

2015

# Anàlisi de cicle de vida d'un smartphone



# Anàlisi de cicle de vida d'un *smartphone*

**Autor:** Paula Rodríguez Villanueva, Màster d'Energies Renovables i Sostenibilitat Energètica a la Universitat de Barcelona

**Tutors:** Dra. Camila Barreneche (UB - Departament de Ciències dels Materials) i Albert Torras (AMB - Prevenció de Residus)

**Novembre 2015, Barcelona**

## Resumen

La industria de la telefonía móvil ha experimentado en los últimos años una significativa evolución que la ha convertido en un tema muy interesante que estudiar.

En este artículo se han analizado los potenciales impactos que generan los móviles inteligentes a lo largo de su vida a través de la metodología del análisis del ciclo de vida con el método del Eco-indicador 99. Para ello, ha sido necesario conocer la composición de los móviles y el peso de cada componente, información que se ha consultado con compañías de telefonía móvil. Para obtener datos del uso de estos dispositivos se ha realizado un experimento que contemplaba diferentes escenarios y se ha contabilizado el uso de la batería y el consumo energético por cada carga. Finalmente, también se ha analizado la etapa de fin de vida de estos residuos y el sistema de gestión actual. Toda la información recogida ha servido para cuantificar el impacto en las diferentes etapas, evaluarlo y desglosarlo por tipología.

## Abstract

The mobile phone industry has changed rapidly in recent years, making it an especially interesting research subject. For this study, a life cycle assessment of a smartphone was realized using the Eco-Indicator 99 method in order to assess the potential impacts generated by smartphones at different stages in their lives.

Different references were considered, and certain national and international mobile phone companies were asked about the different components they sell and the weight of each. Various experiments were realized to reproduce different possible scenarios regarding the use of a mobile phone, comparing battery use and electrical consumption with each recharge. The way these electrical components are treated and managed at the end of their lives was also analyzed.

The creation of a database with the information collected was used to study the different stages of the devices' life cycle and determine which have a greater impact, and what the nature of these impacts are.

## 1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Un *smartphone* és un telèfon mòbil que funciona amb un sistema operatiu avançat que integra diverses funcions en un sol dispositiu. La indústria dels mòbils ha canviat i està en contínua evolució, la qual cosa implica un augment del consum de minerals crítics i terres rares. Si es consideren aquestes noves extraccions, juntament amb l'ús intensiu que es fa dels mòbils i el gran augment d'usuaris en els darrers anys, la repercussió pel que fa als residus és cada cop més important. A més, s'hi afegeix el problema del contingut d'aquests dispositius, que contenen a més de metalls amb alt valor afegit, substàncies perilloses. La controvèrsia sobre l'extracció, la producció i el reciclatge dels *smartphones* és cada cop més gran per totes les problemàtiques que se'n deriven; com l'esgotament de recursos, el risc per als treballadors a les mines i els residus que s'exporten a tercers països.

El gran repte és gestionar la demanda creixent dels *smartphones* i intentar trobar un sistema eficient de residus.

L'objectiu de la recerca ha consistit a analitzar l'estat actual dels *smartphones* a partir d'una anàlisi del cicle de vida (ACV).

Els objectius específics són:

- Distingir i caracteritzar cada etapa del cicle de vida dels *smartphones*.

- Detectar les principals problemàtiques que es deriven del cicle de vida dels *smartphones*.
- Quantificar l'impacte associat a cada etapa en termes energètics i d'emissions d'efecte d'hivernacle.
- Descriure la gestió d'aquests residus electrònics a l'Àrea Metropolitana de Barcelona.
- Proposar millores en la gestió dels residus electrònics de *smartphones*.

## 2. ANTECEDENTS

Evolució de la indústria de la telefonia mòbil.

Els orígens dels mòbils es remunten a la Segona Guerra Mundial, quan s'utilitzaven *walkie-talkies* de llarga distància i pesaven més d'una vintena de quilograms. El primer telèfon mòbil com a tal va ser creat el 1973 per Martin Cooper, un enginyer de Motorola. Aquest primer mòbil pesava 1,1 kg, mesurava 228,6 × 127 × 44,4 mm, la bateria durava 30 minuts i tardava 10 hores a carregar-se. Els primers mòbils estaven destinats a homes de negocis i posteriorment es van destinar al públic en general, tot i que els preus eren molt elevats. Durant els anys següents les primeres empreses de telefonia mòbil (Nokia i Motorola) van anar perfeccionant els dispositius que posaven a la venda i es va anar obrint el mercat a noves companyies que creaven dispositius cada cop més innovadors i més lleugers. Actualment, el desenvolupament i el creixement de les noves tecnologies continua avançant a un ritme vertiginós. Així, al final de 2014,

es van comptar un total de 3,6 bilions de subscripcions de telefonia mòbil a tot el món i es preveu una penetració de gairebé el 60% d'aquesta indústria a escala mundial de cara al 2020, que actualment és d'un 50%.[1] A Espanya, els *smartphones* són l'equipament individual que més creix respecte de l'any anterior i ho fan amb un 53,7% de penetració.[2]

### Composició i funcionament

Els *smartphones* estan compostos per moltes peces, però es poden classificar en 5 divisions principals [figura 1]:

- Carcassa o coberta (*housing*): depenent del model pot estar composta per plàstics o, com els *iPhones*, d'alumini. La seva funció és protegir la resta de parts.
- Pantalla: formada pel vidre, el digitalitzador i l'*LCD (Liquid Crystal Display)*. El vidre s'utilitza com a element de protecció. El digitalitzador

- làmina que porta integrats els cristalls líquids de colors per formar imatges.[3]
- PCB (placa de circuit imprès): és una placa de fibra de vidre recoberta de resina epoxi on s'integren tots els circuits, xips i connectors soldats. És on es troben tots els metalls preciosos i les substàncies més perilloses (arsènic, cadmi, plom, tàntal...). [4] [5].
- Xassís: és la part més interna sobre la qual es col·loca i es fixa la placa de circuit imprès. La seva composició es majoritàriament d'alumini.
- Bateria: actualment la gran majoria són de liti. Es calcula que, de mitjana, tenen una vida útil de 2 anys.

El funcionament d'un *smartphone* és complex i depèn de molts elements. A la figura 2 es pot veure un esquema del funcionament bàsic.

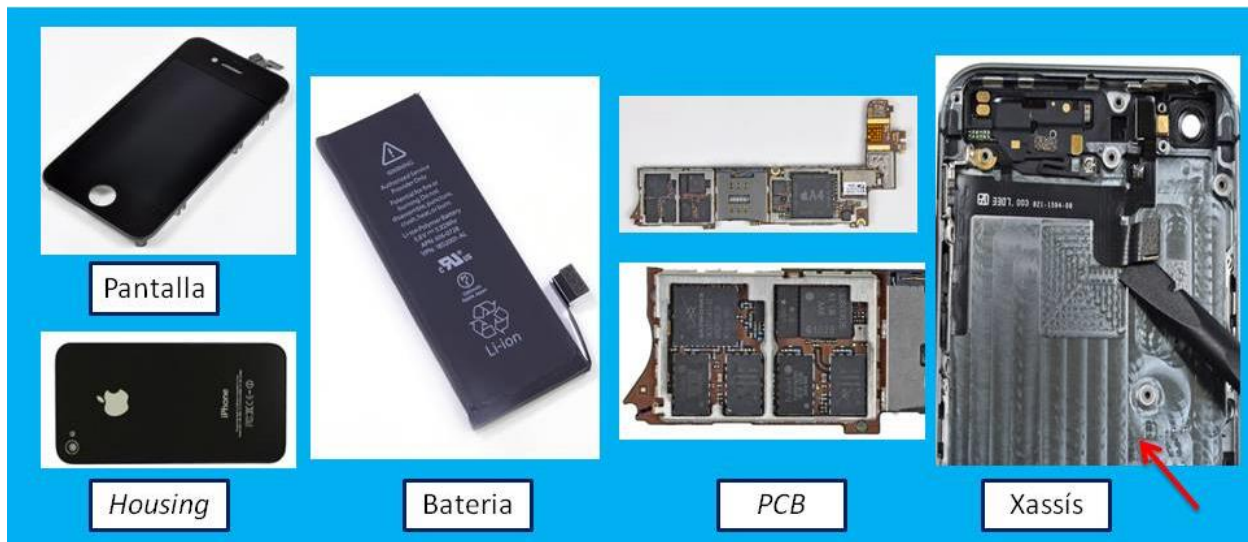


Figura 1 - Parts principals d'un *smartphone*  
 Font: Composició pròpia a partir d'imatges de [www.ifixit.com](http://www.ifixit.com)

és una impressió sensible que detecta els moviments tàctils i l'*LCD* és una

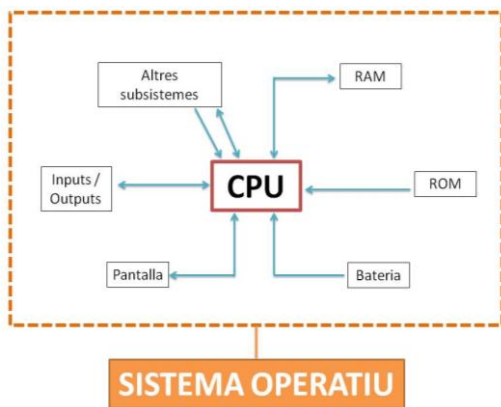


Figura 2 - Funcionament bàsic d'un smartphone  
Font: Elaboració pròpia

La CPU (unitat central de processament) interpreta accions però no les crea i està governada per un sistema operatiu que proporciona les instruccions, que pot ser Android (basat en el sistema operatiu de Linux) o iOS (sistema tancat i només disponible per a *smartphones* Apple).

#### Problemàtiques derivades

##### Procés d'extracció

La demanda de matèries primeres s'ha incrementat en les darreres dècades a causa, principalment, de la ràpida industrialització de les economies en desenvolupament (com la Xina o l'Índia) i del consum continu de recursos dels països desenvolupats.

Els aparells elèctrics i electrònics (AEE), com ara els mòbils, contenen un elevat nombre de recursos naturals no renovables a l'interior. L'extracció d'alguns d'aquests minerals s'ha desenvolupat des de l'antiguitat, però és en els últims anys quan s'han començat a crear polítiques per tal de regular

aquesta activitat i prioritzar la seguretat i protecció de l'entorn i de les persones. [6]

L'Àfrica és un dels principals llocs d'origen dels recursos minerals, se situa com el continent amb més intensitat material i, a la vegada, com a centre de problemàtiques derivades de la gestió de la seva extracció. [7]

Hi ha conseqüències associades a uns tipus de minerals concrets, que és difícil que la llei pugui regular. És el que s'anomenen *minerals de conflicte*, com ara l'or, el coltan, el coure, el cobalt..., molts dels quals es troben a dins dels telèfons mòbils. El cas del Congo és un dels més coneguts i alarmants, ja que el conflicte que es deriva d'aquests minerals dura des de fa 15 anys i s'ha emportat milers de vides. Algunes de les mines estan controlades per grups rebels que exploten els treballadors per tal d'aconseguir el tàntal (el mineral que juntament amb el niobi forma el famós coltan), l'or o el tungstè i vendre'ls posteriorment per obtenir diners per comprar armes. No hi ha cap tipus de control sobre els treballadors (entre els quals hi ha menors d'edat) ni sobre l'entorn. S'han detectat problemes respiratoris provocats pels gasos que s'alliberen en profunditat a les mines, a més dels residus que es generen. [8] [9]

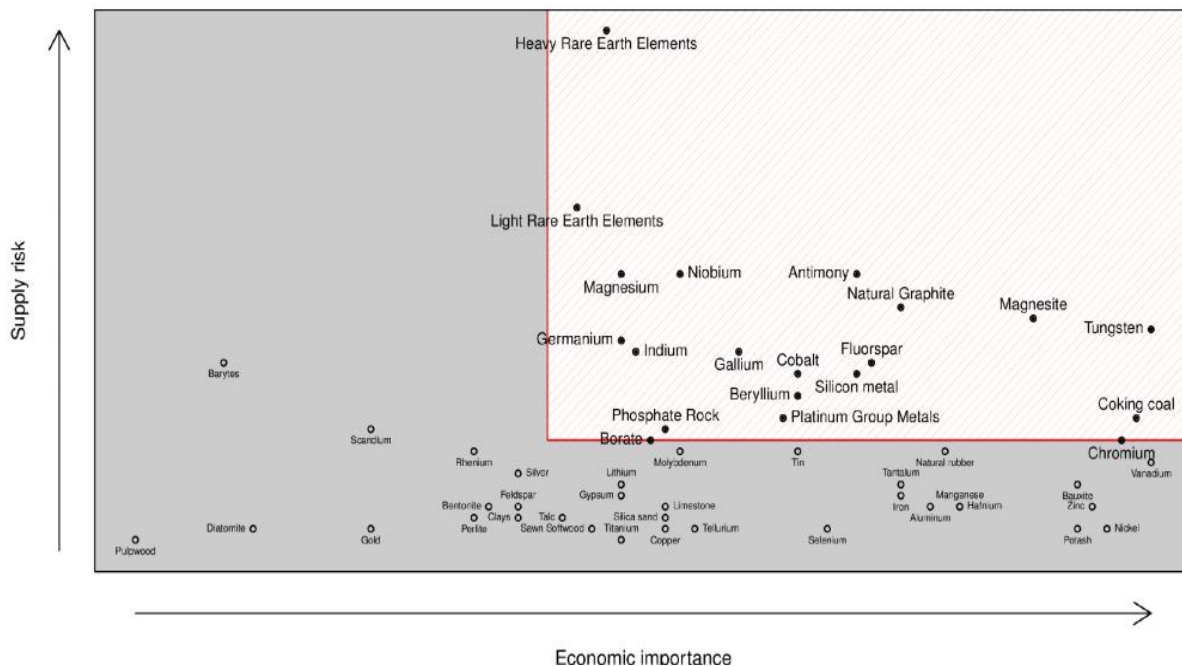


Figura 3 - Materials establerts com a crítics d'una mostra inicial de 54 possibles  
 Font: ec.europa

### Materials crítics

Les noves tecnologies han provocat un increment de determinats elements i recursos que abans no s'utilitzaven o es feien servir en petites quantitats. I aquí és on s'esdevé l'inici del problema sobre els materials crítics. [10]

Segons *Resnick Insitute* un material crític es defineix com aquell material que té una o més propietats físicament essencials per al funcionament del sistema, però amb una incertesa o un risc en el seu subministrament. [11] [12]

Que sigui considerat com a crític dependrà de l'equilibri que hi hagi entre l'oferta i la demanda.

La Comissió Europea va fer un estudi per tal d'identificar els materials crítics entre totes les matèries primeres, que va donar com a resultat els materials de la figura 3. Els criteris o indicadors es basaven en la importància econòmica (relació dels

minerals amb sectors industrials concrets, juntament amb el seu valor afegit dins del PIB de la UE) i en el risc de subministrament (a través de l'indicador mundial de governança que mesura l'estabilitat política i la manca de violència del lloc d'origen, l'efectivitat governamental, la qualitat regulatòria i l'estat de dret). [13]

### Gestió dels residus

Els residus d'aparells elèctrics i electrònics (RAEE) són aquells residus que es generen a partir d'equipament elèctric i electrònic descartat per l'usuari. [14]

El flux de residus electrònics ha augmentat en quantitat en els darrers anys, a causa de la creixent demanda i la cada cop més curta vida útil dels dispositius. [15]

El problema principal que es deriva d'aquests residus no és solament el risc

potencial que presenten en el tractament final pel que fa al medi ambient i a la salut humana, sinó també on es produiran aquestes conseqüències. Una part important dels RAEE no es recullen ni es tracten de la manera adequada i s'envien a països en vies de desenvolupament (Xina) o subdesenvolupats (Ghana) on la normativa de reciclatge és molt més laxa o inexistent i s'exporten com a productes de segona mà per tal de reduir l'anomenada *diferència tecnològica* i evitar incomplir la llei actual que prohibeix l'exportació de residus (Conveni de Basilea). [16] Un cop els residus arriben a aquests països, se separen els plàstics dels metalls cremant-los, molts cops de la mà de nens, de manera que s'alliberen gasos nocius que respiren sense cap mesura de seguretat. [16].

**Normativa de gestió de residus electrònics**  
 La normativa que envolta els residus d'aparells elèctrics i electrònics (RAEE) ha anat canviant amb el temps i en els darrers anys s'ha tornat cada cop més exigent. A la figura 4 es pot apreciar un esquema de les noves normatives actualitzades, que serveixen per contextualitzar el projecte.  
 Per tal d'aconseguir una normativa més ambiciosa i eficient es va redactar l'RD 110/2015 sobre residus d'aparells elèctrics i electrònics que deroga l'RD 208/2005, incorpora les novetats de la Llei 22/2011 i transposa la Directiva 2012/19/CE. L'RD 110/2015 aposta per instruments de control de les dades dels RAEE d'àmbit autonòmic i estatal per comprovar el compliment dels objectius europeus, així com promoure la reutilització, valorització i una bona gestió

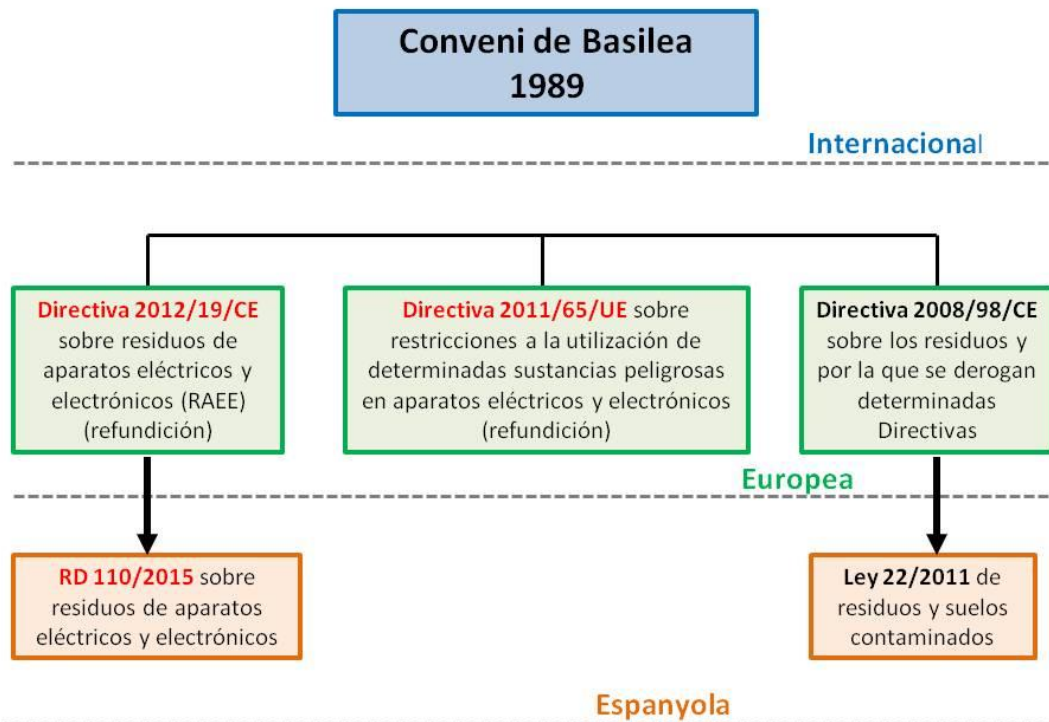


Figura 4 - Normativa vigent sobre els RAEE  
 Font: Elaboració pròpia

dels residus, de manera que es generin llocs de treball. Com a novetats principals destaca la creació d'un Grup de Treball que depèn de la comissió coordinadora de residus a través de dos instruments; una plataforma electrònica (que comptabilitzarà els RAEE) i una oficina d'assignació de recollides (gestionada pels productors d'AEE). Desenvolupa noves obligacions que deriven de la Responsabilitat Ampliada del Productor (SCRAP), que es defineix com un concepte basat en «qui contamina paga», que considera que el productor té una responsabilitat en el producte que oferta més enllà de la venda. [17]

### 3. ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA D'UN SMARTPHONE

Determinar l'abast i la profunditat de l'estudi

Metodologia ACV

L'anàlisi del cicle de vida és una eina que s'utilitza per avaluar el potencial impacte ambiental derivat d'un producte, un material, un procés o una activitat. [18]

El primer pas (figura 5) és definir els objectius, l'abast de l'estudi i la unitat funcional. Un cop establerts, es recopilen les dades per poder quantificar les entrades i sortides del sistema que s'ha d'estudiar en forma d'inventari de dades. A partir de les dades donades per l'inventari s'avaluen els resultats per tal de millorar la comprensió dels resultats. En aquesta recerca, per avaluar i interpretar les dades s'utilitza la metodologia orientada als danys a partir de l'Eco-indicador 99, una millora del seu predecessor l'Eco-indicador 95. [19] L'Eco-indicador 99 permet valorar l'impacte ambiental total de l'*smartphone* a partir de la base de dades Ecoinvent, on es refereix cada material. Primer s'obtenen dades d'extracció, producció i transport conjuntament i després entrades sobre consum energètic per a l'etapa d'ús i de final de vida (associades a kWh). L'Eco-indicador 99 és un dels que més impactes considera i tradueix l'impacte al medi ambient en tres tipus de danys:

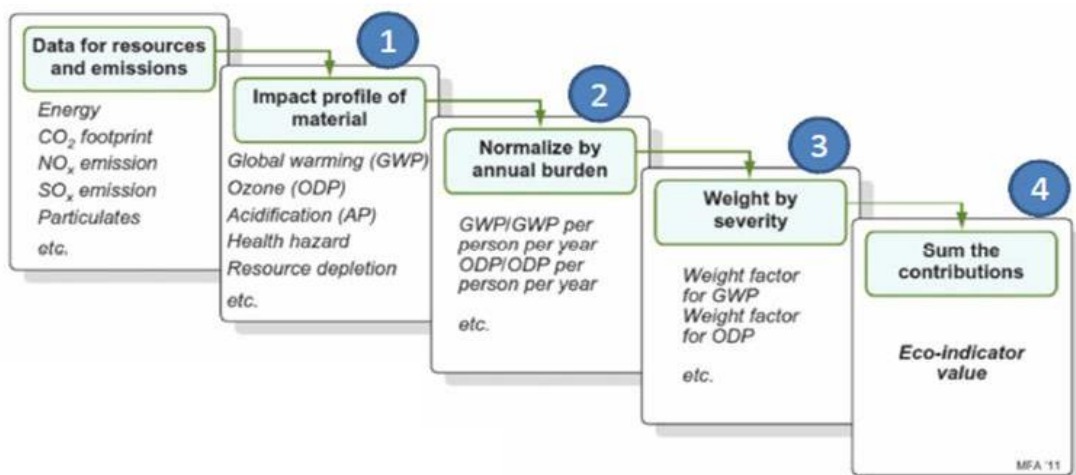


Figura 5 - Metodologia de l'ACV  
Font: M.F. Ashby, *Materials and the Environment*, 2013

- Impacte sobre la salut

humana, que inclou les categories de canvi climàtic, potencial d'esgotament de l'ozó, efectes cancerígens, efectes respiratoris i radiació ionitzant.

- Impacte sobre la qualitat de l'ecosistema, que engloba ecotoxicitat, acidificació, eutrofització i ús del sòl.
- Impacte sobre els recursos, que considera l'excés d'energia necessària per a l'extracció dels minerals i recursos fòssils.

També s'utilitza l'ACV simplificat Eco-audit amb el software CES-EduPack 2014 per a aquelles etapes on l'Eco-indicador 99 no és prou acurat, és a dir, per a l'etapa de disposició final del material.

#### Objectiu i Abast

El diagrama de flux permet esquematitzar les entrades i sortides del sistema. Els objectius i abast estableixen els límits del que s'ha d'incloure i el que no a l'ACV. A

la figura 6 s'estableixen els límits del sistema.

#### Unitat funcional

La unitat funcional que hem escollit és un *smartphone* Android o iOS fabricat entre el 2012 i el 2015 i amb una vida útil de 2 anys.

#### Inventari

##### Dades d'extracció i producció

En aquesta fase hem comptabilitzat els components principals que integren un *smartphone*. Ha resultat una tasca difícil d'aconseguir, ja que hi ha molt poca bibliografia, poc clara i poc actualitzada sobre el tema. [20] [21] [22] [23] Les companyies de telefonia mòbil tampoc no han ofert les dades necessàries. S'ha partit de la base que proporcionava Apple del seu iPhone 5S (figura 7) i s'han fet els càlculs pertinents per obtenir el resultat. [24] Aquesta composició és molt general, i interessa aprofundir en la

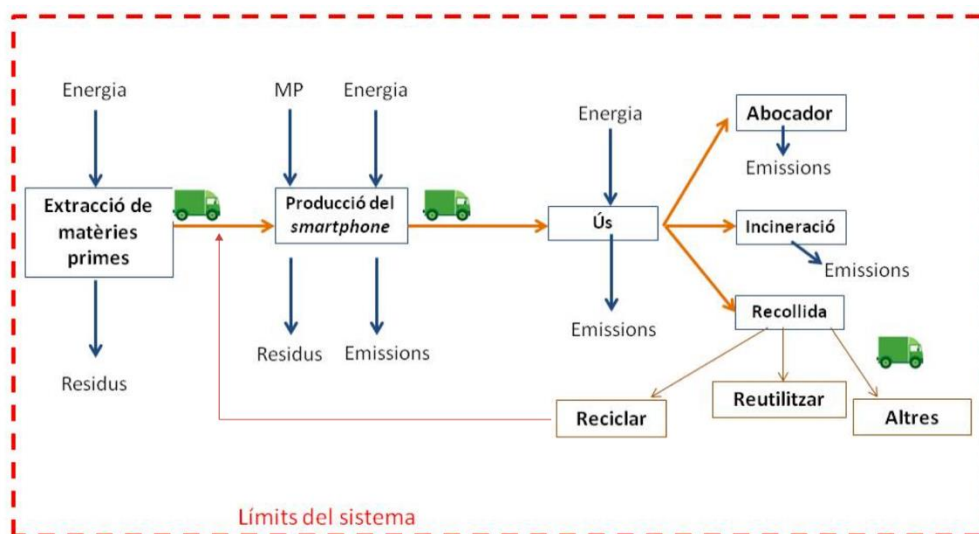


Figura 6 - Límits del sistema d'estudi  
Font: Elaboració pròpia

composició de la PCB, de la bateria i de l'LCD. La part de la PCB es va calcular a

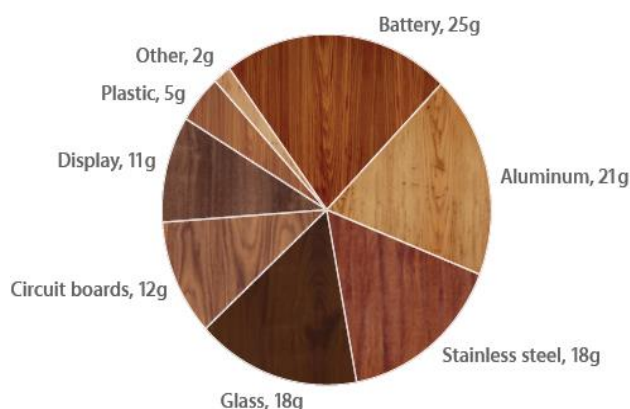


Figura 7 - Materials utilitzats en la producció de l'iPhone 5S  
Font: Apple *Environmental Report*

partir de dades de bibliografia [24]-[35] sobre la gestió dels residus de plaques de circuit imprès. La quantitat d'elements obtinguts és molt elevada. Per aquest motiu, i per tal d'optimitzar els resultats finals s'ha reduït la llista seguint els criteris següents:

- Mantenir aquells materials de composició majoritària.
- Escollir els materials definits com a crítics prèviament.
- Eliminar aquells materials que no constin a la base de dades de consulta (Ecoinvent) i els que estiguin repetits en

Taula 1 - Composició d'un *smartphone*  
Font: Elaboració pròpia

Part del mòbil	Composició	Material	Pes (g)	Pes (%)	
Coberta externa	Plàstics	Polycarbonat	5	4,46%	
		Backlight	7,680		
Pantalla	LCD	Polaritzador i filtres RGB	1,590		
		Cristalls líquids	1,540		
		Altres	0,09		
	Vidre	Aluminosilicat	18		
Xassís i tapa trasera		Alumini	21		
Bateria		ió Liti	25		
Peces i altres		Acer inoxidable	18		
Altres	Diversos	Coure	2		
PCB		Fibra de vidre	8,88		
		Resina epoxi	1,91		
		Zn	0,20		
		Mg	0,20		
		Ti	0,15		
		Mn	0,12		
		Ga	0,04		
		As	0,01		
		Pb	0,01		
		Co	0,01		
		Au	0,006		
		Ni	0,0014		
		Ta	0,0012		
		In	0,0012		
		Pd	0,0012		
		Ag	0,0009		
	<b>TOTAL</b>			<b>112</b>	

altres parts del dispositiu (com el coure).

La taula 1 detalla la composició final del mòbil a partir dels criteris descrits.

Dades d'ús

La vida útil que pugui tenir un mòbil dependrà de l'ús que se'n faci. [35]-[37] És per això que s'ha dut a terme un experiment en un mateix mòbil (Samsung S4) amb diferents usos, que ha donat lloc a 3 escenaris possibles:

- Escenari 1 (ús normal) → Disposa d'accés Wi-fi a les dades mòbils, però si hi ha Wi-fi es desconnecten les dades i al revés. Ús d'aplicacions, jocs i poc ús de les xarxes socials.
- Escenari 2 (ús intensiu) → Es connecta al màxim d'aplicacions possibles, les dades mòbils sempre estan connectades independentment de si hi ha Wi-fi o no. Ús intensiu de totes les aplicacions; jocs, reproductor de música, reproductor de vídeos, xarxes socials... Es manté connectat el localitzador GPS i el *Bluetooth*.
- Escenari 3 (sense ús) → Es mantenen apagades les dades mòbils i la xarxa Wi-fi. Les aplicacions estan tancades. El consum es deu a la pantalla i a les aplicacions *backup* que, tot i estar tancades, reben informació.

Per fer-ho, durant els dies laborables de la setmana (els caps de setmana el mòbil té un ús més variable i difícil de classificar), s'ha utilitzat el mòbil segons els diferents escenaris. A les 8:00 h de cada dia el mòbil estava al 100% i s'apuntava el % restant cada hora a

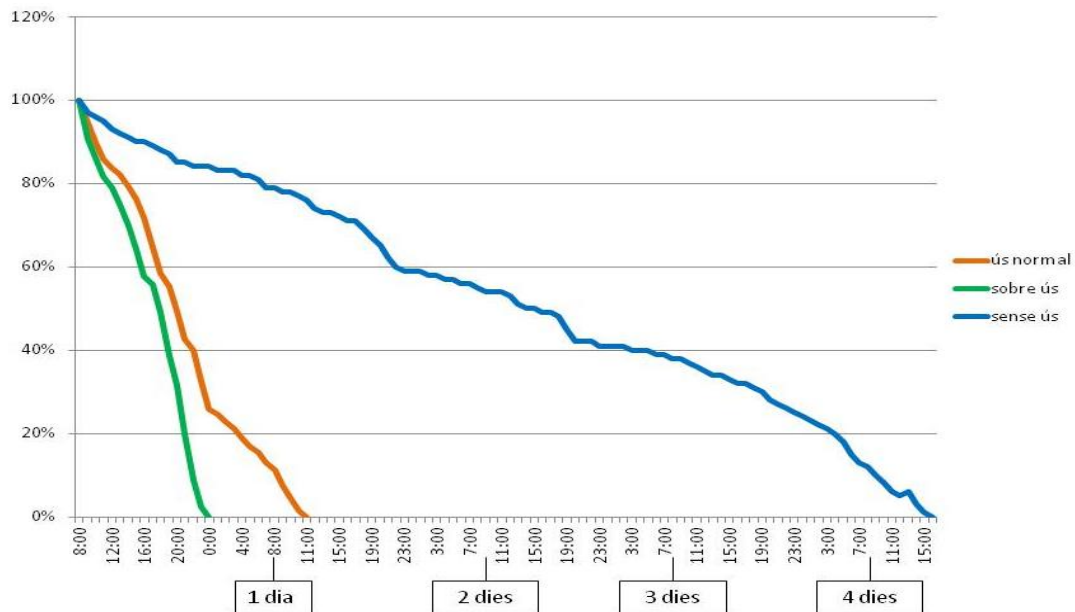


Figura 8 - Esgotament de la bateria d'un Samsung S4 (%) en funció del temps

Font: Elaboració pròpia

mesura que passava el temps i la bateria s'esgotava. L'objectiu era determinar, de mitjana, quantes hores podia durar la bateria segons els diferents escenaris.

A la figura 8 es representa la durada de la bateria segons els tipus d'ús.

Així doncs, a partir de les hores de bateria i sabent que, en el cas d'un *smartphone* Android calen 9,88 Wh (2,6 Ah × 3,8 V) per carregar-la de 0 a 100%, [38] [39] es pot conèixer el consum a l'any per l'ús del mòbil [taula 2].

Taula 2 - Consum anual d'un mòbil tipus segons els tres escenaris

Font: Elaboració pròpia a partir de diferents articles

Escenari	Durada de la bateria (h)	Nre. càrregues/any	kWh/any
1	28	313	3,09
2	21	717	4,12
3	105	83	0,82
Capacitat bateria (Samsung Galaxy S4)			9,8 Wh/càrrega (0%-100%)

#### Dades de gestió del residu

La gestió dels RAEE, en aquest cas els mòbils, és difícil de controlar. L'objectiu

de les noves normatives i les múltiples campanyes des de les entitats locals o ONG que es duen a terme és el de vertebrar un sistema de gestió de RAEE efectiu i que eviti les fuites. A la figura 9 es resumeix el sistema actual de gestió dels RAEE i les possibilitats que es poden donar un cop deixen de ser útils per a l'usuari.

Es consideren productors de RAEE tots aquells usuaris que descarten els AEE i les seves parts i no tenen la intenció de reutilitzar-los. Hem tingut únicament en compte la gestió que es duu a terme a l'Estat tot i les possibles fuites de residus. En aquest cas, la unitat funcional d'estudi

es considera que ha estat gestionada correctament.

Responsabilitat Ampliada del Productor). [42]-[51]

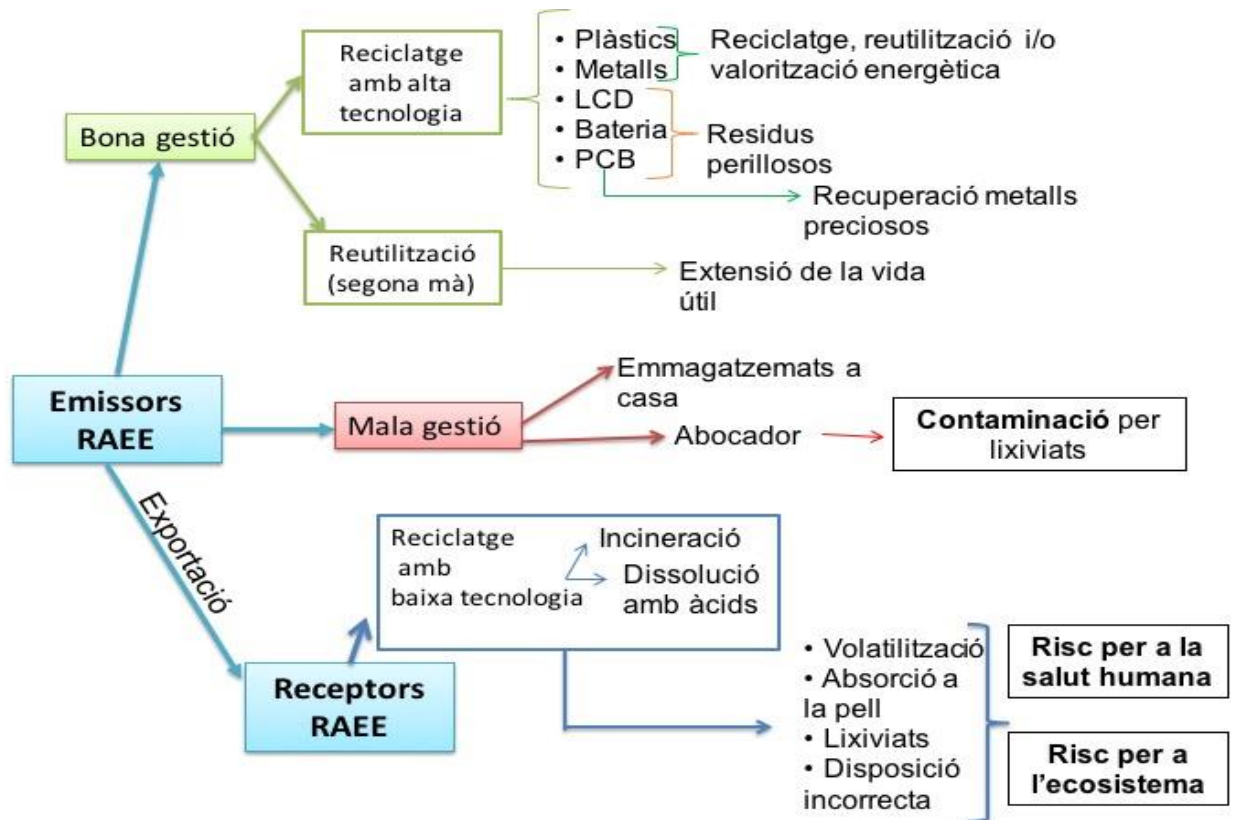


Figura 9 - Possibilitats de gestió dels RAEE  
Font: Elaboració pròpia a partir de [40] i [41]

Per obtenir la dada associada a l'energia del final de vida de l'*smartphone* s'ha utilitzat el software CES EduPack2014, que ofereix diferents possibilitats de gestió final amb un percentatge associat. Per omplir la informació establerta a la figura 10 es va consultar bibliografia específica i es va contactar amb gestors autoritzats de SCRAP d'Espanya (Societat Col·laborativa de

Els processos que des del software CES EduPack2014 es contemplen com a possibles tractaments de gestió són:

- Abocador (*Landfill*): és l'opció que s'intenta evitar perquè a Europa la majoria d'abocadors estan gairebé plens. És un espai físic i controlat on es descarten els residus i s'enterren en condicions de seguretat. Per això cal evitar que els RAEE acabin anant aquí, perquè a més de l'espai que ocupen són contaminants potencials.
- Reutilitzar: redistribuir el producte a un altre consumidor que accepti el seu estat de segona mà i maximitzar-ne la vida útil sense cap processament.

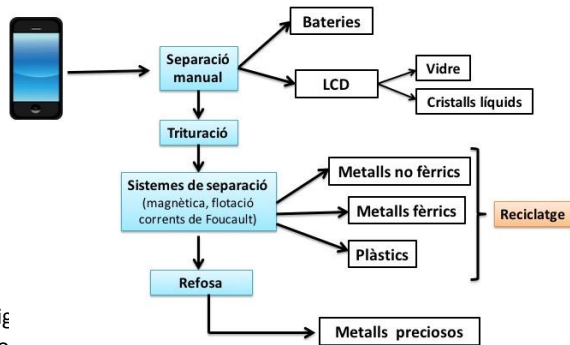


Fig 10 - Possibilitats de gestió dels RAEE  
Font: Elaboració pròpia a partir de [40] i [41]

- Reciclar: processament de materials recuperats de residus i retorn al cicle d'utilització amb la mateixa qualitat.
- *Downcycle*: processament d'un material a un de menor qualitat.
- *Re-manufacturing*: recuperar components extrets d'un residu i netejar-los, reparar-los si és necessari i reutilitzar-los per produir un nou producte o per substituir-ne alguna part.

#### Avaluació de l'impacte i interpretació dels resultats

A la figura 11 es presenten els resultats globals. L'etapa amb el valor més elevat de l'Eco-indicador 99 és la de producció, per tant, és la que té un impacte més gran de tot el cicle de vida. Això es deu al fet que inclou l'extracció i engloba tots els processos de fabricació dels diferents components, amb el consum d'energia i de recursos que aquests impliquen.

La figura 12 presenta els resultats en valors relatius (el seu pes ponderat respecte del 100%). Aquest tipus de gràfic permet analitzar la composició de l'Eco-indicador 99 amb més claredat. Així, doncs, la composició de l'Eco-indicador 99 en les diferents etapes és molt similar: l'impacte més important sempre es produeix sobre la salut humana, excepte a l'etapa de producció, en què es produeix sobre la qualitat de l'ecosistema, ja que durant l'extracció, la producció i el transport, el medi queda molt afectat per les condicions en què es donen aquests processos. Sorgeixen problemes de toxicitat, d'acidificació, de

contaminació, així com un ús extens del sòl.

Aprofundint en l'etapa de producció, a les figures 13 i 14 se separa l'impacte segons els diferents components que conformen l'*smartphone*, un en termes relatius i l'altre en termes absoluts. La fabricació de la bateria és l'etapa de més impacte, ja que és la que incorpora components en més quantitat i de més perillositat. Seguidament, trobem la producció d'alumini i de coure (Altres). Val a dir que, si s'haguessin tingut en compte tots els components que integren la PCB, l'impacte seria superior atesa la gran quantitat de matèries primeres i d'energia que conté. A la figura 14 s'observa que en tots els components, excepte els plàstics, l'impacte més gran es produeix a la categoria de recursos, ja que es necessiten grans quantitats de matèries primeres i en incloure l'etapa d'extracció també es té en compte l'impacte a les mines. D'altra banda, la gran majoria de l'impacte dels plàstics es produeix sobre la salut humana. La quantitat de plàstics en el mòbil que estudiem és petita i, tot i saber que els plàstics provenen del petroli, actualment s'intenta que un percentatge cada cop més gran vingui de plàstics reciclats. Poden implicar un perill per a la salut humana a causa de la seva composició, ja que molts d'aquests plàstics contenen substàncies tòxiques, com els retardants de flama (bisfenol A ), entre d'altres. Pel que fa a la pantalla i la PCB destaca també l'impacte sobre la salut humana.

Els processos que es duen a terme per fabricar aquests dos components resulten perillosos i calen mesures de seguretat adequades, atesa la gran quantitat de dissolvents que es necessiten i la possible alliberació de vapors o gasos.

Per a l'etapa d'ús, la figura 15 mostra com en augmentar la intensitat d'ús (diferents escenaris) d'un mòbil, augmenta el valor d'impacte de l'Eco-indicador. Però és un impacte petit en comparació de l'anterior etapa de producció.

El final de vida presenta un valor d'impacte molt petit en comparació de la resta d'etapes [figura 16]. Això es deu al fet que s'està treballant amb valors molt petits de massa i que es considera que part de l'energia que requereixen els diferents processos de tractament, es recupera al final de vida en forma de peces reutilitzables, en material reciclable o en forma d'energia. Cal tenir en compte que aquesta avaluació no considera una de les sortides més comunes però més oculta que tenen els mòbils en el seu final de vida: l'exportació dels residus en països subdesenvolupats. Si es fes l'estudi en aquests països, tant l'impacte d'aquesta última etapa com l'impacte sobre l'ecosistema serien més elevats, ja que en resultarien lixiviat que contaminarien les aigües subterrànies i el sòl.

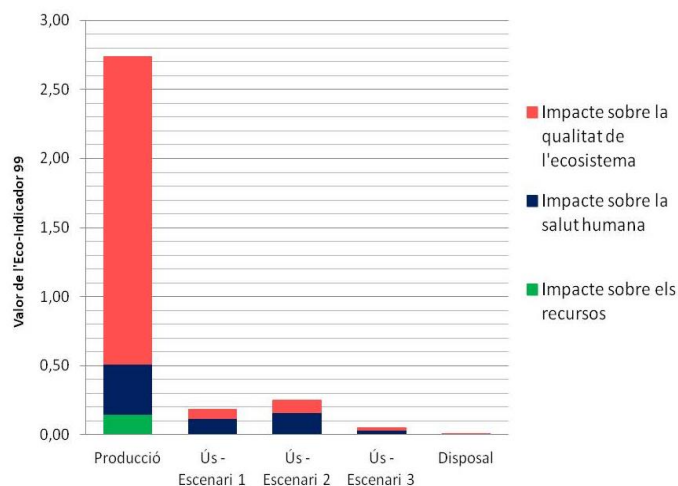


Figura 12 - Valor de l'Eco-indicador 99 de les diferents fases de vida d'un *smartphone* en termes relatius  
Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

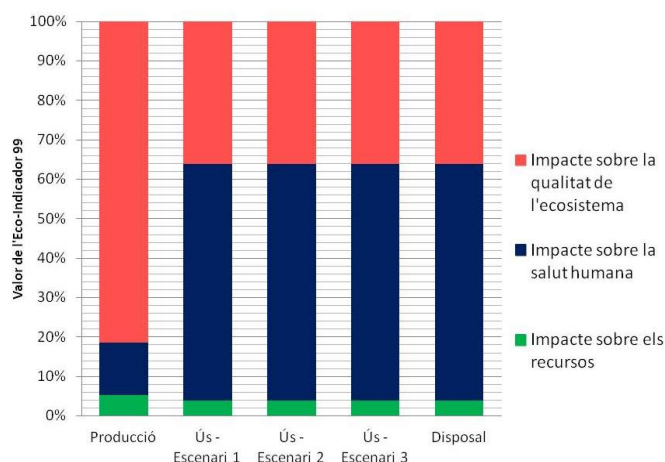


Figura 11 - Valor de l'Eco-indicador 99 de les diferents fases de vida d'un *smartphone*  
Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

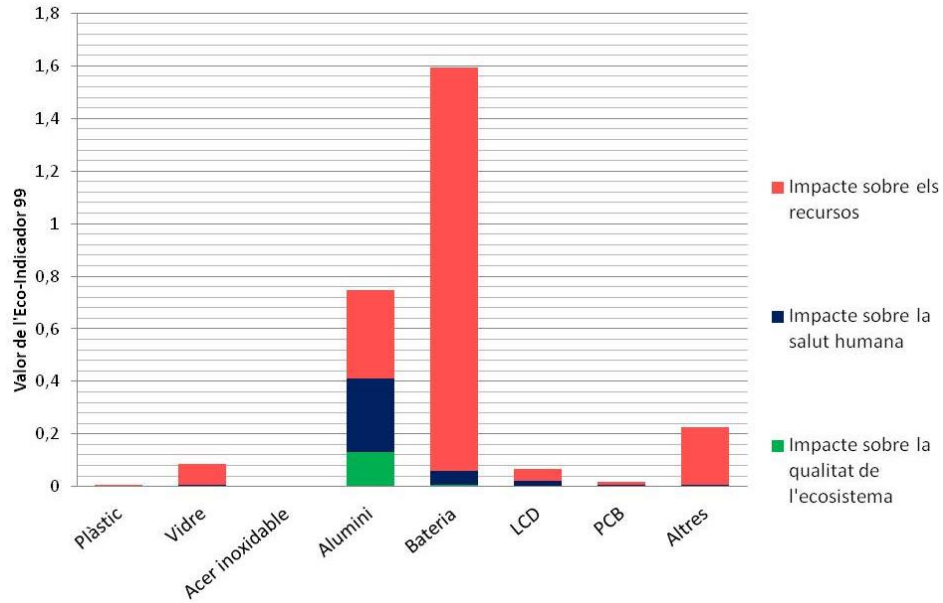


Figura 13 - Distribució d'impactes de l'Eco-indicador 99 dels diferents components de l'etapa de producció  
 Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

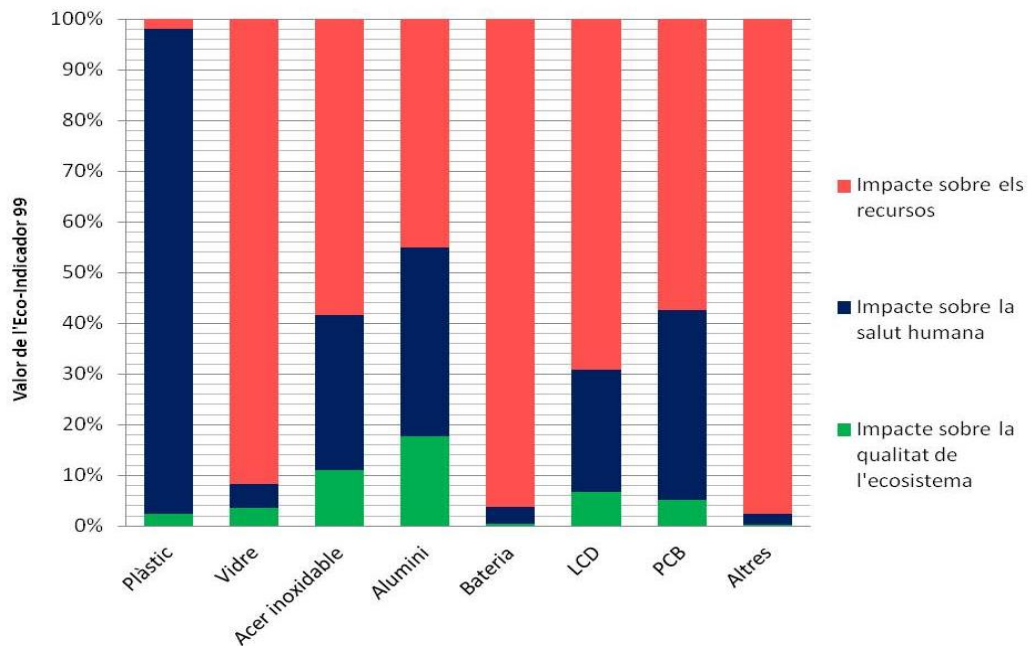


Figura 14 - Distribució d'impactes de l'Eco-indicador 99 dels components de la producció en termes relatius  
 Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

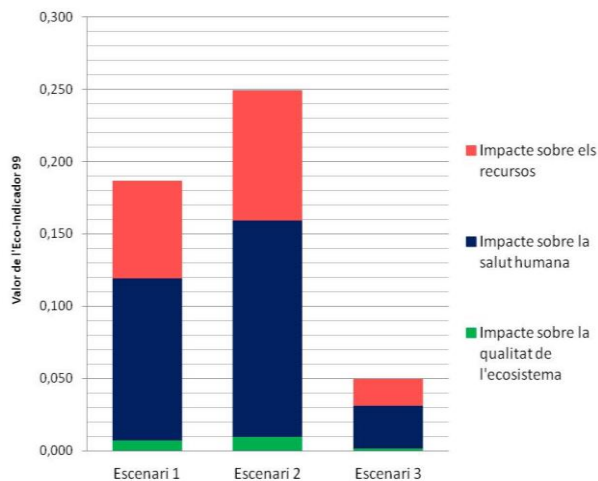


Figura 15 - Valors de l'Eco-indicador 99 i distribució d'impactes en l'etapa d'ús.  
Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

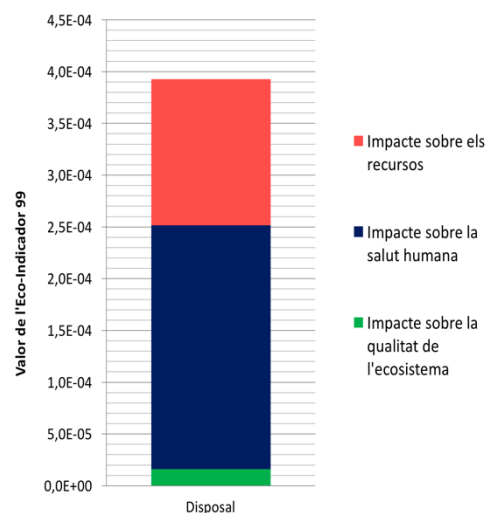


Figura 16 - Valors de l'Eco-indicador 99 i distribució d'impactes en l'etapa de final de vida.  
Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Ecoinvent

#### 4. CONCLUSIONS FINALS

L' ACV és una eina molt útil per tenir una idea clara sobre quin és l'impacte que pot tenir un *smartphone* al llarg de la seva vida útil. El valor final donat per l'Eco-indicador 99 no és gaire elevat si es compara amb dispositius com ordinadors o televisors, ateses les petites quantitats de materials amb què es treballa. Però sí que és important analitzar-ho en proporció; un mòbil, tot i tenir una mida petita, necessita molts minerals i compostos diferents i és un mercat creixent.

En resposta als objectius del projecte, s'ha analitzat el cicle de vida dels mòbils, i s'ha intentat obtenir dades de cada fase de vida tot i la dificultat que això comportava. Hi ha molta opacitat quant a l'obtenció de dades de la composició dels *smartphones* i de la seva gestió final.

La conclusió és que l'impacte més gran es produeix a l'etapa de producció i si l'objectiu és millorar l'eficiència i la

sostenibilitat d'aquests dispositius, els esforços han d'anar dirigits a millorar les tècniques de fabricació i sobretot a la recerca de nous materials alternatius als materials crítics. Com a usuaris finals pot semblar que no tenim res a fer-hi, atès que l'impacte en l'ús és molt petit i el de final de vida és mínim. Però cal anar un pas més enllà, l'augment en la intensitat d'extracció de minerals ve generada per un augment de la demanda i, en conseqüència, la vida útil s'escurça. Més enllà de la necessitat o no de canviar de mòbil tan sovint o de produir-ne nous models en molt poc temps, la gestió d'aquests residus i l'aprovisionament de minerals crítics provoquen un problema greu per al futur. Torna a ser a les nostres mans actuar ara en la mesura del possible o traslladar el problema a les generacions futures.

## Propostes de millora

La meua primera proposta de millora va dirigida a tots els usuaris i compradors de *smartphones*. Primer cal pensar bé quin és el principal motiu pel qual es té la voluntat de canviar de mòbil i evitar el consumisme de la moda del moment. La demanda té molta força, per això és molt important per quina marca i, per tant, per quins valors, ens guiem. Hi ha una iniciativa europea, Fairphone, que no solament produeix mòbils intel·ligents sinó que intenta anar més enllà conscienciant sobre les conseqüències dels mòbils i procurant que el producte que ofereixen tingui un impacte mínim sobre la salut humana i el medi ambient. [52]

Una altra proposta s'emmarca en la gestió del residu. Amb l'adaptació de la nova normativa europea i els nous objectius de reciclatge s'està intentant millorar i avançar en aquest aspecte. Altres països de la Unió Europea com Alemanya o els països nòrdics deriven en els productors de mòbils més responsabilitats de les mínimes establertes per la Directiva. Els productors haurien de contribuir plenament en la recollida i tractament

dels RAEE, no solament econòmicament sinó també, amb informes de vendes, recollides i campanyes d'educació i conscienciació d'aquest tipus de residus. També caldria crear un mecanisme de control que comprovés tots aquells dispositius catalogats com a segona mà i que s'exporten en aquestes condicions a tercers països. Els productors haurien de crear una àrea de treball dedicada a la recollida d'AEE usats, assegurar-se del seu funcionament i enviar-los a aquests països, contribuir a l'educació tecnològica allà i invertir en plantes de reciclatge amb condicions de seguretat. Tots som responsables del que arriba allà i els problemes que se'n deriven. És difícil proposar millores a les problemàtiques que provenen de l'extracció, atès que hi ha normatives a escala internacional però que s'incomplixen. Personalment, crec que l'ésser humà tendeix a preocupar-se d'allò que l'afecta directament i que per intentar solucionar aquestes problemàtiques cal involucrar a tots els actors en les diferents etapes del cicle de vida.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] GSMA ASSOCIATION. *European Mobile Observatory 2011* [en línia]. Disponible a: <<http://www.gsmamobileeconomy.com/>> [Consulta: 11 juny 2015].
- [2] SECRETARIA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. *La Sociedad en Red 2013* [en línia]. Disponible a: <[http://www.ontsi.red.es/ontsi/sites/default/files/informe\\_anual\\_la\\_sociedad\\_en\\_red\\_2013\\_ed.\\_2014.pdf](http://www.ontsi.red.es/ontsi/sites/default/files/informe_anual_la_sociedad_en_red_2013_ed._2014.pdf)> [Consulta: 9 juny 2015].
- [3] CORNING MUSEUM OF GLASS. «Types of glass» [en línia]. Disponible a: <<http://www.cmog.org/article/types-glass>> [Consulta: 17 juny 2015].
- [4] CLEAN UP. «Clean Up Mobile Phones Fact Sheet» [en línia]. Clean Up Australia Ltd, 2009. Disponible a: <<https://www.cleanup.org.au/au/CleanUpMobilePhone/>> [Consulta: 1 febrer 2015].
- [5] CLEAN UP. «What's in a Mobile Phone? – Additional Information Sheet» [en línia]. Clean Up Australia Ltd, 2007. Disponible a: <<https://www.cleanup.org.au/au/CleanUpMobilePhone/>> [Consulta: 1 febrer 2015].
- [6] BACTECH ENVIRONMENTAL CORPORATION. «Mineral Extraction and the Effects of Mining on the Environment» [en línia]. Disponible a: <<http://www.bactechgreen.com/s/ResourceCentre.asp?ReportID=429869>> [Consulta: 29 juliol 2015].
- [7] MATERIAL FLOWS. «Material Intensity by World Region 1980-2011» [en línia]. Disponible a: <<http://www.materialflows.net/trends/analyses-1980-2011/material-intensity-by-world-region-1980-2011/>> [Consulta: 29 juliol 2015].
- [8] ELECTRONICS TAKE BACK COALITION. «Where's The Harm – From Materials Extraction?» [en línia]. Disponible a: <<http://www.electronicstakeback.com/toxics-in-electronics/wheres-the-harm-extraction/>> [Consulta: 2 agost 2015].
- [9] RAISE HOPE FOR CONGO. «Conflict Minerals» [en línia]. Disponible a: <<http://www.raisehopeforcongo.org/content/conflict-minerals>> [Consulta: 2 agost 2015].
- [10] EGGERT RODERICK G. «Critical Minerals and Emerging Technologies». A: *Issues in Science and Technology* [en línia]. Disponible a: <<http://issues.org/26-4/eggert/>> [Consulta: 2 agost 2015].
- [11] RESNICK INSTITUTE. *Critical Materials for Sustainable Energy Applications* [en línia]. California Institute of Technology, setembre 2011. Disponible a: <[http://resnick.caltech.edu/docs/R\\_Critical.pdf](http://resnick.caltech.edu/docs/R_Critical.pdf)> [Consulta: 10 agost 2015].
- [12] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Critical Materials Strategy – December 2011* [en línia]. Disponible a: <[http://energy.gov/sites/prod/files/DOE\\_CMS2011\\_FINAL\\_Full.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf)> [Consulta: 10 agost 2015].
- [13] EUROPEAN COMMISSION. «Critical Raw Materials» [en línia]. Disponible a: <[http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index_en.html)> [Consulta: 13 agost 2015].
- [14] STEP – SOLVING THE E-WASTE PROBLEM. «What is E-waste?» [en línia]. Disponible a: <<http://www.step-initiative.org/what-is-ewaste.html>> [Consulta: 15 agost 2015].
- [15] EUROPEAN COMMISSION. «Waste Statistics – Electrical and electronic equipment». A: *Eurostat* [en línia]. Disponible a: <[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics\\_-\\_electrical\\_and\\_electronic\\_equipment](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment)> [Consulta: 15 d'agost 2015].
- [16] BALDÉ, C.P; WANG, F.; KUEHR, R.; HUISMAN, J. *The Global E-waste Monitor – 2014*. Bonn, Germany: United Nations University, IAS – SCYCLE, 2015.

- [17] Espanya, «RD 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos». A: *Boletín Oficial del Estado*, 21 de febrero de 2015, núm. 45, 14211-14312 p.
- [18] EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. «Design for the Environment Life – Cycle Assessment» [en línia]. Disponible a: <<http://www2.epa.gov/saferchoice/design-environment-life-cycle-assessments>> [Consulta: 16 agost 2015].
- [19] GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. (2001). *The Eco-Indicator 99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report*. Ministerie van Volkshuisvesting, Amersfoort, Països Baixos.
- [20] SONY CORPORATION. *Annual Report 2013. Business and CSR Review* [en línia]. 2013. Disponible a: <<http://www.sony.net/SonyInfo/IR/financial/ar/Archive.html>> [Consulta: 6 setembre 2015].
- [21] APPLE INC. *Environmental Responsibility – 2013* [en línia]. Disponible a: <<https://www.apple.com/environment/reports/>> [Consulta: 6 setembre 2015].
- [22] NOKIA CORPORATION. *Integrated Product Policy Pilot Project – Stage I Final Report: Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones*, 2005 [en línia]. Disponible a: <<http://ec.europa.eu/environment/ipp/mobile.htm>> [Consulta: 10 setembre 2015].
- [23] UNEP. BASEL CONVENTION. *Mobile Phone Partnership Initiative – Guidance document on the environmentally sound management of used and end-of-life mobile phones* [en línia]. 2012. Disponible a: <<http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/Partnerships/MPPI/MPPIGuidanceDocument/tabid/3250/Default.aspx>> [Consulta: 10 setembre 2015].
- [24] APPLE INC. *iPhone 5S – Environmental Report* [en línia]. Apple Inc, 2013. Disponible a: <<https://www.apple.com/environment/reports/>> [Consulta: 15 setembre 2015].
- [25] DERVISEVIC, I.; MINIC, D.; KAMBEROVIC, Ž.; ČOSOVIĆ, V.; RISTIĆ, M. «Characterization of PCBs from Computers and Mobile Phones, and the Proposal of Newly Developed Materials for Substitution of Gold Lead and Arsenic». A: *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* Vol. 20. 2013. 4278-92 p.
- [26] HARUE YAMANE, L.; TAVARES DE MORAES, V.; CROCCE ROMANO ESPINOSA, D.; SOARES TENORIO, J.A. «Recycling of WEEE: Characterization of Spent Printed Circuit Boards from Mobile Phones and Computers». A: *Waste Management*. Vol.31. 2011. 2553-2558 p.
- [27] WILLIAMS, J.H.; WILLIAMS, T. «Separation and Recovery of Materials from Scrap Printed Circuit Boards». A: *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 51. 2007. 691-709 p.
- [28] HUANG, K.; GUO, J.; XU, Z. «Recycling of Waste Printed Circuit Boards: A Review of Current Technologies and Treatment Status in China». A: *Journal of Hazardous Material*. Vol. 164. 2009. 399-408 p.
- [29] HOLMQVIST, J.K. *Sony Mobile Critical Substances*. Company Internal Directive. 2012. 1-16 p.
- [30] LEVONAS, E. «What's in my Cell Phone?» *US Geological Survey*. 2010. 1-2 p.
- [31] FREY, S.D.; HARRISON, D.J.; BILLET, E.H. «Ecological Footprint Analysis Applied to Mobile Phones». *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 10. 2006. 199-216 p.
- [32] GSMA ASSOCIATION. *Mobile Phone Lifecycles – Use, Take-back, Reuse and Recycle* [en línia]. 2006. Disponible a: <<http://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/03/environmobilelifecycles.pdf>> [Consulta: 17 setembre 2015].
- [33] FAIRPHONE. «Next step in Life Cycle Assessment: Inventory Analysis» [en línia]. Disponible a: <<https://www.fairphone.com/2014/06/20/next-step-in-life-cycle-assessment-inventory-analysis/>> [Consulta: 17 setembre 2015].

- [34] BUZATU, M.; MILEA, N.B. «Recycling the Liquid Crystal Displays». *U.P.B. Sci. Bull. Series B*, Vol. 70. 2008.
- [35] CARROLL, A.; HEISER, G. «An Analysis of Power Consumption in a Smartphone». *USENIX Conference on USENIX Annual Technical Conference*. Califòrnia, Estats Units: juny 2010. 1-21 p.
- [36] YU, J.; WILLIAMS, E.; JU, M. «Analysis of Material and Energy Consumption of Mobile Phones in China». *Energy Policy*. Vol. 38. 2010. 4135-4141 p.
- [37] DARNELL GROUP. [En línia]. Disponible a: <<http://www.darnell.com/About/>> [Consulta: 20 setembre 2015].
- [38] IEEE. «Publications & Standards» [en línia]. Disponible a: <[http://www.ieee.org/publications\\_standards/index.html](http://www.ieee.org/publications_standards/index.html)> [Consulta: 3 agost 2015].
- [39] U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Commodity Summaries* [en línia]. 2015. Disponible a: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>> [Consulta: 3 agost 2015].
- [40] BASTIDA SANVISENS, Andrea. *Gestió dels residus dels telèfons mòbils*. Directores: Gara Villalba Méndez i Laura Talens Peiró. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, setembre 2012. Treball de fi de grau.
- [41] ROBINSON, B.H. «E-waste: An Assessment of Global Production and Environmental Impacts». *Science of the Total Environment*. Vol. 408. 2009. 183-191 p.
- [42] UNEP. BASEL CONVENTION. *Mobile Phone Partnership Initiative – Guidance Document on the Environmentally Sound Management of Used and End-of-Life Mobile Phones* [en línia]. 2012. Disponible a: <<http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/Partnerships/MPPI/MPPIGuidanceDocument/tabid/3250/Default.aspx>> [Consulta: 10 setembre 2015].
- [43] *European Recycling Platform* [en línia]. Disponible a: <<http://www.erp-recycling.es/>> [Consulta: 16 octubre 2015].
- [44] ONGONDO, F.O; WILLIAMS, I.D.; CHERRETT, T.J. «How are WEEE doing? A Global Review of the Management of Electrical and Electronic Waste». A: *Waste Management*. Vol. 31. 2010. 714-730 p.
- [45] MANCOMUNITAT D'ESCOMBRARIES DE L'URGELLET. [En línia]. Disponible a: <<http://www.meu.cat/>> [Consulta: 16 octubre 2015].
- [46] FUNDACIÓN ECO-RAEE'S. [En línia]. Disponible a: <<http://www.eco-raee.com/>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [47] ELECTRORECYCLING. [En línia]. Disponible a: <<http://www.electrorecycling.net/ca>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [48] RECYCLIA. [En línia]. Disponible a: <<http://www.recyclia.es/>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [49] FUNDACIÓ ECOTIC. [En línia]. Disponible a: <<http://www.ecotic.es/>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [50] ACS RECYCLING. Disponible a: <<http://www.acsrecycling.es/>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [51] UMICORE. [En línia]. Disponible a: <<http://www.umicore.com/>> [Consulta: 17 octubre 2015].
- [52] FAIRPHONE. «Next step in Life Cycle Assessment: Inventory Analysis» [en línia]. Disponible a: <<https://www.fairphone.com/2014/06/20/next-step-in-life-cycle-assessment-inventory-analysis/>> [Consulta: 12 març 2015].