Cobertura tecnológica (tecnología específica o media ponderada de tecnologías).
- Precisión (variabilidad de los datos aceptable).
- Completitud (porcentaje de datos que son medidos o estimados).
- Representatividad (los datos deben acercarse lo máximo posible a la situación real: cobertura geográfica, temporal y tecnológica).
- Incertidumbre de los datos.

Por otro lado, el ACV basa su aplicación en la creación de un modelo más o menos sofisticado que intenta describir las complejas interacciones del producto con la ecosfera y la tecnosfera. Para realizar esta modelización es preciso hacer una serie de hipótesis y suposiciones, así como estimaciones, extrapolaciones o simplificaciones que deben estar claramente definidas en el alcance. De igual modo, este modelo presentará unas limitaciones en cuanto a su representatividad que han de ser analizadas y expuestas convenientemente en el alcance.

Todos estos elementos tendrán que estar en consonancia con los objetivos planteados en el estudio y podrán ser refinados posteriormente sobre la base de los resultados preliminares atendiendo al carácter iterativo del ACV.

2.2. Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Como ya se ha expresado, el ACV consiste en elaborar un modelo en que se establece una relación causa-efecto entre el consumo de recursos, la generación de residuos y emisiones y el sistema del producto que da lugar a la función cuyo análisis se pretende realizar. Como resultado de esta relación causa-efecto, es preciso imputar al sistema del producto todos los aspectos ambientales originados por éste. Dicha imputación se realiza mediante el inventario de ciclo de vida que es la fase en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema del producto incluidos en los límites definidos en el alcance. En esta fase se identifican y cuantifican los aspectos o cargas medioambientales (tal y como se definen en la familia de normas ISO 14000 sobre gestión ambiental) a lo largo del ciclo de vida del producto: consumo de materias primas y de energía, generación de residuos sólidos, emisiones al aire, agua y suelo, etc. (ver Tabla 1.1).

Todos y cada uno de estos aspectos ambientales se traducen en una lista de sustancias o flujos elementales que entran y salen de los límites del sistema. Los flujos elementales son los flujos de energía y de materiales que provienen de la naturaleza sin transformación previa realizada por el ser humano (petróleo, carbón, agua bruta, arena sin procesar, etc. esto es, materias primas básicas sin ningún nivel de procesado) o

que van directamente a la naturaleza (emisiones de CO₂, SO₂, vertidos de nitratos al agua, compuestos orgánicos volátiles, partículas de polvo en suspensión, etc.).

Los datos de inventario se han de recopilar normalizados al flujo de referencia definido por la unidad funcional. Así en el ejemplo de los envases de vidrio y de plástico del punto 2.1.2, todas las materias primas y recursos energéticos necesarios para fabricar estos envases así como las emisiones y residuos generados, han de estar referenciados a 1.000 botellas polietileno de 1 litro y a 100 botellas de vidrio de 1 litro.

2.2.1. Reglas de asignación

La asignación o imputación de las entradas y salidas es una labor relativamente sencilla cuando se trata de sistemas que dan lugar a un solo producto o proceso —son los denominados procesos unifuncionales—. No obstante, pocos procesos, productos o servicios dan lugar durante su desarrollo a un solo producto. En el caso de que existan procesos en los que se generen más de un producto o función es necesario tomar la decisión de qué asignación o reparto de cargas ambientales (entradas/salidas) se ha de atribuir a cada producto o función extra —son los procesos multifuncionales—.

Un ejemplo claro de un proceso multifuncional son las explotaciones de ganado bovino que dedican su actividad a la producción de leche y carne. Si estamos interesados en realizar un ACV de la leche, no podremos imputar a este sistema del producto todo el consumo de materias primas y energía ni toda la generación de residuos y emisiones asociados a la explotación en su conjunto ya que la carne constituye otro

sistema del producto que también interacciona con la tecnosfera. En este caso está claro que es imposible realizar el inventario por separado para ambos productos ya que entradas, como el pienso o las vacunas, y salidas como el estiércol, son imputables tanto a la producción de la leche como de la carne. En este caso se dice que la carne es un co-producto del sistema del producto leche. Para estas situaciones es preciso establecer reglas y procedimientos de asignación de entradas y salidas que repartan las cargas ambientales entre los dos sistemas.

La norma ISO 14040 establece las siguientes pautas de asignación de cargas:

1. Se debe evitar o minimizar al máximo el uso de asignaciones subdividiendo los procesos en otros más elementales, redefiniendo la unidad funcional (incluyendo los co-productos o funciones adicionales en la unidad de análisis) o recurriendo a la expansión del sistema. Esta última opción consiste en usar las emisiones de un producto alternativo que comprende la misma unidad funcional que el co-producto para estimar las emisiones asignadas de este co-producto. En el ejemplo de la explotación ganadera, la expansión del sistema consiste en imputar a la producción de la leche todas las cargas ambientales de la explotación y restarle los impactos asociados a la producción de carne de una explotación que sólo produce carne. Para poder llevar a cabo la expansión del sistema es necesario disponer de los datos de un ACV del co-producto (obtenido por otras vías) que interfiere con el producto objeto de nuestro estudio, lo cual no es factible en la mayoría de los casos.

2. Si no se puede evitar la asignación, el método escogido deberá basarse siempre que sea

posible en criterios de causalidad física entre el producto estudiado y el co-producto. Estos criterios deben reflejar las relaciones subyacentes entre los productos/co-productos y las entradas/salidas.

Por ejemplo, una almazara donde se produce aceite tiene como co-producto el hueso de aceituna que se emplea como biomasa para sistemas de calefacción. Aunque ambos productos tienen valor económico e interactúan con la tecnosfera, la presencia de la almazara queda únicamente justificada por la producción de aceite (y no por la producción de hueso de aceituna) por lo que es necesario imputar todas las entradas y salidas del proceso a la generación del aceite. No sucede así en el caso de la explotación ganadera que produce leche y carne, ya que la carne producida en ellas desplaza en el mercado a la producción de carne de las explotaciones dedicadas exclusivamente a ello.

3. Cuando no sea posible establecer criterios de causalidad o no puedan ser utilizados como base para la asignación, se deberán escoger otros criterios basados en el valor económico, la masa, el volumen, etc. de productos y co-productos siempre que queden convenientemente justificados.

En este tipo de asignaciones las emisiones de cada producto se determinan en proporción a la masa, volumen, número de productos, contenido energético y otras unidades físicas que tenga el producto respecto de la producción total de la planta o proceso. También se utiliza este tipo de asignaciones cuando las emisiones están evidentemente asociadas a una característica física del producto; por ejemplo: el transporte de múltiples productos en el mismo camión.

En todos los casos, siempre se ha de comprobar que la suma de las emisiones asignadas al producto estudiado y al co-producto del proceso sea equivalente a las emisiones totales del proceso.

2.2.2. Recopilación de datos de inventario

En ACV hay dos tipos de datos, conocidos como datos de actividad y factores de emisión:

— Los datos de actividad se refieren a todas las entradas y salidas del ciclo de vida del producto, esto es, recursos materiales y energéticos, transporte, generación de co-productos y residuos. Por ejemplo, para un proceso de extrusión de aluminio, los datos de actividad serían los kg de aluminio empleado, los kWh de electricidad consumida en la extrusión de aluminio,

Tabla 2.1. Aplicación más frecuente de datos primarios y secundarios en ACV

Procesos aguas arriba	Procesos sobre los que tiene influencia el fabricante	Procesos aguas abajo		
Procesos asociados a la producción de materias primas	Procesos asociados a la fabricación	Procesos asociados al uso del producto	Procesos asociados al mantenimiento del producto	Procesos asociados al fin de vida
Datos secundarios o genéricos	Datos primarios o específicos	Datos secundarios o genéricos		