

Anàlisi del cicle de vida (ACV)

1. Introducció. Objectius

L'anàlisi del cicle de vida (ACV) és una eina bàsica de gestió ambiental, ja que permet avaluar l'impacte ambiental d'un producte durant tot el cicle de vida, és a dir, des de l'extracció de les matèries primeres que en formen part, passant pel procés productiu, la distribució del producte, el moment en què arriba al consumidor, l'ús que l'usuari fa del producte, fins que aquest ha acabat la vida útil i la funció que tenia, i, per tant, esdevé un residu.

L'ACV és bàsicament una eina de pronòstic i, per tant, s'utilitza abans que un producte arribi al mercat, però també es pot utilitzar com a eina per redissenyar els productes existents amb l'objectiu de minimitzar-ne l'impacte ambiental. L'anàlisi de cicle de vida és, per tant, una eina imprescindible per al disseny sostenible.

En aquesta unitat, i recordant sempre el context d'aquest web —un material docent bàsic i introductori sobre sostenibilitat—, hom explica els fonaments conceptuals de l'ACV i les seves aplicacions.



Figura 0. Anàlisi de cicle de vida d'un tetrabrick. Font: [tetrapack](https://www.tetrapack.com)



Anàlisi del cicle de vida (ACV)

2. Definició

L'anàlisi de cicle de vida és una eina de gestió que serveix per avaluar un producte, un procés o un servei al llarg de tot el cicle de vida.

Una definició més completa és la que proporciona la [Society of Environmental Toxicology and Chemistry](#) (SETAC):

L'ACV és un procés objectiu per avaluar les càrregues ambientals associades a un producte, un procés o una activitat identificant i quantificant l'ús de matèria i energia i els abocaments a l'entorn, per tal de determinar l'impacte que aquest ús de recursos i aquests abocaments produeixen en el medi ambient, i per avaluar i portar a la pràctica estratègies de millora ambiental. L'estudi inclou el cicle complet del producte, el procés o l'activitat, tenint en compte les etapes d'extracció i processament de matèries primeres; producció, transport i distribució; ús, reutilització i manteniment, i reciclatge i disposició del residu.

Això es concreta moltes vegades amb l'expressió *del bressol a la tomba*, que posteriorment ha evolucionat cap a l'expressió *del bressol al bressol*, ja que si va finalment a la tomba, no es tanca el cicle.

D'aquesta manera un ACV ens permet:

- Proporcionar la informació més completa possible de les interaccions del producte, el procés o l'activitat amb el medi ambient.
- Contribuir a entendre totes les conseqüències ambientals interdependents de les activitats humanes.
- Preveure conseqüències negatives en la presa de decisions i identificar oportunitats per a millores ambientals.
- Facilitar el diàleg constructiu entre diferents sectors de la societat preocupats per la qualitat ambiental.

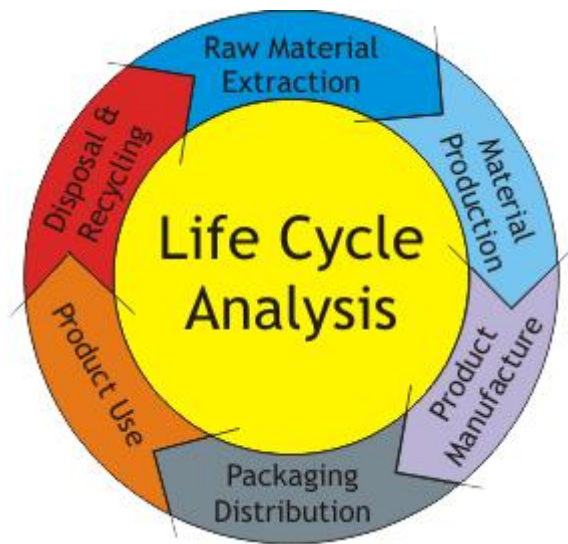


Figura 1. Anàlisi del cicle de vida des del bressol fins al bressol. Font: [EPFL](#)

En general, les ACV pretenen comparar ambientalment dos productes, processos o serveis per tal de determinar quin és el que comporta un menor impacte per al medi ambient. Un exemple d'això és una ACV per determinar, per a una beguda en concret, si és millor un envàs de vidre reutilitzable o un envàs de plàstic reciclable.

La metodologia per dur a terme l'ACV està definida per les [ISO 14040](#) i ISO 14044. Segons aquestes, una anàlisi de cicle de vida consta de quatre fases diferenciades:

- Fase de definició d'objectius i abast.

- Fase d'anàlisi d'inventari (ICV).
- Fase d'avaluació de l'impacte ambiental (AICV).
- Fase d'interpretació,

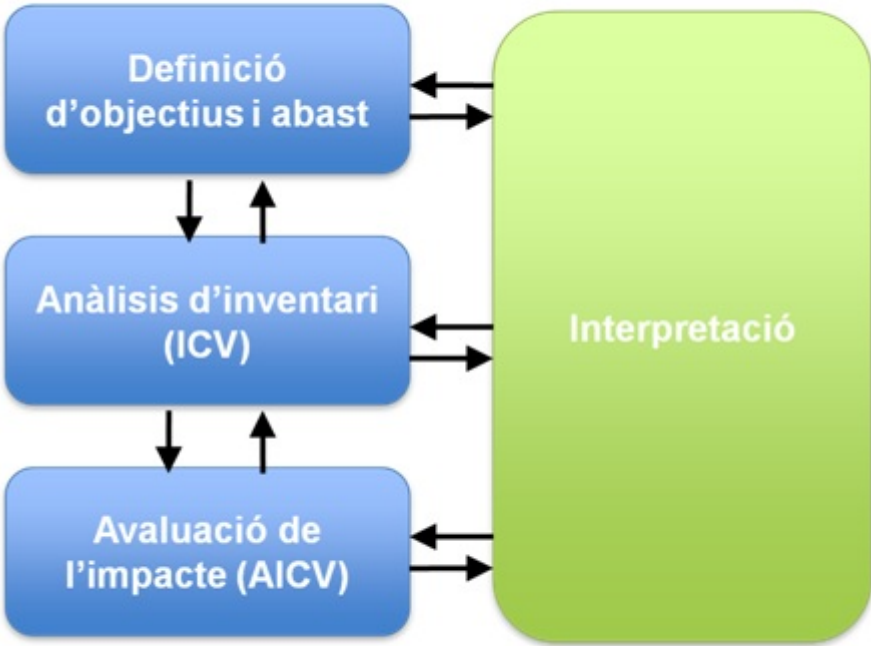
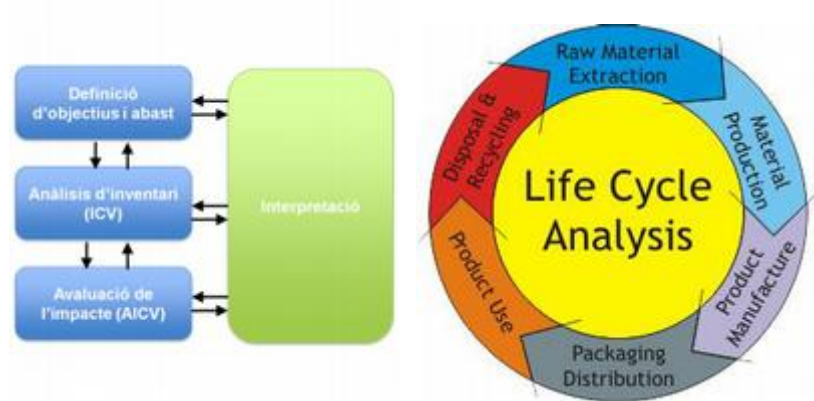


Figura 2. Fases d'un estudi d'ACV. (Font: International Standard Organization, 2006a)



3. Aplicacions d'una ACV

L'anàlisi del cicle de vida té actualment moltes aplicacions dins dels camps de la gestió ambiental. Algunes d'aquestes són:

— La identificació d'aspectes ambientals significatius de productes i serveis d'una organització.

— L'etiquetatge ambiental i les declaracions ambientals.

— L'ecodisseny.

— La inclusió d'aspectes ambientals en les normes de productes.

— La comunicació ambiental.

— La quantificació i el seguiment de les emissions d'efecte hivernacle.

— La presa de decisions ambientals a l'empresa.

— L'avaluació de l'impacte ambiental.

— La comptabilitat de la gestió ambiental.

— L'avaluació de polítiques (models de reciclatge...).

— L'anàlisi de flux (MFA) de substàncies i materials.

— L'avaluació dels perills i els riscos dels productes químics.

— La responsabilitat estesa sobre el producte.

— La gestió del cicle de vida.

— Càlcul de costos del cicle de vida.

Per tant, l'ACV és una eina de gestió ambiental que pot servir de suport per prendre decisions que tenen una gran repercussió en la societat i l'economia. És per això que és una bona eina per establir polítiques i criteris que ens portin a una societat més sostenible.

4. Definició d'objectius i abast de l'ACV

Els objectius d'una ACV han d'establir l'aplicació prevista, les raons per elaborar l'estudi, el públic objectiu i si es preveu fer-ne una divulgació pública.

Cal definir els límits del sistema, ja que, si no, l'ACV seria inabastable per la seva naturalesa global. D'aquesta manera, l'abast ha d'incloure:

- El sistema que es vol analitzar.
- La funció del sistema.
- La unitat funcional.
- Els límits del sistema.
- Els procediments d'assignació de càrregues ambientals.
- Les categories d'impacte seleccionades i la metodologia d'avaluació.
- Els requeriments de les dades.
- Les limitacions i hipòtesis plantejades.
- Els requeriments de qualitat de les dades.
- El tipus de revisió crítica.
- El tipus i format de l'informe.

No hem d'oblidar que la tècnica de l'ACV és iterativa i que, mentre es recopilen les dades i la informació, és possible que calgui modificar uns quants aspectes de l'abast per tal d'acomplir l'objectiu original de l'estudi.

A continuació s'especifiquen amb més detall alguns d'aquests punts:

a) **Unitat funcional:** a l'hora de fer un estudi d'ACV és molt important escollir una unitat funcional adequada, ja que és la mesura de la funció del sistema.

La unitat funcional defineix la quantificació de les funcions del producte. La raó de ser de la unitat funcional és que ha de proporcionar una referència amb la qual es puguin relacionar totes les entrades i sortides del sistema. Aquesta referència és necessària per comparar els resultats obtinguts.

La unitat funcional a la qual es refereixen totes les dades del sistema (tant els consums com les emissions) pot ser física (100 bolígrafs de tinta blava) o funcional (1.000 pàgines escrites amb tinta blava) (Fullana i Puig, 1997).

b) **Límits del sistema:** els límits del sistema determinen quins processos unitaris s'inclouen dins de l'ACV i quins en queden fora. S'han de considerar les diferents etapes del cicle de vida i els processos unitaris, com ara:

- Adquisició de matèries primeres.
- Entrades i sortides del procés.
- Distribució i transports.
- Producció i ús de combustibles, electricitat i calor.
- Ús i manteniment dels productes.
- Disposició dels residus i productes del procés.
- Recuperació de productes.
- Producció de materials secundaris.
- Producció, manteniment i desmantellament dels equips.
- Operacions addicionals, com ara il·luminació i calefacció.

c) **Assignació de càrregues:** dins d'un procés ens podem trobar que es produeixen altres productes que no corresponguin al nostre procés. Per exemple, en el cas que vulguem fer l'anàlisi del cicle de vida d'una sabata feta amb pell de vaca, cal tenir en compte els impactes del procés de producció de la pell, que inclouen els de la cria de la vaca. Però les vaques, al llarg del cicle de vida, produeixen més productes, com ara la llet o la carn (Fullana i Puig, 1997).

Figura 3. Exemple d'assignació de càrregues. (Font: elaboració pròpia)

La **norma ISO 14044** (International Standard Organization, 2006b) recomana expandir el sistema d'estudi, és a dir, estudiar els impactes associats a la producció de la carn, de la pell i de la llet dins del nostre sistema. Això, moltes

vegades, no és possible o dificulta molt el procés. Llavors es pot fer una assignació de càrregues en funció de la causalitat, el volum, la quantitat, el valor econòmic... En l'exemple anterior del calçat, l'assignació de les càrregues ambientals de la granja i l'escorxador es pot fer per pes o per valor econòmic. Aquestes assignacions de càrregues han de quedar clarament justificades i explicitades en les hipòtesis de treball.



5. Fase d'anàlisi de l'inventari (ICV)

L'anàlisi de l'inventari implica la recopilació de les dades i els procediments de càlcul per quantificar les entrades i sortides (matèria i energia) del sistema. Com es pot veure, és, bàsicament, un balanç de matèria i energia del sistema que també inclou altres paràmetres, com ara la utilització del sòl, el soroll o la biodiversitat afectada (Fullana i Samitier, 1996). Aquest procés també és iteratiu, ja que, a mesura que es van recopilant dades, s'aprèn més sobre el sistema i es poden identificar nous requeriments o noves limitacions que impliquin canvis en el procés de recopilació de les dades.

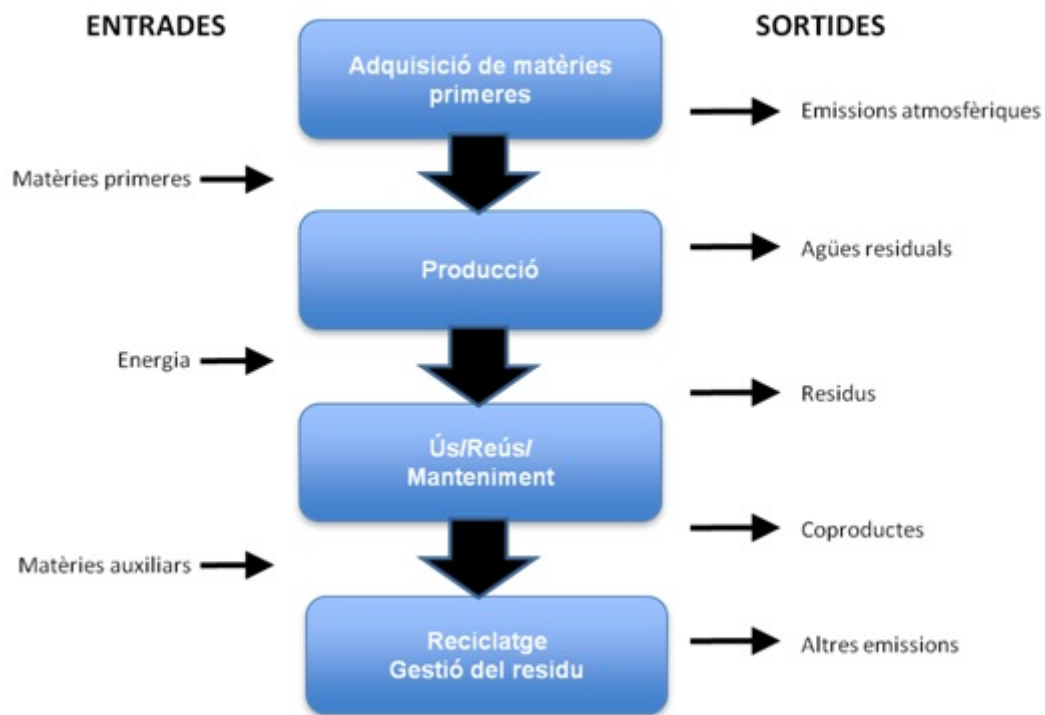


Figura 4. Exemple d'inventari d'un sistema de producte. (Font: elaboració pròpia a partir de Fullana i Samitier, 1996)

És la fase més llarga i la que cal dur a terme amb més cura per evitar la incorporació d'errors que afectin els resultats finals.

Cal arribar a fluxos de materials i energia que provenguin de la naturalesa o hi vagin directament, és a dir, si surten aigües residuals que s'han de depurar d'un procés, cal incloure-hi els consums deguts a aquest tractament i les emissions de contaminants que arribaran al medi (en forma de gasos, etc.).



6. Fase d'avaluació de l'impacte ambiental (AICV)

En aquesta fase s'avaluen els impactes ambientals potencials del producte. En general, implica l'associació de les dades de l'inventari a les categories d'impacte ambiental i als indicadors d'aquestes categories. D'aquesta manera, convertim la informació de l'inventari en una sèrie de valors més fàcilment interpretables. Passem de centenars de valors ambientals (emissions, recursos consumits...) a un nombre reduït d'impactes ambientals.

Cal tenir en compte que es poden introduir subjectivitats al sistema i que cal una transparència per assegurar que les suposicions estan clarament descrites i ben fonamentades.

Aquest procés es desenvolupa normalment en diverses etapes:

- a) **Selecció de categories d'impacte:** cal que estiguin referenciades i justificades, i que siguin coherents amb l'objectiu i l'abast de l'ACV.
- b) **Classificació:** assigna les entrades i sortides de l'inventari a les categories d'impacte afectades per a cada resultat.
- c) **Caracterització:** implica la conversió dels resultats de l'inventari a unitats comunes i suma els resultats en unitats homogènies dins de cada categoria d'impacte.
- d) **Normalització:** és un element optatiu que contrasta els resultats de la caracterització respecte a un valor de referència, com ara els efectes en cada categoria d'impacte produïts per una persona durant un dia. D'aquesta manera, en podem veure millor la rellevància.
- e) **Valoració:** organitza les categories d'impacte en un conjunt o més i converteix els resultats de les diferents categories d'impacte a un únic valor numèric. Aquí s'introdueixen moltes subjectivitats i cal anar amb molt de compte.

Per exemple, si volem saber si és millor el producte A o el producte B, és impossible determinar quins components del producte generen més impacte ambiental entre centenars de substàncies d'una llista que representen entrades i sortides dels sistemes. Per això s'estudia la contribució del conjunt de totes aquestes substàncies a una sèrie d'impactes ambientals coneguts (classificació). Amb aquest pas es redueix el nombre de variables, de centenars d'intervencions ambientals (inventari) a una desena d'impactes ambientals (caracterització). Moltes vegades aquesta reducció de paràmetres no és suficient, ja que interpretar deu valors diferents per a diverses opcions de disseny (producte A i producte B) és complex. Llavors es fa una valoració que consisteix a posar valors relatius als diferents impactes ambientals amb la finalitat de fer una suma ponderada i obtenir un únic índex per a cada un dels productes o components que estem analitzant. Així, obtenim que el producte A genera un impacte de 25 i el producte B genera un impacte de 38.

Segons la norma ISO 14044:2006 (International Standard Organization 2006b), la classificació i la caracterització són passos obligatoris, mentre que la normalització, l'agrupació i la ponderació són opcionals.

Cal tenir en compte que, en tot el procés, s'hi introdueixen la incertesa i la subjectivitat cada vegada que es pren una decisió. L'avantatge de l'ACV és que deixa clar quina incertesa i quina subjectivitat s'estan incloent en el procés (transparència).

A la taula següent s'inclouen algunes de les categories d'impacte més utilitzades per la comunitat científica.

Categories d'impacte	Abast espacial	Unitat de mesura	Unitat d'equivalència
Escalfament global	Global	Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂
Disminució de la capa d'ozó	Global	Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11
Acidificació	Continental/regional/local	Acidificació	kg SO ₂
Eutrofització	Continental/regional/local	Nutrition Potential (NP)	kg PO ₄ ³⁻
Metalls pesats	Continental/regional/local	Metalls pesats a l'aire (MP aire)	kg Pb
	Continental/regional/local	Metalls pesats a l'aigua (MP l'aigua)	kg Pb
Substàncies carcinogèniques	Continental/regional/local	Carcinogènic	kg de benzopirè
Boirum (partícules)	Local	Partícules equivalents	SO ₂ o partícules equivalents
Boirum fotoquímic	Local	Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg etilè
Pesticides	Continental/regional/local	Ingredients actius	kg
Sòlids	Regional/local	Emissions sòlides	kg
Energia	Continental/regional/local	Energia	MJ

A continuació es descriuen amb més detall aquestes categories d'impacte.

— **Escalfament global:** és l'escalfament previsible de l'atmosfera terrestre provocat per l'augment del diòxid de carboni (CO₂) i altres gasos a l'atmosfera. Aquests gasos (en bona part subproductes del consum de combustibles fòssils) formen una capa que reté l'escalfor de l'atmosfera. Aquesta retenció d'escalfor pot provocar un augment de la temperatura mitjana a la Terra. L'ascens d'aquesta temperatura pot afectar els oceans fins al punt que pugui el nivell del mar, amb conseqüències greus per a la tercera part de la humanitat que viu a les zones litorals. Els canvis climàtics també podrien afectar dràsticament els esquemes del temps i les estacions arreu del món i, de rebot, també, l'agricultura. Altres substàncies que també contribueixen a augmentar l'efecte hivernacle són el metà (CH₄), component bàsic del gas natural i emès també als pantans i les zones negades; el vapor d'aigua; l'òxid nitrós (N₂O), emès, per exemple, pels sòls amb un excés de nitrogen. L'efecte hivernacle és un impacte a escala global.

— **Disminució de la capa d'ozó:** les capes altes de l'atmosfera (estratosfera, entre 20 i 50 km d'alçada) contenen ozó (O₃), forma molecular de l'oxigen que absorbeix la major part de les radiacions ultraviolades del Sol. Sense l'ozó, probablement, la vida a la Terra no hauria arribat a la forma actual. Determinats productes químics que contenen àtoms de clor o de brom alliberats a l'atmosfera perjudiquen la capa d'ozó. Per exemple, l'acumulació de clorofluorocarbonis (CFC) o halons a l'estratosfera fa reduir el gruix de la capa d'ozó i ens priva de la protecció dels rajos ultraviolats. Això pot suposar un augment dels índexs de càncer de pell i pot perjudicar els ecosistemes naturals i artificials. Els CFC es produeixen en la fabricació d'escumes i s'utilitzen com a propulsors dels aerosols vaporitzadors (tot i que alguns països ja n'han prohibit la utilització). La pèrdua de la capa d'ozó també és un impacte d'àmbit global, tot i que l'efecte que té es fa notar més en certes àrees que en d'altres.

— **Acidificació:** l'ús de combustibles fòssils provoca emissions d'òxids de sofre (principalment, SO₂) i de nitrogen (NO_x) a l'aire. Aquests contaminants es combinen amb la humitat de l'atmosfera i formen àcid sulfúric i nítric, respectivament, que cauen en forma de pluja àcida. La pluja àcida afecta negativament els llacs i els boscos, la flora i la fauna, les terres agrícoles, les reserves d'aigua i la salut humana. Els efectes de la pluja àcida depenen de la sensibilitat de les zones afectades. A més, els òxids de nitrogen i de sofre no es poden transportar a escala global, de manera que es diu que la pluja àcida és un impacte regional. De totes maneres, les regions afectades són extenses i sovint estan allunyades dels focus emissors.

— **Eutrofització:** és un procés d'acumulació de nutrients (matèria orgànica i mineral) als ecosistemes aquàtics que incrementa el creixement dels organismes —principalment, algues— que esgoten el nivell d'oxigen. Els sediments provinents de les aigües residuals domèstiques i industrials afavoreixen l'eutrofització. El procés de descomposició és natural, però quan els residus presents en les aigües s'acumulen poden provocar el creixement ràpid de la població de descomponedors aerobis, que esgoten de seguida l'aportació d'oxigen, de manera que no poden continuar la seva funció. Si aquests residus es tractessin i es retornessin al sòl, i no als cursos d'aigua i als aqüífers, es reduiria aquest problema. L'eutrofització també és un impacte d'abast regional.

— **Metalls pesants:** es consideren metalls pesants els que tenen un pes atòmic relativament elevat i una densitat aproximada de 5 g/cm³. En general, acostumen a ser molt tòxics i no es troben en concentracions gaire elevades a l'aire o a l'aigua. Però són elements que són presents al medi en concentracions baixes i que es poden acumular fins a nivells crítics o letals als nivells tròfics superiors a través de la biomagnificació, ja que, a part de ser tòxics, són persistents i bioacumulables.

— **Substàncies cancerígenes:** aquesta categoria engloba les substàncies que tenen una certa probabilitat de provocar càncer a concentracions d'1 µg/m3, segons la taula de les guies de qualitat de l'aire de l'Organització Mundial de la Salut. Aquesta taula indica el nombre de persones d'entre un grup d'un milió que desenvoluparien càncer amb l'exposició indicada. S'ha de dir que no s'ha demostrat la linealitat entre la probabilitat i l'exposició, però sí que s'ha assumit aquest mètode de càlcul. Establir els nivells de toxicitat crònica per a cada substància és complicat, ja que en cada cas hi ha molts factors que afavoreixen o desafavoreixen els efectes de la possible toxicitat, que, en no tenir efectes immediats, no sempre permet correlacionar amb claredat les relacions causa-efecte.

— **Boirum:** és la boira amb presència de contaminants atmosfèrics originats bàsicament per la indústria i el transport, i que és conseqüència de la concentració de partícules de pols i fum que, en actuar com a nuclis de condensació, provoquen la condensació de vapor d'aigua, fins i tot amb una humitat relativa d'aigua molt inferior al 100 %. Els contaminants que més contribueixen a aquest efecte són les partícules, el carbó, la pols de ferro i l'òxid de sofre.

— **Boirum fotoquímic:** és la capa d'aire contaminat que hi ha a la capa fronterera de l'atmosfera (0-1.000 m); es forma per la presència de concentracions elevades de contaminants (òxids de nitrogen i compostos organovolàtils) i l'acompanya una radiació solar forta.

— **Pesticides:** es mesuren a partir dels ingredients actius que incorporen, com ara els desinfectants, els fungicides, els herbicides o els insecticides. S'expressen en kg d'ingredients actius.

— **Sòlids:** les emissions sòlides dels diferents processos poden ser afegides sense utilitzar factors de ponderació. S'expressen en kg.

— **Energia:** aquesta categoria mesura les entrades i sortides del sistema en termes d'energia. Cal remarcar que hi ha altres mètodes d'avaluació de l'impacte que defineixen altres categories d'impacte, com ara: ús del terreny, esgotament de recursos, toxicitat humana, toxicitat per al medi, olor, soroll, radiació, accidents, consum de recursos biòtics, consum de recursos abiòtics, fluxos econòmics...

Component d'impacte	Àmbit espacial	Unitat de mesura	Unitat d'expressió
Emissions global	Global	Sòlids: Volumes Potencial GWP	kg CO ₂ equivalent
Emissions de la capa d'ozó	Global	Gases: Equivalents Potencial ODP	kg CFC-11 equivalent
Acidificació	Concoment regional local	Acidificació	kg SO ₂ equivalent
Eutroficació	Concoment regional local	Nutrició	kg PO ₄ equivalent
	Concoment regional local	Potencial GWP	kg CO ₂ equivalent
Metal·les pesats	Concoment regional local	Metal·les pesats a l'aire (GWP)	kg Pb equivalent
Sistemes ecossistèmics	Concoment regional local	Concoment	kg de biomassa
Residus (partícules)	Local	Partícules equivalent	kg de partícules equivalent
Residus (orgànics)	Local	Partícules equivalent	kg de residus equivalent
Pesticides	Concoment regional local	Ingredients actius	kg
Sòlids	Regional local	Emissions sòlides	kg
Energia	Concoment regional local	Energia	J

7. Fase d'interpretació

Aquesta és la fase en què es combina la informació obtinguda en l'inventari i en l'avaluació d'impactes, i s'interpreten els resultats d'acord amb els objectius de l'estudi per obtenir una sèrie de conclusions i/o recomanacions.

La fase d'interpretació hauria de reflectir que els resultats de l'AICV estan basats en un enfocament relatiu i que no prediuen els impactes reals en els punts finals de cada categoria.

Aquí cal especificar les conclusions i les recomanacions per als qui han de prendre decisions a partir de l'ACV.

8. Bibliografia

Libres

Fullana, P. (dir.); Samitier, S. (dir.). *Iniciació a l'avaluació del cicle de vida*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Direcció General de Qualitat Ambiental: Fundació Narcís Monturiol, 1996. ISBN 8439337817.

Fullana, P.; Puig, R. *Análisis del ciclo de vida*. 1a ed. Barcelona: Rubes Editorial, 1997. ISBN 84-497-0070-1.

Puig, R. (coord.). [Libre didàctic d'anàlisi de cicle de vida \(ACV\)](#). Xarxa Temàtica Catalana d'ACV.

Webs

[LCM2007 3rd International Conference on Life Cycle Management](#)

.

[Life Cycle Initiative. UNEP-SETAC](#)

[Portal Sostenibilidad](#)

[Xarxa Catalana d'Anàlisi del Cicle de Vida](#)

[SPOLD: Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development](#)

9. Activitats

10. Crèdits

Com s'ha de citar aquesta unitat?

Molins, G. *Anàlisi de cicle de vida (ACV)*. A: Carrera, E.; Segalàs, J. (ed.). *Tecnologia i Sostenibilitat* [en línia]. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010. [Consulta: dia mes any]. Disponible a: <<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu>>

Els continguts d'aquesta unitat han esta elaborats per:

Gemma Molins Duran

Departament d'Enginyeria Química
Universitat Politècnica de Catalunya

gemma.molins@upc.edu

