

ELS MATERIALS EN LA TRANSICIÓ ENERGÈTICA

Carles Riba Romeva

UPC - CAMPUS DEL BESÒS

Barcelona, 9 de febre de 2023

Índex

1. Crisi energètica i transició a les fonts renovables
2. Canvis de naturalesa de les energies renovables
3. Els materials en l'itinerari energètic integral
4. Energia i emissions grises dels materials
5. Emissions grises d'energia i de procés
6. La gestió dels materials i l'economia circular
7. La recerca en materials a la UPC

1. CRISI ENERGÈTICA I TRANSICIÓ A LES FONTS RENOVABLES

Totes les formes de vida i totes les activitats humanes requereixen energia.

Quan els humans parlem d'energia volem dir formes d'energia capaces de ser dirigides per nosaltres, en el lloc, en el moment i en intensitat (potència) vers els objectius desitjats. En definitiva, estem parlant de vectors energètics.

Durant els darrers decennis, en un procés que va començar en la revolució Industrial amb l'invent de la màquina de vapor i l'ús del carbó, els nostres vectors energètics fonamentals han estat (i encara són) els combustibles fòssils.

La crisi energètica actual és la crisi dels fòssils per dues causes:

1. Perquè amb l'ús intensiu que en fem avui dia, aquests recursos finits comencen a donen símptomes del seu declivi;
2. La crema dels combustibles fòssils genera gasos d'efecte hivernacle que estan modificant el clima en un sentit perjudicial per a la sostenibilitat de l'espècie humana.

- Comença a haver-hi un gran consens en què l'alternativa és una transició energètica vers fonts renovables: fonamentalment la radiació solar i les seves derivades, corrents d'aigua (terrestres i marítims, vents i biomassa).
- hi ha la temptació de focalitzar aquesta transició només en l'obtenció d'energia: la simple substitució d'unes fonts per unes altres.
- Tanmateix, la diferent naturalesa d'unes fonts i altres (els fòssils i nuclears i les principals renovables) fa que aquesta transició tan simple no sigui possible.
- El pas a les fonts renovables afectarà tots les bases del sosteniment de la vida humana i les seves activitats i, per tant, s'haurà de resoldre amb un canvi de civilització.
- El quadre següent mostra els principals canvis en la naturalesa de les fonts, on s'assenyala en color marró és aspectes que generen dificultats i, en verd, els que ofereixen oportunitats.

2. Canvis de naturalesa de las fonts energètiques

	Fonts no renovables	Fonts renovables
1. Fonts	Les fonts principals proporcionen combustibles que generen calor	Les fonts principals proporcionen electricitat
2. Intensitat	Fonts molt intensives en energia. Es troben en el subsòl	Fonts poc intensives en energia. Calen grans superfícies de captació
3. Gestió	Són recursos d'estoc que faciliten la gestió de l'oferta	Són recursos de flux que aconsellen la gestió de la demanda
4. Magatzem	Són recursos emmagatzemables	Requereixen sistemes massius d'emmagatzematge d'electricitat
5. Accessibilitat	La seva extracció exigeix grans empreses, mitjans y capital	Són fonts distribuïdes y escalables, accessibles a la ciutadania
6. Rendiment	Rendiments baixos en transformar-se en electricitat i en mobilitat	Rendiments alts en totes les aplicacions

- El nou sistema energètic renovable **requerirà més atenció en la gestió** (especialment pel que fa al tema de l'emmagatzematge) però, alhora, obre unes noves oportunitats de fer el **sistema més participatiu i més resilient**.

No renovables

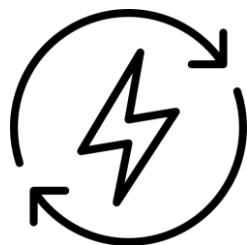


tèrmiques



elèctriques

Renovables



No renovables



molt intensives



poc intensives



Renovables



Recursos d'estoc



Recursos de flux



Gestió de l'oferta



Gestió de la demanda



3. ELS MATERIALS EN L'ITINERARI ENERGÈTIC INTEGRAL

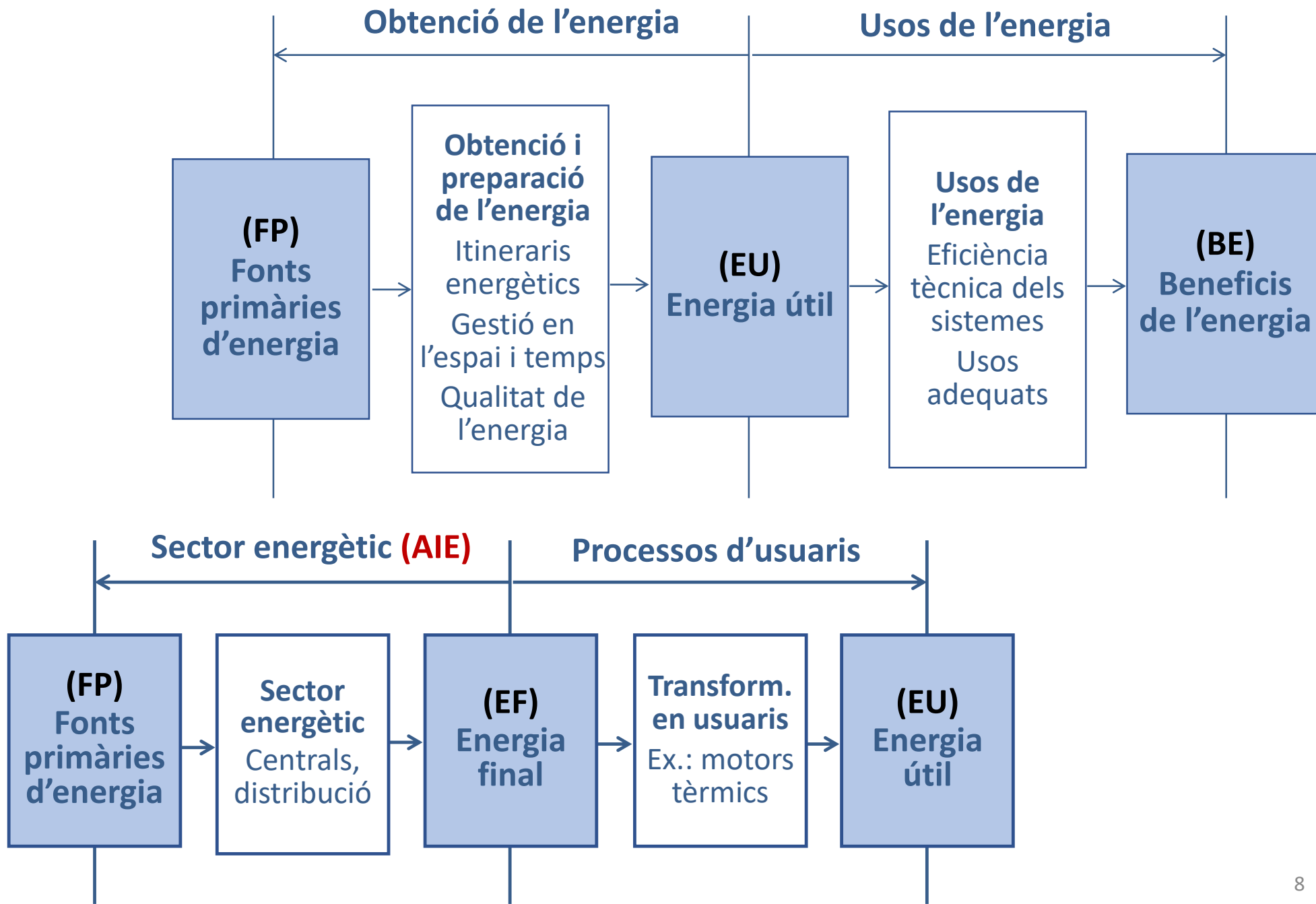
El sistema energètic actual, basat en unes poques empreses que transformen les **energies primàries** (majoritàriament fòssils i nuclears) en els vectors energètics (electricitat i combustibles d'usuari) que venen als usuaris i que en els balanços energètics de l'AIE s'agrupen sota el nom d'**energia final**.

Això ha acostumat als usuaris (les llars i les activitats econòmiques) a disposar de grans quantitats d'energia tan sols limitades pels preus; per tant, l'atenció s'ha centrat en l'obtenció (en el llenguatge comú, producció) d'energia.

Tanmateix, després de l'energia final, els usuaris també efectuen transformacions abans de l' **energia útil**, com és la transformació de l'energia química dels carburants en mecànica a les rodes o hèlices dels vehicles.

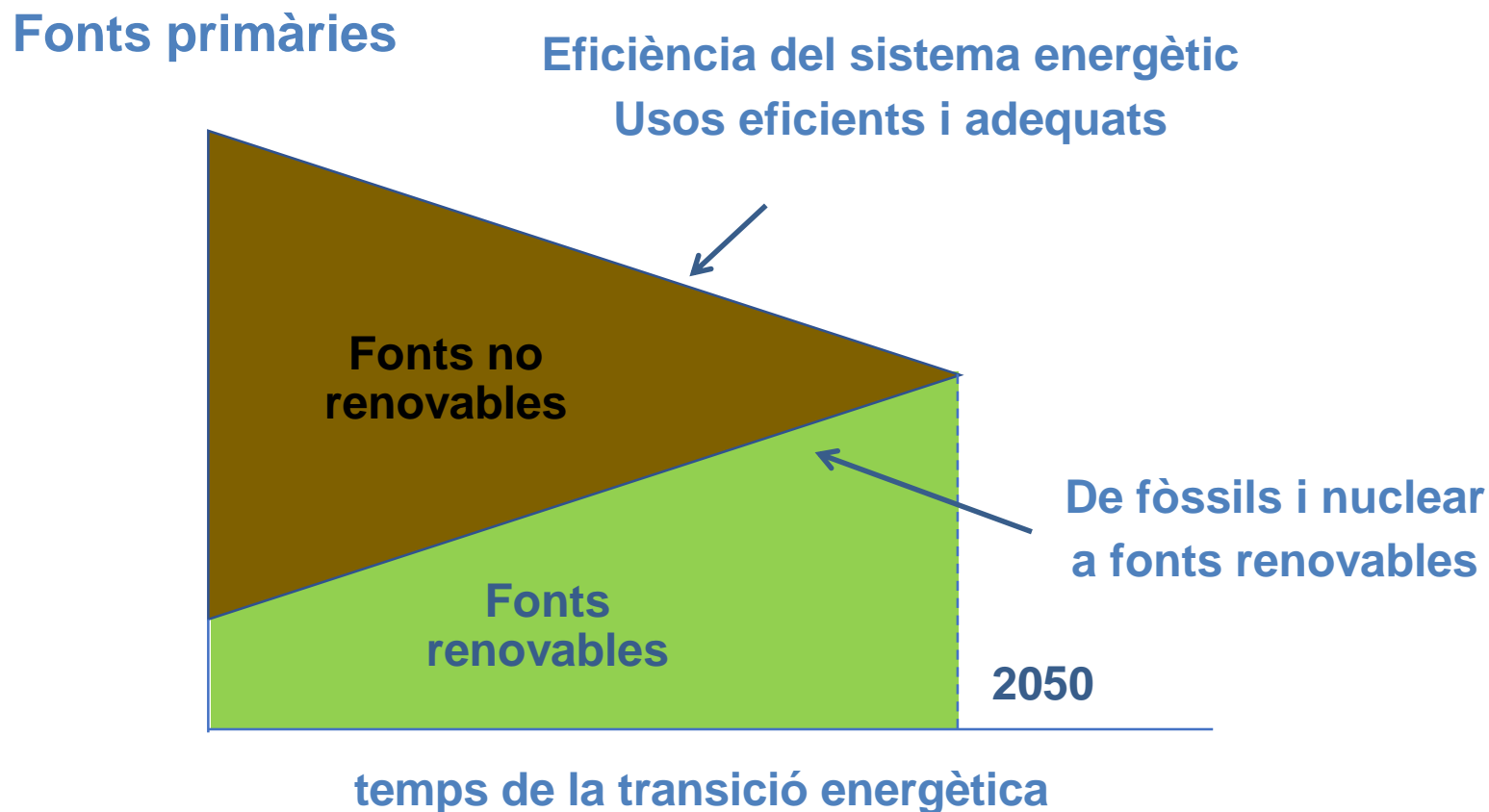
Els itineraris de l'energia continuen amb els usos. En la transició vers les energies renovables (menys intenses), les transformacions en els sistemes d'obtenció de l'energia seran tan important com l'**eficiència en els usos**.

Itinerari integral de l'energia



Transició energètica i itinerari integral de l'energia

Vist des d'un altre punt de vista, transició energètica significa anar substituint les fonts d'energia no renovables per renovables. Però aquesta substitució serà tant més fàcil com més estalvis i bons usos fem de l'energia



3. ELS MATERIALS EN L'ITINERARI ENERGÈTIC INTEGRAL

Entre les activitats de la indústria i la construcció, l'obtenció dels materials sol comportar els processos que requereixen més energia. La conformació posterior, els muntatges i altres tasques de la fabricació consumeixen una part petita de l'energia. Per exemple, la **fabricació d'un automòbil pot requerir uns 25.000 kWh dels quals el 80 % correspon als materials.**

En la taula següent hi figuren els 20 materials amb impactes més grans en energia i emissions grises.

Les quantitats produïdes en el món s'han obtingut de United States Geological Survey (USGS) <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/commodity-statistics-and-information> amb dades de l'any 2019.

Les intensitats energètiques (MJ/kg) i d'emissions (kgCO₂/kg), són de la guia BSRIA, *The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Universitat de Bath.

https://www.bsria.com/uk/product/dDJAnX/embodied_carbon_the_inventory_of_carbon_and_energy_ice_bg_102011_a15d25e1/

Taula. MÓN: Energia i emissions grises dels primers 20 materials (2019)								
	Materials	Massa	Energia			Emissions		
		Tg	MJ/kg	TWh/a	%	kgCO ₂ /kg	TgCO ₂ /a	%
1	Acers i foses	1.811,3	24,0	12.068	7,76%	1,74	3.150	8,58%
2	Polímers	455,6	88,3	11.180	7,19%	2,58	1.176	3,20%
3	Ciment	4.100,0	4,5	5.125	3,19%	0,74	3.034	8,27%
4	Alumini	93,2	157,6	4.080	2,62%	9,28	865	2,36%
5	Paper	419,7	24,8	2.891	1,86%	1,29	541	1,48%
6	Maons	3.405,0	3,0	2.838	1,82%	0,24	817	1,48%
7	Amoníac (N)	115,5	58,7	1.883	1,21%	5,65	653	2,23%
8	Asfalt (5% betum)	1.600,0	3,4	1.507	0,97%	0,07	114	1,78%
9	Fusta	625,0	7,1	1.234	1,02%	0,45	281	0,31%
10	Crom	41,0	83,0	945	0,608%	5,39	194	0,17%
11	Sorra i grava	28.000,0	0,081	630	0,405%	0,005	140	0,53%
12	Coure	26,0	63,0	455	0,293%	3,45	90	0,38%
13	Manganès	20,3	52,0	291	0,187%	3,50	71	0,19%
14	Zenc	12,8	61,9	220	0,141%	3,31	42	0,12%
15	Vidre	52,0	15,0	217	0,139%	0,91	47	0,13%
16	Fosfat (P2O5)	43,8	17,1	208	0,134%	1,09	48	0,13%
17	Níquel	2,2	164,0	98	0,063%	12,40	19	0,05%
18	Potassa (K2O)	33,6	8,8	82	0,053%	0,52	17	0,05%
19	Plom	11,6	25,2	81	0,052%	1,67	19	0,05%
20	Guix	154,0	1,8	77	0,049%	0,12	18	0,05%
	20 materials	41.134,9	3,1	47.734	29,88%	3,61	11.401	31,54%
	Sistema energètic			155.590	100,0%		36.700	100,0%

L'**ACER** és el material (metall i no metall) que es troba en primera posició: és el metall que produeix en quantitats més grans (**1.811 milions de tones**) i la seva obtenció (en el mix d'acer de primera obtenció i d'acer reciclat) requereix el **7,76 % de l'energia** del sistema tècnic humà i genera el **8,58 % de les emissions**.

El **CIMENT** és el segon material en importància; se'n produeix **4.100 milions de tones** que requereixen el **3,19 % de l'energia** però, sobretot, genera el **8,27 % de les emissions**. Part important de les emissions són de procés (s'analitza més endavant)



Dels **PLÀSTICS** (en conjunt) se'n produeixen **455,6 milions de tones** amb l'aportació del **7,19 % de l'energia** i genera el **3,20 % de les emissions**. Cal tenir en compte que s'inclou l'energia del petroli no consumida ja que es transforma en material.

L'**ALUMINI** és el segon metall en importància; se'n produeix (en el mix de primera obtenció i de metall reciclat) **93,2 milions de tones** que requereixen el **2,62 % de l'energia** i genera el **2,36 % de les emissions**.



4. ENERGIA I EMISSIONS GRISES

Qualsevol energia és utilitzada de forma explícita en algun procés o altre.

Tanmateix, des del punt de vista de l'usuari (sigui final o intermedi), els conceptes d'**energia grisa** (i d'**emissions grises**) són unes eines molt potents per analitzar les implicacions energètiques i ambientals de qualsevol bé o servei.

EXEMPLE: l'**energia directa** és la que usa i paga l'usuari d'un automòbil (6,2 l/100 km, o 0,55 kWh/km). Però, per fer-la efectiva en forma de mobilitat, han calgut altres energies i emissions anteriors que constitueixen l'**energia** i **emissions grises**.

El fer arribar el carburant al dipòsit ha estat necessari extreure el petroli, refinar-lo i transportar-lo. L'**energia grisa del carburant** és de 0,10 kWh/km

A fi que els petroli pugui transformar-se en mobilitat, cal construir i mantenir el vehicle. Si construir i mantenir el vehicle requereix 30.000 kWh i la vida del vehicle és de 200.000 km, l'**energia grisa del vehicle** és de 0,15 kWh/km.

Encara caldria estimar l'**energia grisa de les infraestructures**, més difícil d'avaluar

A continuació es donen alguns valors d'energies i emissions grises.

Producte	Unitat de referència	Energia grisa	Emissions grises
		kWh	kgCO ₂
Electricitat en una central de carbó	1 kWh	1,80	0,25
Electricitat en una central de CC de gas	1 kWh	1,25	0,12
Gas natural liquat (1 Nm ³ = 11,7 kWh)	1 m ³ (1 kWh)	3,65 (0,31)	0,90 (0,08)
Gasolina (1 litre = 8,9 kWh)	1 litre (1 kWh)	1,60 (0,18)	0,45 (0,05)
Habitatge (plurifamiliar, convencional)	90 m ²	145.000	50.000
Automòbil de motor tèrmic	1.400 kg	25.000	5.500
Automòbil elèctric de bateria	60 kWh	40.000	9.000
Ordinador laptop	unitat	1.250	330
Mòbil	unitat	280	65
Blat	1 kg	4,5	1,6
Carn de porc	1 kg	5,5	5,2

5. EMISSIONS GRISES D'ENERGIA I DE PROCÉS

Tot consum d'energia en el sistema energètic actual va associat, amb major o menor grau, a emissions de CO₂; per això l'obtenció de maons, de fusta o d'asfalt (materials que es troben a la naturalesa) donen lloc a emissions pel consum d'energia (**emissions d'energia**).

Hi ha altres materials on les emissions de gasos d'efecte hivernacle també van associades a processos de transformació dels materials, com és el cas de la reducció dels òxids de ferro amb carbó per obtenir les foses i els acers o la descomposició de la pedra calcària en la fabricació del ciment (**emissions de procés**).

Les emissions de procés no s'eliminen amb una simple transició vers l'ús d'energies verdes, sinó que cal canviar de procés.

En l'obtenció del ferro en els forns alts, el carbó proporcionar alhora energia i redueix l'oxigen, processos que es poden descarbonitzar amb la utilització d'hidrogen verd. Suècia, Alemanya i Àustria han iniciat experiències pilot amb aquesta nova tecnologia.

En la fabricació del ciment, la calcinació de la pedra calcària va associada indisolublement a l'alliberament de CO₂ (emissions de procés); en aquest cas, la descarbonització és més complexa i cal optar per materials alternatius.

Planta pilot d'HYBRIT (Suècia), on es proven tècniques per substituir el carbó en la fabricació de l'acer per H₂ i electricitat verda.



Aquest vídeo obvia el principal problema de la sostenibilitat futura del ciment:

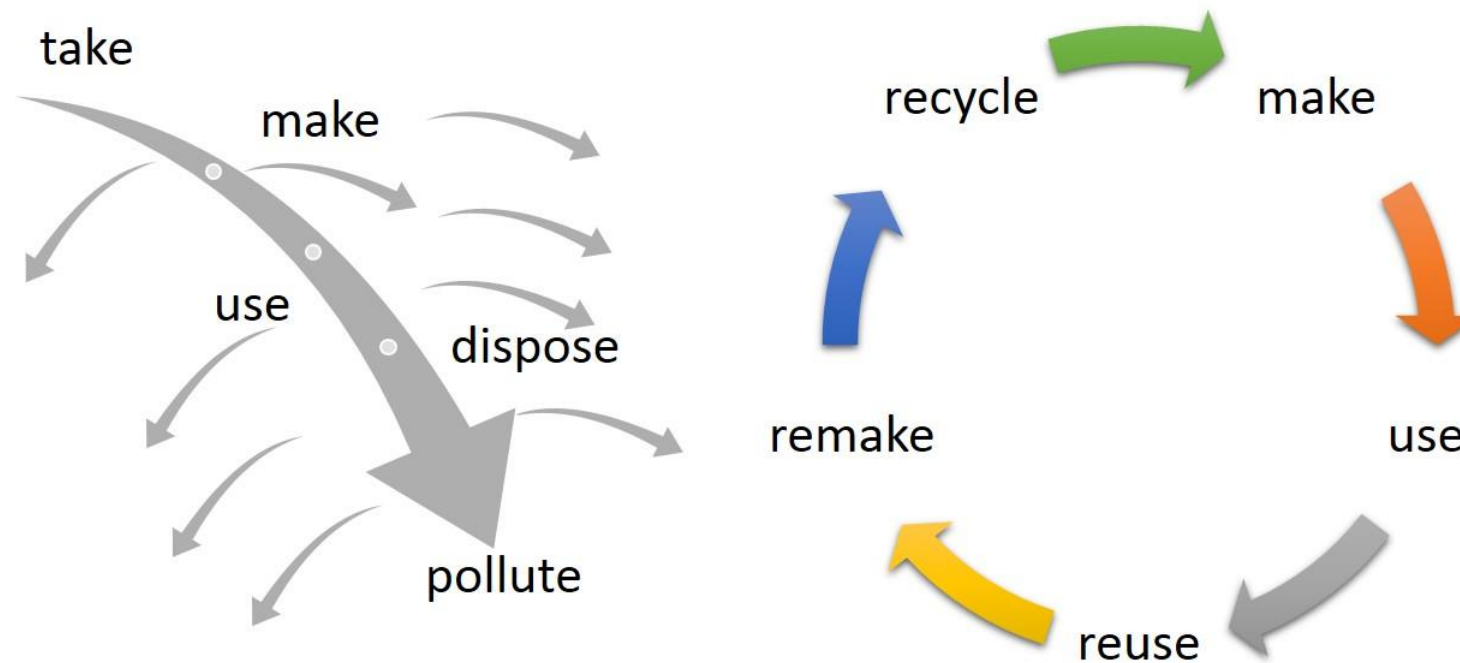
LES EMISSIONS DE PROCÉS

<https://www.youtube.com/watch?v=8pQd5YkkC9Y>



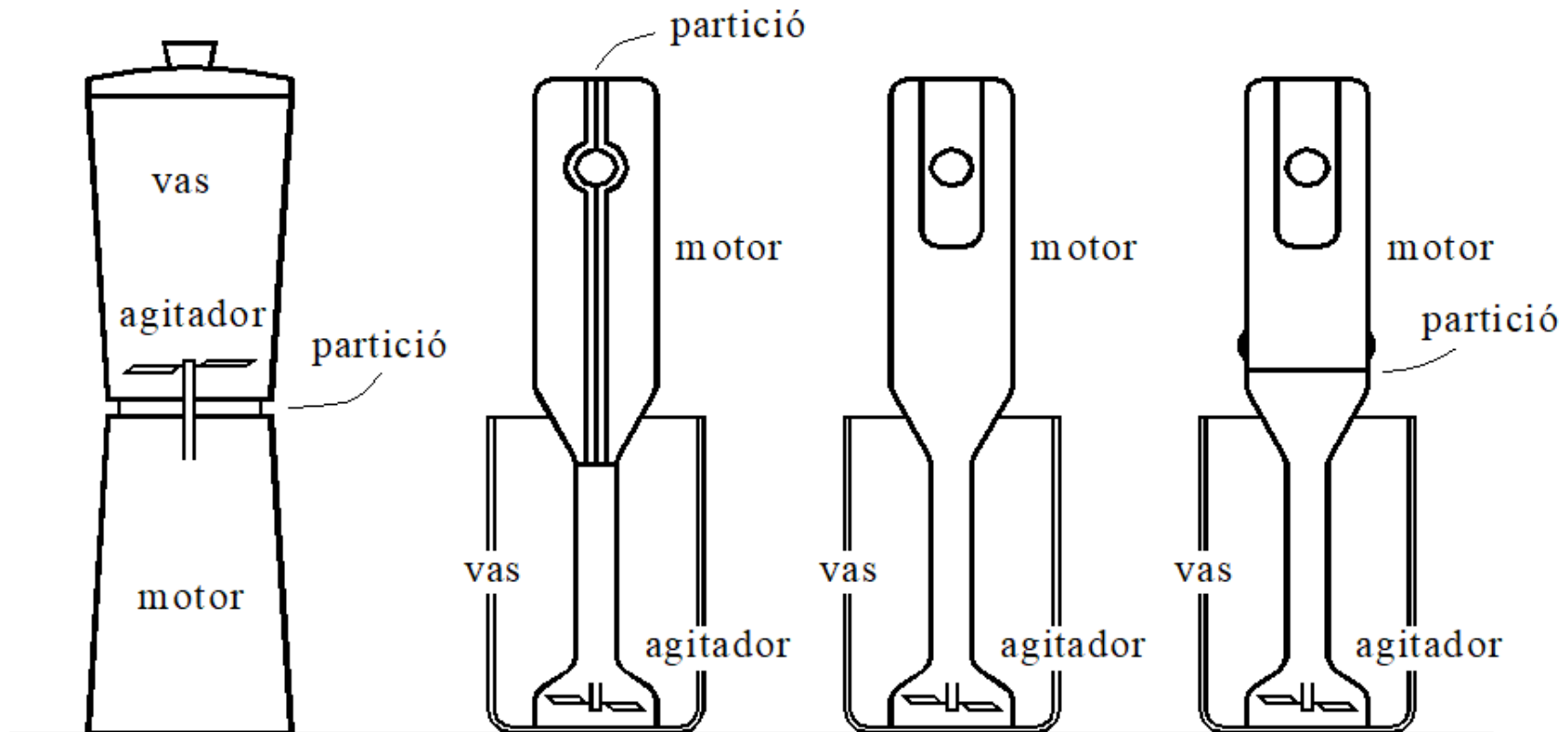
6. LA GESTIÓ DELS MATERIALS I L'ECONOMIA CIRCULAR

A diferència de l'economia lineal, l'**economia circular** és un model de producció i consum on els materials, productes i serveis són dissenyats per a durar i tornar a entrar en la cadena de valor industrial un cop ja no es poden fer servir, tot eliminant tòxics i usant energies renovables: una economia regenerativa per disseny.



CC 3.0 Catherine Weetman 2016

Amb els combustibles fòssils, el concepte d'economia lineal (**extreure-usar-llançar**) s'ha anat imposat tot passant de la **reparació**, a la **substitució de components** i al **rebuig del producte sencer**.



També s'han fomentat els **productes d'un-sol-ús** o els **productes d'usar-i-llançar**

El declivi de l'era dels fòssils posa fi al progrés de l'economia lineal i el retorn vers l'economia circular, que emula molts dels processos exitosos dels éssers vius a la naturalesa. En les circumstàncies actuals, aquest retorn a l'economia circular és més complex atesa la dimensió de la humanitat (10 cops la població de mitjans dels segle XVIII) i el nivell de desenvolupament (50 cops els usos energètics de mitjans del segle XVIII). Reciclar els materials té els següents efectes:

- a) Disminueix la necessitats de noves extraccions, aspecte especialment important en materials escassos.
- b) Disminueix les necessitats d'energia: en general, els materials reciclats requereixen una energia molt menor que en la primera obtenció (l'acer de primera obtenció, 10 kWh/kg; reciclat, 2,5 kWh/kg)
- c) Contribueix a resoldre el tema dels residus i, sovint, també de la contaminació.
- d) Crea noves activitats i nous mercats.

7. LA RECERCA EN MATERIALS A LA UPC

L'obtenció dels materials va associada a l'ús de més del 30% de l'energia i a l'emissió de més del 30% dels gasos d'efecte hivernacle.

La UPC, universitat politècnica, està en unes condicions immillorables per abordar la recerca en materials. Però aquesta recerca **NO S'HA DE LIMITAR** a l'obtenció i la cerca de nous materials, sinó en tots les etapes del seu cicle de vida. En concret:

1. Nous processos d'obtenció **poc intensius en energia i lliures d'emissions**
2. **Allargar la vida o reutilitzar** els components i els **productes existents**
3. Fer recerca per reciclar els materials a la fi de la seva vida; especialment els **d'elevada complexitat** com l'electrònica
4. Promoure nous dissenys amb materials **poc intensius en energia, lliures d'emissions i reciclables**
5. Dissenyar per a **llargues vides**, per a la **reutilització i el reciclatge**. Eliminar l'obsolescència

1. Estalviar, reduir el volum de materials usats

Promoure el disseny concurrents orientat a:

- Alleugerir les construccions i els productes
- Minimitzar o eliminar els materials innecessaris, sobretot els més intensius en energia i emissions
- Evitar les estratègies d'usar-i-llançar i els productes-d'un-sol-ús.

Per exemple: evitar els sobrants i les deixalles; promoure els envasos retornables; alleugerir els productes, en especial els vehicles; facilitar els usos i les neteges; disminuir les obsolescències.



2. Reutilitzar o reciclar components i materials

Des del disseny, evitar les barreges de materials, facilitar la separació dels components, bandejar l'obsolescència programada i minimitzar la sobrevinguda; des del manteniment, allargar la vida de les edificacions i dels productes, reparar els components.

**Per exemple: Rehabilitar els edificis.
Potenciar la recollida de materials, el seu reciclatge i la seva valorització.**

El reciclatge de molts metalls comporta estalvis d'energia (i evita emissions) d'entre el 60 i el 90% de l'energia de la primera obtenció.



3. Canviar els processos d'obtenció.

Avui dia, molts dels processos d'obtenció dels materials estan adaptats a les característiques dels combustibles fòssils: energies intensives i despreocupació per les emissions de CO_2 . Cal fer un gran esforç de recerca per redissenar els processos d'obtenció de molts d'ells per adaptar-los a les energies renovables.

Per exemple: Aprofitar la biomassa; Gestionar els boscos; Substituir el gas natural per hidrogen o biogàs en les indústries metal·lúrgica i ceràmica, i per hidrogen verd en l'obtenció d'adobs nitrogenats; Reduir els òxids de ferro amb hidrogen.



4. Trobar substituïts a certs materials.

En l'obtenció del ciment es produeixen emissions de procés, independentment de si l'energia usada és fòssils o verda.

En alguns casos (com aquest), o bé caldrà trobar un material lliure d'emissions amb característiques semblants, o bé eliminar-lo (o restringir el seu ús) i dissenyar els productes amb altres materials i altres tecnologies.

Per exemple: la construcció amb formigó (que usa molt ciment) es podria substituir per maons, pedres o fusta; o tornar als marcs de portes i finestres de fusta (que ara poden ser tractades) per evitar l'ús d'alumini, gran consumidor d'energia.





Carles Riba Romeva

President de l'associació CMES

Professor emèrit de la Universitat Politècnica de Catalunya

www.cmes.cat

carles.riba@upc.edu