



L'educació per al nou paradigma energètic i climàtic

Carles Riba Romeva
Professor emèrit de la UPC. President de CMES
carles.riba@upc.edu

Jordi Pujol Soler
Enginyer industrial. Membre de junta de CMES
jpujolsoler@gmail.com

Resum • Davant de la greu crisi energètica i climàtica d'origen antropològic en què estem entrant, el present article posa de relleu la gran responsabilitat del sistema educatiu en la preparació de les futures generacions per a un nou paradigma, de forma que puguin ser conscients i participar del debat social sobre la transició energètica i disposar d'informació suficient per anar-se formant un criteri propi. Les tecnologies basades en fonts energètiques i recursos renovables poden ser una alternativa a la crisi, però requeriran un canvi substancial en els comportaments humans i un esforç ingent de construcció de les noves infraestructures. L'article, basat en les ponències dels autors en la Jornada TERbaix celebrada a Citilab (Cornellà de Llobregat) el dia 6 de setembre de 2019, també proporciona unes primeres dades i reflexions sobre la fi del sistema fòssil i la factibilitat tècnica i econòmica de la transició vers el nou paradigma renovable, amb la intenció que estimuli i sigui d'utilitat per a la tasca que han d'emprendre els ensenyants.

Paraules clau • educació, transició energètica, emergència climàtica, nou paradigma

Education for the new energy and climate paradigm

Abstract • In the face of the severe climate and energy crisis of anthropological origin we are entering, this article highlights the great responsibility of the education system on preparing the future generations for a new paradigm, so that they can be aware and participate in the social debate on the energy transition and so they can have enough information to form their own criteria. Technologies based on renewable sources of energy and renewable resources may be an alternative to crisis, but they will require a substantial change in human behaviors and a huge effort to build new infrastructures. The article, based on the authors' presentations at the TERbaix Conference held in Citilab (Cornellà de Llobregat) on September 6th, 2019 also provides first-hand insights and reflections on the end of the fossil system and the technical and economic feasibility of the transition to the new renewable paradigm, with the intention that it will stimulate and be useful for the task that teachers are to undertake.

Keywords • education, energy transition, climate emergency, new paradigm

ANÀLISI DE SITUACIÓ

Des de fa unes dècades, els científics constaten que la temperatura mitjana de la Terra augmenta progressivament i, a poc a poc, altera les condicions de la vida sobre el planeta i, de manera especial, la forma actual de civilització humana

Els científics també han establert una correlació entre l'augment de la temperatura i l'increment de les emissions de CO₂ a l'atmosfera causades per la crema massiva de combustibles fòssils iniciada fa uns 200 anys amb la revolució industrial.

Per altre costat, el ràpid progrés material de la nostra societat ha estat possible gràcies a disposar d'energia abundant i barata en una economia fins ara en continu creixement.

Avui, el 80% de l'energia del món procedeix de la crema de combustibles fòssils i el 95% del transport es basa en els derivats del petroli sense que, per ara, es disposi dels mitjans necessaris per obtenir i gestionar les fonts alternatives d'energia.

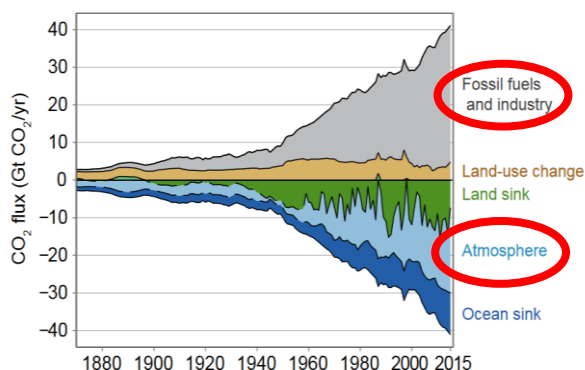


Figura 1: Emissions de gasos d'efecte hivernacle en el darrer segle i mig; emissors a la part superior i receptors a la part inferior [USGSRP-2017, figura 2.7]

La figura 1 mostra de forma clara les variables del problema: el principal causant de les emissions acumulatives a l'atmosfera de CO₂ (i altres gasos d'efecte hivernacle) és la crema dels combustibles fòssils i, una part molt menor, dels canvis d'ús dels sòls); mentre que el receptor inicial del CO₂ emès és la pròpia atmosfera, on causa el canvi climàtic, i des d'on una part és absorbit pels oceans, i causa la seva acidificació, i una altra part és absorbida en

l'àmbit de les terres emergides, especialment per mitjà de la vegetació.

Els beneficis i les comoditats de l'ús dels combustibles fòssils

Els humans de les societats riques actuals ens hem acostumat tant als beneficis i a les comoditats de disposar d'un gran cabal d'energia que ja no tenim present els esforços de les generacions passades per la subsistència.

En les societats recol·lectores-caçadores cada ésser humà disposava d'una energia addicional de l'ordre de la qual proporcionava el seu propi cos; en les societats agrícoles, l'energia externa va créixer d'unes quatre fins a deu vegades la del seu propi cos; ara, aquesta relació és d'unes 25 vegades en el conjunt del món, d'unes 50 vegades a Europa i d'unes 100 vegades als Estats Units d'Amèrica.

Atès que el 80% d'aquesta energia addicional es basa en els combustibles fòssils i, l'ús a través de la crema és la causa principal de l'escalfament global de la Terra, la humanitat està davant d'un problema greu que, per resoldre'l requereix construir un nou paradigma. La sociòloga italiana Valeria Bello diu "el que és veritablement sobirà és el planeta, no pas l'home. Si no en prenem consciència, l'espècie humana s'extingirà" [Vergés-2019].

Què fem, doncs? Amaguem el cap sota l'ala en el soroll del dia a dia, o reaccionem?

I, quina és la funció dels educadors? Continuem com fins ara, o ens concentrem a formar les noves generacions per a aquest nou repte?

De tot això en parlem en els propers apartats.

L'OBSESSIÓ PEL CREIXEMENT

En una Terra finita, el metabolisme humà actual està davant d'una doble situació crítica: en l'entrada avança vers l'exhauriment o malbaratament dels recursos bàsics que l'alimenten (especialment els combustibles fòssils); i, a la sortida, els residus i les emissions generen impactes que desequilibren els ecosistemes que sostenen la vida (de forma destacada, el canvi climàtic).

En aquest segon part del text s'analitzen alguns aspectes relacionats amb els processos metabòlics

que reforcen la percepció que estem davant d'un canvi de paradigma.

Població i energia

La figura 2 mostra que, en poc més de dos segles i mig (1750-2015), la població humana ha crescut unes 10 vegades i, els usos energètics, unes 40 vegades. Amb el temps, els canvis s'han accelerat: l'increment percentual de 1750-1950 (200 anys) és semblant al del període 1950-2015 (65 anys).

1750 a 1850. En aquests primers cent anys, els usos energètics mundials pugen de 3.500 a 6.150 TWh (milers de milions de kWh), quasi tot biomassa, on el carbó fa el primer creixement significatiu de 30 a 610 TWh per any.

1850 a 1945. Amb l'expansió del ferrocarril, el carbó sobrepassa la biomassa vers 1905, creix fins a 8.800 TWh el 1910 i, amb oscil·lacions, se situa a

arriba a la crisi del petroli de 1973 amb 31.400 TWh (45,1% del mix energètic). El gas natural encara creix més (9 vegades) però amb valors absoluts més baixos (11.100 TWh el 1973) i el carbó sols duplica (17.900 TWh). El 1973, els fòssils arriben a la proporció més alta en el mix energètic mundial (87,4 %) i a 69.600 TWh.

Crisis del petroli de 1973 i 1979. Són conseqüència de les restriccions de subministrament que imposen els països àrabs productors als països que han donat suport a Israel en la Guerra del Kippur. Els preus es disparen i el consum de petroli s'estanca durant una dècada fins el 1983 (30.900 TWh). Els altres fòssils creixen moderadament, s'inicia l'energia nuclear i les energies renovables també creixen. En conjunt, la producció mundial d'energia arriba a 82.100 TWh el 1983.

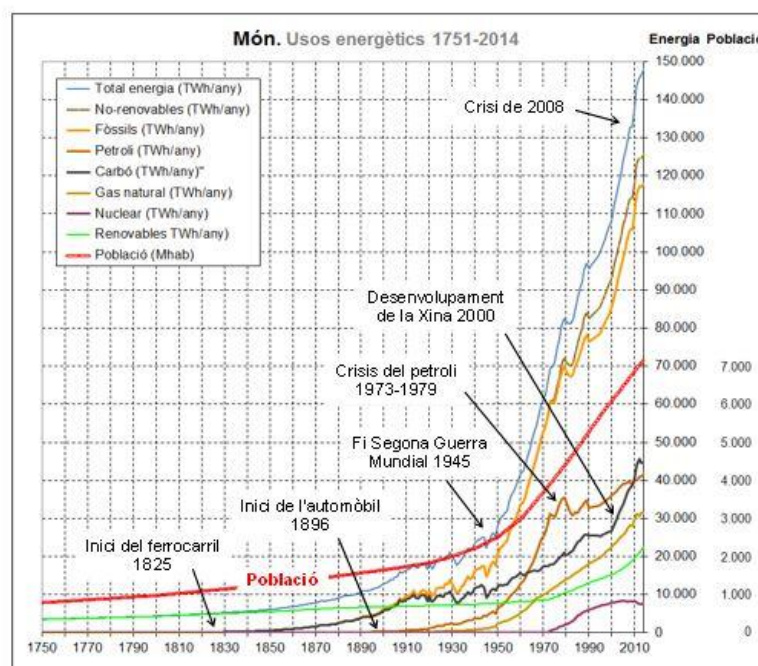


Figura 2: Evolució dels usos energètics mundials en el període de 1751 a 2011 [Riba-2015]

9.300 TWh el 1945 i la biomassa creix fins a 7.200 TWh. L'automòbil impulsa l'ús del petroli de 300 a 4.300 TWh entre 1900 i 1945 mentre el gas natural i l'energia hidroelèctrica recorren passes semblants i arriben a 1.200 i a 400 TWh aquest darrer any.

1945 a 1973. Després de la Segona Guerra Mundial hi ha la gran expansió del cru que, en 28 anys, multiplica la seva producció per més de 7 i

Nova expansió fins a la crisi de 2008. La baixada dels preus del petroli i els altres fòssils expandeixen el consum d'energia fins a 132.600 TWh el 2008. Sota l'impuls de la Xina i les economies asiàtiques, el carbó creix el 77,0% (fins a 38.000 TWh); també creix el gas natural 85% (28.200 TWh); el petroli es manté en primer lloc (39.500 TWh) però tan sols creix el 28%. L'energia nuclear augmenta molt ràpid,

arriba al seu màxim el 2006 (8.500 TWh), però l'accident de Fukushima el 2011 marca l'inici del seu declivi. Les energies renovables també augmenten (50% la biomassa i 79% les noves renovables) però el creixement paral·lel de les no renovables fa que el percentatge quasi no augmenti.

Tendències posteriors al 2008. Després d'una prolongada bonança econòmica associada a usos creixents de recursos i energia, el 2008 esclata una crisi mundial que comença essent hipotecària però que acaba afectant tota l'economia. Des d'aleshores, darrere les fluctuacions dels preus i l'estancament de l'economia s'entreveuen ja l'escassetat del petroli i les primers evidències del canvi climàtic que són símptomes de l'exhauriment del sistema.

Usos de l'energia i rendiments

Quan la humanitat va descobrir com aprofitar els avantatges dels combustibles fòssils (carbó, petroli i gas fòssil), d'unes elevades densitats energètiques, la seva relació amb la naturalesa va canviar profundament fins als nivells elevats de confort i benestar propis dels sectors rics dels països desenvolupats actuals.

Tanmateix, a escala mundial hi ha diferències molt notables en els nivells d'ús d'energia. A tall d'exemple, un ciutadà europeu usa de mitjana l'energia primària externa equivalent a un aparell d'uns 5.000 W (watts) de potència que funcioni durant les 24 hores del dia i els 365 dies de l'any; un ciutadà d'EUA n'usa uns 10.000 W, un d'Àsia, uns 2.000 W, un d'Àfrica uns 1.000 W, essent la mitjana mundial d'uns 2.600 W.

Tenim consciència de la relació entre la qualitat de vida i l'ús d'energia? El consum de combustibles fòssils actual és eficient i són raonables els usos que se'n fan?. Es malbarata?

A continuació s'exposen uns exemples:

Els comportaments i l'energia

Automòbil. Un vehicle convencional de benzina o de gasoil tan sols aprofita un 20% de l'energia; el 80% restant es dissipa en forma de calor. Si el vehicle té una massa de 1.330 Kg i l'ocupa una sola persona de 70 Kg, movem 20 vegades la massa del passatger. O sigui: de cada 100 litres de carburant, 80 es perden escalfant l'entorn, 19 mouen el vehicle

i només 1 mou l'ocupant. A més, la combustió d'1 litre de benzina emet uns 2,7 kg de CO₂.

Transport de productes. El transport en avió d'una peça de roba de 300 g (grams) fabricada a 8.000 km de distància, suposa un consum d'energia d'uns 13,0 kWh, equivalent a una bombeta de 15 Watt encesa durant 36 dies i comporta l'emissió d'uns 3,5 kg de CO₂.

Alimentació. Ens hem parat a preguntar sobre la relació entre l'energia necessària per transportar els ingredients d'un àpat i l'energia que ens aporten els propis aliments de l'àpat?

Consum d'energia en el transport de productes alimentaris deslocalitzats							
	Producte	Procedència	Distància (km)	Pes per àpat i persona (kg)	Energia del transport (kcal)	Energia dels aliments (kcal)	
	Alvocat	Kenya	6.000	0,10	Vaixell	86	173
	Tomàquet	Holanda	1.500	0,08	Tren	29	20
	Arròs	Cambodja	10.000	0,08	Vaixell	115	216
	Peix	Galícia	1.000	0,20	Camió	221	320
	Mango	Mèxic	9.500	0,10	Avió	6.726	49

Els valors de l'energia unitària per als diferents mitjans de transport tenen una dispersió important. S'han adoptat valors mitjans.

Figura 3: Elaboració J. Pujol Soler

La Figura 3 mostra l'elevat percentatge d'energia esmerçada en el transport respecte a l'energia que aporta finalment el propi aliment; en algun cas és absolutament injustificable.

Avió. Prenem com a referència l'avió Airbus 380, un dels de major rendiment en vols transatlàntics. Per transportar 50 tones útils (passatges i equipatges) de Barcelona a Buenos Aires cal mobilitzar un total de 480 tones (250 de massa del propi avió i 180 de combustible). Durant l'any 2014, els avions

de passatgers de tot el món van recórrer 67.000 milions de km (1,6 milions de voltes a la terra) i van transportar 3.300 milions de passatgers (com si cada habitant de la Terra fes un viatge de 900 km cada any); el consum corresponent de querosè és de 230.000 milions de litres.

Centrals termoelèctriques. Transformen l'energia química dels fòssils en energia elèctrica amb un rendiment de l'entorn del 33%. La resta d'energia, el 67%, es dissipa al mar, als rius o a l'aire en forma de calor a una temperatura encara elevada i aprofitable. Les centrals de cogeneració (electricitat i calor), tenen un rendiment molt més elevat, però són d'implantació més excepcional.

Materials i reciclatge. Per produir l'alumini d'una llauna de refresc es necessita 1,5 kWh (energia que desplaça un automòbil carregat 2.250 metres). Per reciclar aquesta llauna només cal 0,20 kWh, el 13% de la inicial per produir-la.

Ascensor. Una persona que puja tres plantes en ascensor (uns 9 metres de desnivell), consumeix el mateix que una bombeta de 20 Watt encesa durant 15 minuts. Quan un individu atlètic arriba a casa seva després d'haver fet 30 piscines, és conscient del consum energètic quan puja amb ascensor? S'ho ha plantejat? En canvi, segur que li és xocant deixar un llum encès en va durant 15 minuts.

Informàtica. L'enviament d'un correu electrònic comporta l'emissió d'uns 4 grams de CO₂ i, si porta un arxiu adjunt, 50 grams CO₂.

Làmpada LED. Requereix tan sols el 20% de l'energia elèctrica d'una làmpada halògena o incandescent. Inconscientment, en molts casos l'estalvi econòmic reverteix en incrementar sense necessitat el nivell d'il·luminació.

Cal preguntar-se sobre quina part dels usos d'energia i de matèries primeres són necessaris i quina part obeeix a usos banals i superflus? Quin benestar aporten quan s'ha superat substancialment el llindar de les necessitats considerades com a raonables i acceptables?

Sota el paraigua de la globalització i fruit d'un context ja passat d'energia abundant i barata, ens hem acostumat a percebre com a socialment normal i sense cap mena de qüestionament, la baixa

eficiència en moltes transformacions energètiques (central elèctrica, automòbil) o certs usos i costums desaforats, com els aliments o la roba procedents de l'altra part del món. Una de les causes d'aquesta acceptació social és el baix preu dels combustibles fòssils i una fiscalitat que afavoreix clarament el seu consum i fins i tot el malbaratament.

Els preus dels carburants per a la mobilitat no internalitzen ni els costos de les infraestructures (carreteres, ports, aeroports), ni els mediambientals (estralls provocats pel canvi climàtic), que queden diluïts en els pressupostos generals dels estats. Els defensors de la globalització mostren, amb orgull, uns resultats brillants en mobilitat i logística però oculten despeses energètiques i afectacions que no tenen en compte les necessitats bàsiques de la generació actual a curt termini i, encara menys, les de les generacions futures a llarg termini.

És possible extrapolar els 5.000 W o 10.000 W de potència mitjana per habitant dels països desenvolupats a tota la població mundial?

Disposarem de matèries primeres suficients?

Són alguns dels problemes més bàsics que té plantejats la humanitat. En som conscients?

L'alimentació i l'energia

Segons la FAO [FAO-2011], el conjunt de la cadena alimentària mundial usa el 30% del sistema energètic humà: 6% en les produccions primàries (agricultura, ramaderia, pesca i aquicultura, incloent el rec, fertilitzants, pesticides i maquinària); 13,5 % en el processament i distribució (inclosos a IEA en la indústria i el transport), i 10,5 % en el comerç minorista, la preparació i la cuina (inclosos a IEA en els sectors residencial i de serveis de restauració).

Des de 1700 fins a 1900, la relació entre terres cultivades i població es va mantenir en unes 0,6 hectàrees per habitant (ha/hab). A partir de 1900, aquesta relació comença a baixar fins a 0,53 ha/hab el 1950. Vers 1950 es desenvolupen els fertilitzants sintètics (grans consumidors d'energia i recursos finits) i la relació cau a 0,22 ha/hab el 2011.

Aplicant la relació 0,22 ha/hab a la població de Catalunya (7,5 milions d'habitants), la sobirania alimentària requeriria una superfície de 1,65 milions

d'hectàrees (Mha); la superfície de Catalunya és de 3,20 Mha, de les que tan sols uns 0,80 Mha es dediquen a l'agricultura.

La mobilitat i l'energia

El 77,1% dels derivats del petroli del món es destina al transport; per altre costat, el 95% del transport mundial es mou amb derivats del petroli, de difícil substitució; a més, el petroli serà el primer combustible fòssil a exhaurir-se (2040). Per tant, tenim un problema greu en la transició energètica en el transport i en totes les seves derivades.

Parc de vehicles. Els automòbils i camions que circulen pel món (excloses les motocicletes) han crescut quasi 400 milions d'unitats de 2005 a 2015 (43,7% d'augment). Aquestes xifres són sostenibles? Com afectarà la indústria de l'automoció?

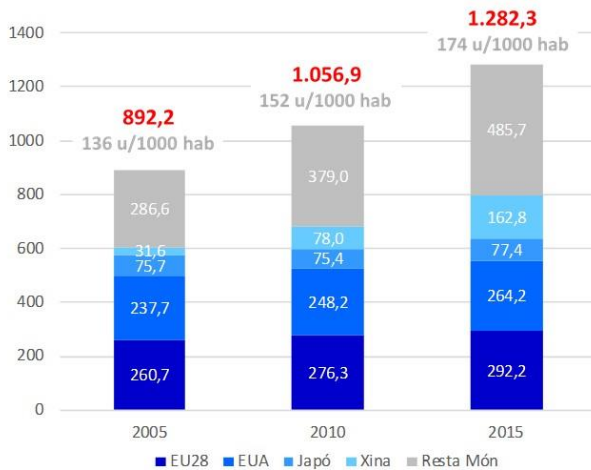


Figura 4: Evolució (2005 a 2015) del parc mundial de vehicles de motor (automòbils i camions) [Riba-2019]

Transport de passatgers. Els modes de més alt consum són l'automòbil i l'avió. En els països OCDE cobreixen el 83,1% del transport de passatgers i, en els països No-OCDE, tan sols el 42,0%. La mitjana mundial és de 18,6 passatgers-quilòmetre per habitant i dia (pkm/(hab·dia)); aquest valor puja a 46,6 pkm/(hab·dia) en els països OCDE, dels que 38,7 són en modes d'alt consum, mentre que en els països No-OCDE és de 7,9 pkm/(hab·dia).

Transport de mercaderies. En el món (OCDE i No-OCDE) predominen els modes de baix consum (90,2%; vaixell 75,0%) essent els modes d'alt consum el camió i l'avió; la mitjana mundial és de 42,4 tones-quilòmetre per habitant i dia, tkm/(hab·dia); en

els països OCDE puja a 91,0 pkm/(hab·dia) i en els països No-OCDE és de 32,1 pkm/(hab·dia).

L'EXHAURIMENT DE LES RESERVES

El 85% de l'energia usada en el món prové de fonts no renovables (carbó, petroli, gas i urani, i tan sols el 15% de fonts renovables (fotovoltaica, eòlica, termosolar, biomassa).

En els béns no renovables, cal distingir recursos de reserves. Els *recursos* són les quantitats del bé presents a la naturalesa i les *reserves* són els recursos que es poden obtenir amb les condicions tècniques i econòmiques de cada moment. El volum de reserves varia amb l'extracció o el descobriment de nous jaciments o poden entrar o quedar fora del mercat per la competència d'una altra tecnologia (com ara l'explotació d'una nova font renovable).

- Carbó: 5.055 PWh
- Petroli: 2.265 PWh
- GN: 1.885 PWh
- Urani: 660 PWh
- Total: 9.865 PWh

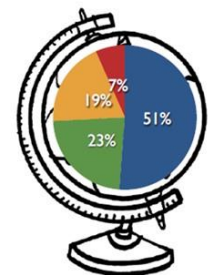


Figura 5: Reserves de recursos energètics no renovables avaluades a finals de 2007 [Riba-2011]. Un PWh (peta watt-hora) és un bilió (10¹²) de kWh

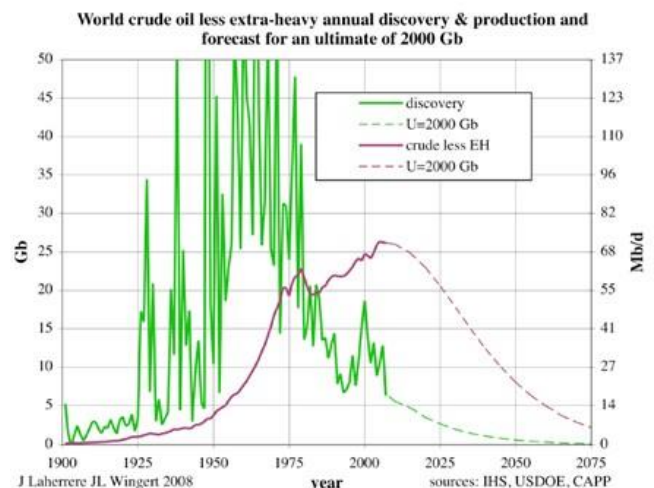


Figura 6: Evolució de les descobertes de reserves de petroli comparades amb l'evolució dels consums del recurs [Laherrere-2008]

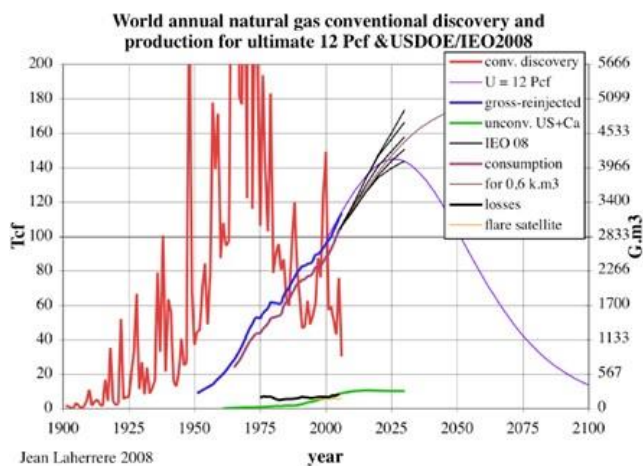


Figura 7: Evolució de les descobertes de reserves de gas fòssil comparades amb l'evolució dels consums del recurs [Laherrere-2008]

Les figures 5, 6 i 7 mostren les reserves mundials de combustibles fòssils, així com les gràfiques de producció i descobertes de petroli i gas.

En cas de continuar el model econòmic i les tendències de consum actuals, la seqüència d'exhauriment dels recursos no renovables seria el de la figura 8:

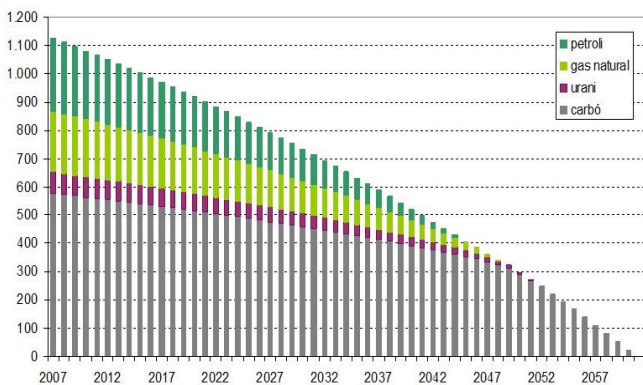


Figura 8: Seqüència d'exhauriment dels recursos energètics no renovables en base a extrapolar els consums i les reserves de l'any 2007 [Riba-2011]

En el supòsit de continuar les tendències de creixement com fins ara, la figura 8 mostra que, previsiblement, el petroli s'exhauriria vers el 2047 i, el gas natural i l'urani, al voltant de 2050. A partir d'aleshores, el carbó tot sol hauria de cobrir la demanda mundial de recursos no renovables fins a l'any 2060 quan també s'exhauriria.

El sistema econòmic basat en el rèdit del capital requereix un creixement continu i, en conseqüència, disposar cada cop de més recursos i energia. El fet

que un recurs essencial, com ara el petroli, arribi al seu zenit de producció (o pick-oil), atura l'economia i provoca greus trastorns econòmics i socials.

Ja no comentem les conseqüències d'iniciar el declivi dels recursos energètics sense disposar d'alternativa. En efecte, abordar el gruix de la transició a fonts renovables quan les reserves de fòssils ja disminueixin, resultarà una tasca molt més àrdua i incerta que avui dia.

Però, encara hi ha més. Des de l'inici de la revolució industrial (ara fa uns 200 anys) fins a la fi del 2007, unes 9 generacions hem consumit el 32% de les reserves originàries de carbó, petroli i gas fòssil. Si, es vol evitar superar l'increment de 2°C en la temperatura mitjana de la Terra (com propugna el COP21 de París), la meitat del 68% restant de les reserves hauria de restar sota terra [Ekins-2016]; o sigui, queda el 34% per a les generacions futures.

Junt amb l'exhauriment de les fonts d'energia no renovable, també caldrà pensar en l'exhauriment de moltes altres matèries primeres escasses com ara: el coure (per als sistemes elèctrics), el liti (per a les bateries), els fosfats (per als fertilitzants) i altres elements escassos per a aplicacions estratègiques (cobalt, platí, terres rares, etc.).

Les figures 5, 6, 7 i 8 mostren la gravetat de la crisi sistèmica que ha iniciat la humanitat i l'absurd de continuar confiant en una economia del creixement, obviant la necessitat del canvi de paradigma. Els temps per resoldre la crisi són més curts que els límits dels exhauriments.

L'AMENANÇA DEL CANVI CLIMÀTIC

Les conseqüències del canvi climàtic no són menors. Tot just ara comencem a percebre alguns dels seus efectes que, en el futur, poden arribar a posar en perill la pròpia pervivència de la nostra civilització tal com avui dia la coneixem.

A l'escala de temps humana, és difícil entreveure l'evolució del clima rere les oscil·lacions dels episodis meteorològics locals i puntuals; però, a escala de temps geològica, el canvi climàtic avança inexorablement de forma tan ràpida (més que el d'altres temps geològics coneguts) que farà molt difícil

l'adaptació dels éssers vius i de l'home a les noves situacions.

Alguns dels efectes previsibles del canvi climàtic són [IPCC-2014]:

Augment del nivell del mar. Amb l'augment de la temperatura, les aigües dels oceans es dilaten, però, a la llarga, l'efecte més important serà el desglaç de les aigües continentals: la pèrdua total de gels de Groenlàndia i l'Antàrtida pot elevar el nivell del mar uns 7 i 50 metres respectivament. Això acabarà afectant centenars de milions de persones que habiten a les zones costaneres i a les illes.

Desertització. Els climes secs i la desertificació avançaran vers les zones temperades, entre elles la península Ibèrica, fet que s'acompanyarà del desgel de les glaceres i la pèrdua d'estocs d'aigua dolça en les capçaleres dels rius. La disminució dels gels disminueix l'albedo de la Terra (% de radiació que és reflectida) i accelera el canvi climàtic.

Pèrdua de rendiment dels cultius. En les zones tropicals i temperades es preveu que el canvi climàtic tingui impactes negatius en els cultius, i de forma específica en els cereals; en els oceans, la redistribució de les espècies marines i la reducció de la seva biodiversitat afectarà la productivitat pesquera; en definitiva, es debilitarà la seguretat alimentària.

Augment d'episodis climàtics extrems. L'augment de la temperatura del mar evapora grans masses d'aigua que dona lloc episodis climàtics cada cop més extrems que poden fer pràcticament inhabitable extenses zones del planeta: vents huracanats, amb destruccions d'hàbitats i infraestructures pluges torrencials, amb desbordaments i inundacions; o onades de calor.

Situació d'emergència

Fins fa poc, aquests fenòmens s'han descrit amb els termes neutres d'"escalfament global" i de "canvi climàtic". Darrerament, alguns governs i la mateixa Unió Europea han admès l'expressió "emergència climàtica" que implica acceptar que estem davant d'un problema greu i que cal adoptar mesures urgents i contundents.

Però, tot i això, l'"emergència climàtica" és tractada com un fenomen amb entitat pròpia, sense fer explícita la vinculació amb la principal causa que

l'origina, l'energia obtinguda de la crema intensiva dels combustibles fòssils, cosa que no facilita el plantejament dels camins adequats per a la seva solució.

LA SOLUCIÓ: ENERGIES RENOVABLES.

Davant de la perspectiva de l'exhauriment de les energies no renovables (carbó, petroli, gas fòssil i urani) i de l'amenaça del canvi climàtic, hi ha un consens general que la clau de la solució passa per la *transició energètica* vers les fonts renovables (fotovoltaica, termosolar, eòlica, hidràulica i biomassa). En darrer terme, totes aquestes energies procedeixen de la radiació del Sol sobre la Terra que és d'unes 10.000 vegades l'energia del sistema tècnic humà.

A més, es pot afirmar que la transició energètica és tècnicament i econòmicament factible en tots els usos energètics. Les dades que es donaran a continuació es refereixen a Catalunya però són extrapolables a altres àmbits. [Sans-2014, Furró-2016].

Energia necessària amb fonts renovables

L'energia final que cal captar amb renovables és sensiblement inferior a l'energia primària necessària amb combustibles fòssils.

En efecte, el rendiment de la combustió dels fòssils per obtenir electricitat és de 3 unitats tèrmiques a 1 elèctrica (se'n dissipen 2); i el rendiment mitjà dels carburants fòssils en els motors dels vehicles (terrestres, marítims i aeris) és de 4 unitats tèrmiques a 1 mecànica (se'n dissipen 3). En canvi, les principals fonts renovables (hidràulica, eòlica, fotovoltaica) generen directament electricitat amb rendiments molt elevats en les diferents aplicacions.

Què passa si la demanda d'electricitat no coincideix en el temps amb la font renovable? Doncs que caldrà una potència excedent de generació i un dispositiu d'emmagatzematge on es perd part de l'avantatge en rendiment respecte als fòssils.

Avui dia, la producció energètica fòssil s'adapta a la demanda (usem l'energia quan volem), ja que els recursos són d'estoc i en podem disposar en qualsevol moment. En canvi, no podem controlar

els fluxos de les fonts d'energia renovable (radiació solar, vent, corrent d'aigua).

A fi de fer el sistema el més eficient possible i evitar superfície de captació innecessària, caldrà, doncs, un canvi de mentalitat per adaptar el màxim els usos energètics als moments en què les fonts estiguin disponibles.

La transició energètica a Catalunya

El consum anual d'energia primària a Catalunya, sense transport aeri i marítim, és de 222 TWh que es transforma en uns 78 TWh d'energia útil. En el futur sistema renovable, una part s'obté en forma d'electricitat a través de fotovoltaica, eòlica, termoelèctrica i hidràulica i, una altra part, com a energia tèrmica en base a termosolar i biomassa.

La superfície total a ocupar a Catalunya amb instal·lacions renovables per produir els 78 TWh útils s'estima en un 2% del territori, unes 64.000 hectàrees [Furró-2016] (eliminant la superposició d'instal·lacions eòliques i fotovoltaïques en les mateixes superfícies, l'estimació de Sans i Pulla és del mateix ordre [Sans-2014]).

Superfícies de Catalunya	ha	%
Superfície total de Catalunya	3.211.400	
Superfície instal·lacions de renovables	64.000	2,0
Superfície urbanitzada (1993-2005)	32.400	1,0
Conreus abandonats (1993-2015)	134.000	4,2
Superfície urbana i infraestructures	211.000	6,6

Figura 9: Comparativa de les superfícies ocupades a Catalunya. Elaboració: J. Pujol Soler

En la captació fotovoltaica, cal aprofitar espais urbans i infraestructures (cobertes d'edificis, vies de comunicació, làmines d'aigua), però també caldrà destinar altres superfícies. Cal no oblidar el desequilibri entre necessitats d'energia i possibilitats de captació en territoris: per exemple, el Barcelonès el Baix Llobregat i els Vallesos consumeixen el 50% de l'energia de Catalunya i ocupen el 6% del territori. Cal un pacte territorial entre el món rural i l'urbà en

relació l'energia tenint en compte criteris mediamambientals, paisatgístics i de reequilibri.

Balanç econòmic

Segons Sans i Pulla [Sans-2014], la inversió per efectuar la transició a 100% de fonts renovables a Catalunya seria de 70.000 milions d'euros (€). Si es realitzés en un període de 35 anys, suposaria una aportació per habitant de 267 €/any.

Tenint en compte que hi hauria un estalvi en la compra de combustibles fòssils a l'exterior de 1.332 € per habitant i any i habitant, l'estalvi final seria de 1.065 € per habitant i any.

A part de l'estalvi econòmic, això suposaria reduir l'impacte en el medi (escalfament global), crear llocs de treball, assolir la sobirania energètica i assegurar el subministrament energètic a la generació actual i a les futures.

QUÈ FER DES DEL SISTEMA EDUCATIU?

Els mestres i el sistema educatiu tenen la responsabilitat de formar les generacions futures. Davant del repte energètic i climàtic, l'acció educadora no pot ser neutra. Cal educar en els coneixements però també en les actituds i els valors que facin possible l'alternativa.

En el context actual, no totes les tecnologies i solucions tenen les mateixes conseqüències. Per exemple: una central de carbó o un aerogenerador; consumir productes de proximitat o comprar aliments dels antípodes; moure's en vehicle privat o usar el transport col·lectiu. És bàsic que les noves generacions siguin conscients, participin del debat social sobre la transició energètica i disposin d'informació suficient per formar-se un criteri propi.

L'educació sobre l'energia i el clima requereix coneixements de totes les matèries: la física, la química i les tecnologies, per descomptat; però també són claus les ciències naturals, per comprendre i respectar les dinàmiques de la naturalesa i dels éssers vius; la història, per extreure les ensenyances del passat; la llengua, per comunicar-nos; o la filosofia, les arts i els esports (per donar sentit i gaudir de la vida).

Amb la finalitat d'apropar el debat social sobre la transició energètica a les noves generacions, tot seguit es presenten tres paràboles [Riba-2019] que assenyalen tres etapes bàsiques del procés:

Coneixement: els rens de Illa de St. Mattheu

St. Mattheu és una illa deshabitada i remota en el mar de Bering i de 357 km² (la meitat de Menorca). Durant la Segona Guerra Mundial, els Estats Units d'Amèrica hi van instal·lar una estació de ràdio i hi van destacar un equip de 19 homes amb 29 rens per, en cas de necessitat, servir d'aliment.

Acabada la guerra els 19 homes van tornar, però els 29 rens van quedar abandonats a l'illa. Amb un clima adequat, una vegetació abundant i sense depredadors, els rens es van reproduir i la població va augmentar.

Passats 13 anys (1957), en una visita a la illa, el biòleg D.R. Klein observa que els 29 rens s'havien reproduït fins uns 1.300. Sis anys després (1963), el nombre de rens havia augmentat fins a uns 6.000 però ja "estaven menjant líquens".

El 1966 (3 anys després), una nova observació del biòleg Klein mostra que la població s'havia reduït a tan sols 42 rens i l'illa era plena d'ossos. El 1980, els rens de l'illa de Saint Matthew s'havien exhaurit completament.

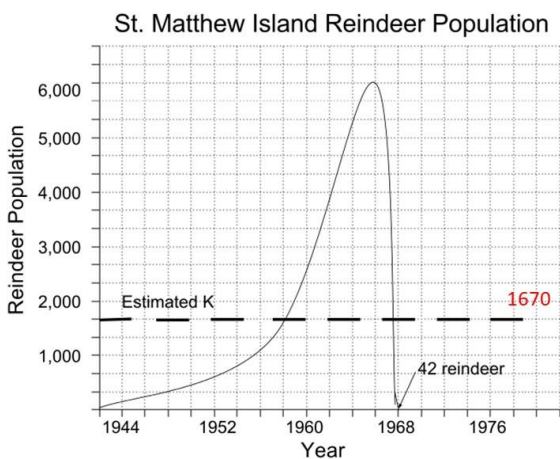


Figura 10: Evolució de la població de rens a l'illa de Saint Matthew. [Riba-2019], [Klein]

Un creixement desmesurat de la població, l'exhauriment de la vegetació i un hivern de condicions climàtiques extremes acaben amb la població de

rens de l'illa de Saint Matthew, Klein va estimar que la població d'equilibri eren 1.670 rens.

Coratge: el viatge de Bertha Benz

Karl Benz, un dels pioners de l'automòbil, era un bon mecànic que havia desenvolupat diversos vehicles amb l'ajuda econòmica de la seva muller.



Figura 11: Imatge del que es considera el primer viatge en automòbil realitzat per Bertha Benz amb els seus dos fills el 1888. [Riba-2011], [Wikipedia-2019]

El 1888, Bertha Benz, veient els dubtes del seu marit sobre la viabilitat del seu invent, i sense dir-li res, va agafar un vehicle i, amb l'excusa de visitar la seva mare, va viatjar amb els dos fills grans de Mannheim a Pforzheim.

Fins aleshores, els prototipus de vehicles havien fet recorreguts molt curts retornant al punt d'origen i amb l'ajuda de mecànics. Bertha es va convertir, doncs, en la primera persona a conduir un automòbil en un viatge d'uns 100 km que va atraure l'atenció mundial i va impulsar les primeres vendes.

El viatge no va ser fàcil i Bertha Benz va haver de resoldre nombroses incidències des de localitzar combustible en una farmàcia fins a aïllar cables o recompondre els frens, suggeriments valuosos per a introduir millores decisives en els vehicles.

Cooperació: quan volem, podem.

Al llarg de la història hi ha molts exemples que demostren que quan hi ha voluntat de portar a terme un projecte es pot dur a la pràctica. En posarem dos exemples:

Vaixells Liberty. Durant la Segona Guerra Mundial, a fi d'abastir el Regne Unit, entre 1941 i 1945 els EUA van construir 2.710 vaixells de càrrega Liberty fabricats en sèrie a una escala sense precedents: 18 drassanes, 50.000 treballadors (i treballadores) a tres torns i set dies la setmana. Lamenta-

blement, massa sovint, aquesta confluència de voluntats s'ha exercit en el context d'una guerra.



Figura 12: Imatge de les drassanes dels vaixells Liberty [Riba-2019], [U-historia-2019]

Embassaments de Camarasa i Sant Antoni (Noguera Pallaresa). L'any 1911 es pren la decisió de construir les dues preses. El 1913 s'inicien les obres de l'embassament de Sant Antoni, inclosos els accessos i s'inaugura el 1916. El 1917 s'inicien les obres del de Camarasa i s'inaugura el 1920. Hi treballen entre 10.000 i 18.000 persones, en condicions terribles i expropiacions abusives.

Epíleg

Les tres paràboles anteriors dibuixen com tres fases en la implementació de la transició energètica: primer CONÈIXER, després tenir el CORATGE i finalment COOPERAR per implementar la solució.

Lamentablement, una part molt gran de la societat encara no ha fet el salt de CONÈIXER: percep més l'escalf dels beneficis i les comoditats que proporciona l'ús dels combustibles fòssils (la principal causa del canvi climàtic) que les malvestats que es deriven d'un canvi climàtic que ja no controlem. La transició energètica és una revolució que vol un nou relat i molta pedagogia que suposarà un canvi tant o més cultural que tecnològic, d'estil de vida.

Però el temps per reaccionar s'acaba. Tot indica que l'alternativa d'una transició energètica 100% a fonts renovables és possible. És el moment dels pioners, dels líders que proposen i s'avancen, que tenen el CORATGE de bastir aquest nou edifici, de realitzar experiències que assenyalin el camí.

Finalment, aquesta revolució requerirà un gran esforç i canvis en els comportaments. La comprensió de l'emergència no ha penetrat encara prou en la societat ni els pioners han convençut a prou gent. Però ens hem de preparar pel moment quan conflueixi un gran moviment de COOPERACIÓ que tingui la força suficient per a la transformació global que hem de procurar que sigui inclusiva i no graviti sobre els sectors socials més vulnerables.

BIBLIOGRAFIA

- FAO (2011). *“Energy-smart” food for people and climate (issue paper)*, Rome 2011. <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>
- Furró Estany, E. (2016). *Catalunya. Aproximació a un model energètic Renovable*. Barcelona, Editorial Octaedro.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report, Summary for Policymakers*. The Intergovernmental Panel on Climate Change (NU, Suïssa) https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5-syr-cat.pdf>
- Klein, D.R. [?], *The Introduction, Increase, and Crash of Reindeer on St. Matthew Island, Alaska* Cooperative Wildlife Research Unit, University of Alaska, College. <http://dieoff.com/page80.htm>
- Laherrere, J. (2008). Forecasting world oil and gas production under strong economic constraints. *Energy & Geopolitics 7th Energy & Geopolitics Forum*, Niça 12-14 de novembre de 2008. http://aspofrance.viabloga.com/files/JL_Nice08_lo ng.pdf
- McGrade, Ch. & Ekins, P. (2015). *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C*, Nature vol. 517, 187–190. <https://www.nature.com/articles/nature14016> <https://doi.org/10.1038/nature14016>
- Pujol Soler, J.; Fernández Ruiz, R.; Regalés i Barta, J. (2016). *Les energies renovables: l'alternativa*

- al col·lap-se dels recursos fòssils*. Barcelona, CESIRE i CMES. https://agora.xtec.cat/cesire/wp-content/uploads/usu397/2016/11/LLIBRE-ENERGIA_V1.0.pdf
- Pujol Soler, J. (2019). *La transició energètica 100% renova-bles*. TERbaix, L'educació per al nou paradigma ener-gètic, 6 de setembre de 2019, Citilab, Cornellà de Ll. <https://sites.google.com/xtec.cat/terbaix/inici/presentacions-jornada-terbaix>
- Riba Romeva, C. (2011). *Recursos energètics i crisi. La fi de 200 anys irrepetibles*. Barcelona, Iniciativa Digital Politècnica, Publicacions Acadèmiques UPC. <http://cmes.cat/books/recursos-energetics-i-crisi/>
- Riba Romeva, C. (2015). *Factures energètiques dels com-bustibles fòssils. Dependències i desigualtats*. Barcelona, Editorial Octaedro. <https://octaedro.com/libro/factures-energetiques-dels-combustibles-fossils/>
- Riba Romeva, C. (2019). *Les fonts energètiques* L'edu-cació per al nou paradigma energètic, 6 de setembre de 2019, Citilab, Cornellà de Llobregat. <https://sites.google.com/xtec.cat/terbaix/inici/presentacions-jornada-terbaix>
- Sans Rovira, R.& Pulla Escobar, E. (2014). *La transició energètica del segle XXI. El col·lapse és evitable*. Barcelona, Editorial Octaedro.
- U-historia [2019], Los buques Liberty [consulta juliol 2019]. <http://www.u-historia.com/uhistoria/basehtml/innotalegal.htm>
- USGCRP (2017) *Climate Science Special Report. Chapter 2: Physical Drivers of Climate Change*. US Global Change Research Programme. <https://science2017.globalchange.gov/chapter/2/>
- Vergés Gifra, J. (2019). Ni un cap per decapitar. *Ara Diu-menge*, 15 de desembre de 2019, pàgines 15-16.
- Wikipedia [2019], *Bertha Benz* [consulta juliol 2019]. https://ca.wikipedia.org/wiki/Bertha_Benz