

TRANSICIÓ ENERGÈTICA I CANVI DE PARADIGMA

Carles Riba Romeva,¹ Laura Tudurí Sanchis² i Genís Riba Sanmartí³

1. *Professor emèrit de la Universitat Politècnica de Catalunya i president del Col·lectiu per a un nou Model Energètic i Social*

2. *Tècnica superior del Servei de Suport a la Recerca i la Innovació de la Universitat Politècnica de Catalunya. laura.tuduri@upc.edu*

3. *Investigador a l'Institut de Sostenibilitat de la Universitat Politècnica de Catalunya*

Resum: Immersos en un procés de creixement continu, una gran part de la població desconeix o nega la crisi energètica, o bé creu que es tracta d'un problema estrictament tècnic. Davant del declivi dels combustibles fòssils, que avui dia encara alimenten el 80% del sistema energètic, i de les greus repercussions climàtiques, de contaminació i de destrucció d'ecosistemes que comporta el seu ús, cal transitar vers fonts energètiques netes i renovables. A diferència dels combustibles fòssils, es tracta de fonts energètiques totalment distribuïdes i, per tant, d'accés transversal a tota la humanitat. Aquest article argumenta que cal un canvi de paradigma sobre l'energia i els recursos naturals per a fer possible una transició energètica que eviti el col·lapse. Aquest canvi ha d'incloure els aspectes clau següents: 1) ha de reconèixer la finitud dels recursos naturals, tot abandonant la perspectiva del creixement continu; 2) ha de centrar l'atenció en les necessitats energètiques concretes i cercar aigües amunt el camí i les fonts renovables més favorables, i 3) ha d'implicar tota la ciutadania en l'obtenció, els usos adequats i la gestió de l'energia i dels recursos.

Paraules clau: transició energètica, energies renovables, canvi de paradigma.

ENERGY TRANSITION AND PARADIGM SHIFT

Abstract: Immersed in a process of continuous growth, a large part of the population is unaware or even denies the energy crisis or believes that it is strictly a technical issue. Faced with the decline of fossil fuels, which still today represent 80% of the energy system, and the serious climatic repercussions, pollution and destruction of ecosystems that their use entails, it is necessary to move towards clean and renewable energy sources. Unlike fossil fuels, renewable energy resources are evenly distributed, and therefore accessible to all humankind. This paper argues that a paradigm shift in energy and natural resources use is necessary to make possible an energy transition that avoids collapse. This shift must consider the following key aspects: 1) Recognition of the finiteness of natural resources, abandoning the perspective of perpetual growth; 2) Focusing of attention on specific energy needs, looking upstream for the most favourable path and renewable sources, and 3) Involvement of all citizens in the procurement, appropriate uses and management of energy and resources.

Keywords: energy transition, renewable energies, paradigm shift.

1. Introducció

La societat global de principi de segle XXI està davant d'un seguit de reptes que, segons com es resolguin, marcaran el destí de les properes generacions. Tenen a veure amb la idea de sostenibilitat i són d'una immensa complexitat, amb vessants sociopolítics, tècnics, ecològics i geoestratègics.

Hi ha un increment de la desigualtat i una concentració de poder sota el control d'una minoria que, a casa nostra, es reflecteixen en una regressió de l'estat del benestar i de les polítiques socials.

D'altra banda, la necessitat de la concepció econòmica actual de mantenir-se en un estat de creixement perpetu fa que comencem a gratar els límits físics de la Terra. L'acció humana ja ha alterat de forma perceptible els equilibris químics de l'atmosfera i els oceans, am-

bients que en altres temps semblaven infinits i impenetrables, o el canvi d'usos del sòl, que transforma biomasses verges en terres de cultiu o de pastura, i que s'està quedant sense marge de creixement, fins al punt que ha donat lloc a la creació d'una nova era geològica: l'Antropocè. Les conseqüències d'aquestes alteracions a mig termini són incertes, però, en el dia d'avui, ja se'n comencen a notar els efectes: estius més càlids i hiverns més suaus, grans incendis forestals, desgel, extensió de la temporada d'huracans...

La vida no és aliena a aquests processos i els biomes comencen a canviar degut a les noves circumstàncies. Malauradament, l'evolució no pot seguir el ritme de canvi imposat per la frenètica activitat humana i, per tant, també estem davant d'una època d'extincions massives. L'economia global també mostra signes de topir amb la realitat de la finitud dels recursos naturals, tal

com queda palès en la successió ràpida de crisis de les últimes dècades, que demostra la inestabilitat d'un sistema que no es pot mantenir en el temps.

L'energia ocupa una posició central en tots aquests problemes. La capacitat d'utilitzar energia exògena determina el tipus de civilització, que, en el cas de la civilització occidental, necessita processar una gran quantitat d'energia creixent en el temps per a mantenir-se en funcionament.

L'inici d'aquesta civilització tan àvida d'energia té lloc fa uns dos-cents anys sobre la premissa de l'abundància de combustibles fòssils. Malauradament, això ja no és cert: en els propers anys el subministrament de combustibles fòssils serà incapaç de cobrir la demanda d'energia, fet especialment alarmant si es té en compte que, encara avui, els combustibles fòssils suporten el 80% del sistema energètic mundial.

No estem, doncs, davant d'una crisi d'energia, sinó de combustibles fòssils. D'una banda, són recursos no renovables que, al ritme de consum actual, avancen ràpidament vers el seu declivi i, de l'altra, la seva combustió comporta l'emissió de gasos i partícules (diòxid de carboni [CO₂], òxids de nitrogen [NO_x], sulfats o sutge), que tenen efectes sobre la salut pública, alteren i enverinen ecosistemes, i són un dels principals agents generadors del canvi climàtic.

Una via per a resoldre aquesta crisi és programar una transició ordenada dels fòssils vers les fonts energètiques renovables lliures de gasos contaminants i de gasos amb efecte d'hivernacle. Això és perfectament plausible, ja que disposem de fonts energètiques suficients d'aquestes característiques, així com d'altres recursos, com ara la racionalització i l'estalvi, per proporcionar una vida digna a tots els habitants de la Terra sense provocar un retrocés de la civilització.

La transició energètica a fonts renovables, que és, doncs, l'eix que vertebrava la transformació global cap a un estat sostenible en el temps, no implica un canvi merament tecnològic, sinó que les diferències fonamentals entre les fonts energètiques fòssils i les renovables afectaran la manera en què les persones i les societats utilitzarem l'energia. L'accés a energia exògena afecta totes les esferes de la vida quotidiana i, per tant, la implementació d'un nou model energètic obre camí vers nous models d'alimentació, d'habitatge, de mobilitat, de comunicació, de governança, de treball, d'oci i, en definitiva, de tot allò que dona continuïtat al futur desenvolupament humà.

Persistir en el vell paradigma condueix al fracàs. Més enllà dels canvis tecnològics necessaris, un dels aspectes més excitants de la transició energètica és el seu potencial transformador en l'esfera social. Per això, cal modificar les percepcions socials sobre l'energia, com a primer pas per a canviar a un nou paradigma adaptat a les característiques i possibilitats dels recursos energètics renovables.

2. L'energia de les civilitzacions

Des del punt de vista de l'energia, la història de les civilitzacions és una successió de revolucions tecnosociològiques,

en què la introducció de cada nova tecnologia energètica ha permès avançar a un estadi de complexitat més gran.

La primera revolució tecnosociològica relacionada amb l'energia és el control del foc (escalfar-se, coure aliments, noves tècniques de caça). Aquest canvi allibera temps, que es pot invertir en lleure o en tasques creatives no directament relacionades amb la supervivència, i, tal com l'art o la tecnologia, permet crear eines més avançades.

La segona gran transició energètica amb un canvi de model social és la revolució neolítica, amb l'establiment de patrons de vida sedentaris basats en l'agricultura i la ramaderia. Aquest canvi porta la capacitat d'emmagatzemar energia en forma d'aliments que es poden conservar, com ara el gra o els animals en estables. Alguns animals també són font d'energia addicional com a animals de tir per al transport o per a treballar al camp.

El model agrari genera excedents: cada persona dedicada a l'agricultura aporta més del que necessita i això permet alliberar temps, no tant del mateix agricultor sinó d'altres membres del grup, i fa aparèixer les primeres especialitzacions no relacionades directament amb la subsistència alimentària (confecció de roba i calçat), amb una elit no productiva —noblesa i sacerdots— a l'entorn de la qual es concentra l'excedent de població en un procés d'urbanització incipient.

A mesura que s'obté més energia exògena, la població creix, es colonitzen zones fins aleshores inhòspites, s'aprofundeix en la urbanització, es consoliden elits com a classes extractives i apareixen activitats no directament productives, com ara artistes i comerciants. Algunes tecnologies, com ara la manipulació del vent o els cursos d'aigua en forma de veles o molins, hi contribueixen.

Fins a final de segle XVIII, els esforços en innovació energètica se centraven a crear i a millorar la captació d'energia primària renovable (biomassa, animal, solar o eòlica), tot i que, en alguns casos, se superaven les taxes de regeneració, tal com demostra la desforestació de moltes zones d'Europa. En qualsevol cas, l'evolució sempre portava a un creixement sostingut, tot i que lent, de l'ús de l'energia exògena *per capita*.

El següent gran canvi en la relació entre les societats i l'energia es produeix a final de segle XVIII i durant el primer terç del segle XIX, amb l'ús del carbó com a combustible de la màquina de vapor. Per primer cop, i ja per sempre més des d'aleshores, el principal recurs energètic ja no era renovable. La injecció de grans quantitats d'energia va impulsar una nova revolució tecnosociològica, novament amb un gran desplaçament de població agrícola excedent cap als nuclis urbans, i l'emergència d'una classe obrera urbana dedicada a la producció industrial. La noblesa terratinent, que controlava la captació d'energia a través dels aliments, perd posició i influència a favor de la burgesia industrial, que controla la producció mitjançant la nova font d'energia fòssil.

Després de la Segona Guerra Mundial, el petroli agafa el relleu com a font d'energia dominant que impulsa la mo-

bilitat, el transport i l'economia global. L'ús d'energia *per capita* segueix creixent i, als països avançats, permet l'automatització i la deslocalització, que substitueixen una part important dels treballs manufacturadors. Això condueix a una societat de serveis, en què cada cop tenen menys pes els béns de subsistència i la producció industrial en l'economia i el mercat laboral.

Així doncs, la capacitat per a captar energia exògena és un factor determinant en l'organització de les societats i del seu teixit productiu. És il·lustrador avaluar l'aportació energètica prenent com a unitat l'energia endosomàtica diària (basal + d'activitat) d'una persona adulta mitjana: 2.475 kcal/dia (o 2,88 kWh/dia), que equival a una potència tèrmica mitjana de 120 W. En l'article «The flow of energy in an industrial society», E. Cook (1971) caracteritza les civilitzacions per l'ús d'energia exògena (o capacitat de treball addicional) i ho mesura en persones equivalents *per capita*. O sigui, cada persona d'una societat agrícola primitiva disposa d'un total d'energia de 4,8 persones equivalents, mentre que cada persona (adulta, jubilada, nadó...) d'una societat tecnològica disposa d'una capacitat de treball addicional de 90 persones, gràcies a l'aportació d'energia exògena, la major part de la qual, actualment, prové de combustibles fòssils.

La figura 1 relaciona les successives civilitzacions humanes amb l'ús de l'energia exògena. Malgrat la penetració arreu del petroli, avui dia conviuen societats en diferents estadis de civilització: a les selves tropicals encara hi ha vestigis de societats caçadores; en zones rurals de l'Àfrica, del sud-est asiàtic i de l'Amèrica llatina hi ha societats agrícoles primitives que conviuen amb zones urbanes a mig camí de les societats industrials; Europa se situa més enllà de la societat industrial, i els Estats Units (EUA) i el Canadà freqüen la societat tecnològica.

Entre 1990 i 2017, a escala mundial, l'energia primària (recursos extrets de la naturalesa, sense transformar) augmenta el 59,3%, però, atès que la població també creix de

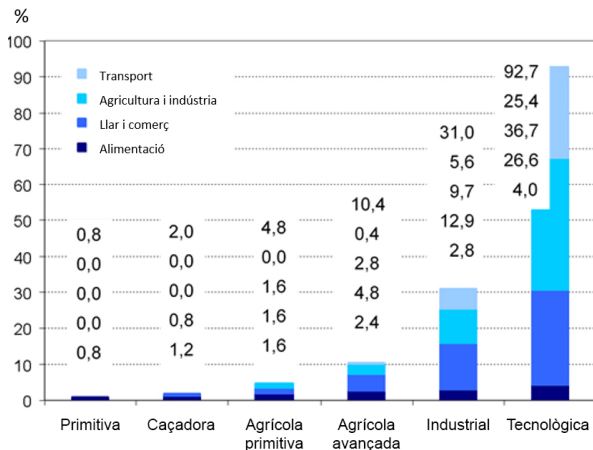


FIGURA 1. Representació de l'energia *per capita* en diferents civilitzacions i àmbits. La unitat és l'energia endosomàtica d'una persona adulta contemporània (2,88 kWh/dia).
FONT: Cook, 1971.
ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva.

5.288 a 7.530 milions d'habitants, l'augment de l'ús d'energia primària *per capita* és de l'11,8%.

Al món, la relació entre l'energia aportada externament i l'energia pròpia dels processos metabòlics del cos humà (energia exògena dividida per energia endògena) va passar de 18,4 vegades el 1990 a 20,5 vegades el 2017, tot i l'enorme disparitat entre diferents societats. Com s'observa a la figura 2a, els països de l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE), amb valors molt alts que tendeixen a la baixa en la darrera dècada (de 50,7 vegades a 45,2 vegades), se situen entre una societat industrial i una de tecnològica (cal assenyalar la caiguda dels EUA de 15,5 punts, des del màxim de 89,2 vegades el 2000 a 73,7 vegades el 2017). El descens d'aquesta relació en les economies més consumidores d'energia s'explica, en part, per l'augment de l'eficiència, però, també, perquè s'han deslocalitzat les activitats més intensives pel que fa al consum d'energia, com ara l'obtenció de materials i la indústria pesada, a regions amb regulacions més laxes i costos més baixos.

En canvi, als països no OCDE aquesta relació està per sota de la mitjana mundial, tot i que durant aquest període augmenta quasi el 50% (de 9,9 vegades a 14,7 vegades)

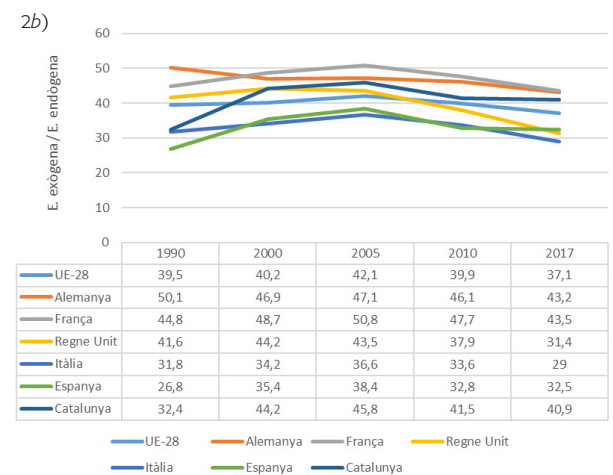
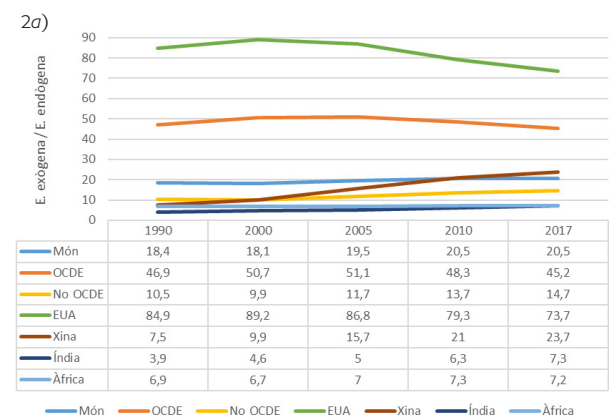


FIGURA 2a i 2b. Consum mitjà d'energia primària *per capita* (1990-2017). Unitat: energia endosomàtica d'una persona adulta (2,88 kWh/dia = 2.500 kcal/dia).
FONT: IEA, 2020.
ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

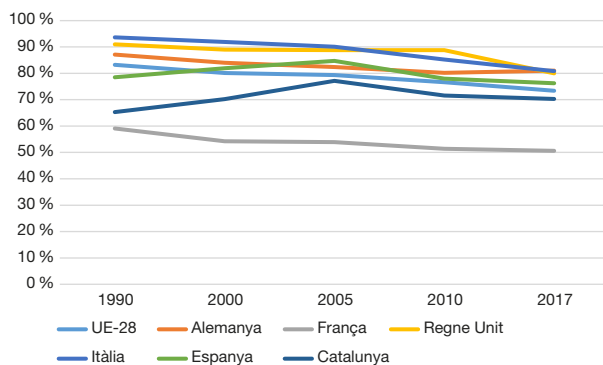


FIGURA 3. Percentatge de combustibles fòssils en l'energia primària per regions.

FONT: IEA, 2020.

ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

(figura 2a) i se situen a prop d'una societat agrícola avançada.

Durant aquest període, destaca la posició predominant dels combustibles fòssils en el mix energètic mundial, que representen el 80% de l'energia primària. Aquesta proporció s'ha mantingut quasi inalterada durant les darreres dècades, tot i l'esforç recent de les economies avançades per reduir-ne el consum i potenciar les fonts renovables, ja que la lleu reculada als països OCDE es veu més que compensada per l'augment en països emergents com ara la Xina o l'Índia. O sigui, per cada nou kWh renovable, es consumeixen 4 kWh de combustibles fòssils.

L'Àfrica, la regió menys desenvolupada, segueix dependent en gran manera de la biomassa, mentre que l'ús de combustibles fòssils es manté al voltant del 50% durant tot el període. En moltes zones del continent hi domina una economia de subsistència, amb bona part de la població dedicada a la producció d'aliments.

L'energia nuclear, no renovable i contaminant, tot i que amb una incidència molt més reduïda en l'efecte d'hivernacle, té la participació màxima en el mix energètic l'any 2000 amb un 6,7% i després cau, el 2017, al 4,9%.

L'ús d'energia primària *per capita* a Europa (UE-28, figura 2b) és unes quaranta vegades l'energia endosomàtica, per sobre d'una societat industrial en l'esquema de Cook. El 2005, just abans de la crisi de 2008, arriba al màxim de 42,1 vegades i segueix una davallada fins a 37,1 vegades el 2017 (inferior a l'any 1990), fet que està d'acord amb la seva desindustrialització i, en part, es deu a la millora de l'eficiència. Els països analitzats mostren tendències semblants, amb valors més alts a Alemanya i França que a Itàlia i Espanya, i una dinàmica pròpia al Regne Unit. L'ús energètic de Catalunya (40,9 vegades el 2017) és més proper al dels països del nord. El mix es basa quasi exclusivament en energies no renovables (fòssils i urani; vegeu la figura 3), que, conjuntament, subministren entre el 80% i el 90% de l'energia primària de les principals economies europees. Catalunya, tot i no disposar d'aquests recursos, és un cas paradigmàtic de dependència d'energies no renovables importades, que suposaven encara el 2017 el 93% de l'energia primària.

3. La doble crisi dels fòssils: energètica i climàtica

En les properes dècades, la humanitat haurà d'afrontar grans reptes, atès que els usos que fa dels recursos de la Terra estan arribant als seus límits (pèrdua de biodiversitat, contaminació dels aqüífers, degradació dels sòls fèrtils), entre els quals destaquen l'exhauriment de les fonts energètiques no renovables i el canvi climàtic. Aquests dos factors incideixen tant en el medi natural com en la vida de les persones, i es fa difícil predir quin assolirà abans proporcions catastròfiques.

La figura 4 mostra l'evolució de la població i de l'ús dels diferents tipus d'energia primària al món en el període 1750-2018, dos segles i mig que van des de l'inici de la Revolució Industrial al Regne Unit fins a l'actualitat.

En primer lloc, crida l'atenció el gran creixement de la població mundial en el període analitzat, en què es multiplica gairebé per deu; anteriorment, per un creixement de deu vegades van haver de transcórrer prop de quatre mil·lennis, des del 2000 aC (uns 70 milions d'habitants) fins a 1750 dC (uns 700 milions d'habitants). En el mateix període, l'ús d'energia primària es multiplica per 46,4, o sigui, un augment de l'energia *per capita* de gairebé cinc vegades, que té unes conseqüències importants.

Aquest creixement tendeix a ser exponencial. Si es posa com a referència la fi de la Segona Guerra Mundial, entre 1750 i 1945 (cent noranta-cinc anys) la població creix 3 vegades i l'energia, 6,3, mentre que entre 1945 i 2017 (setanta-dos anys, poc més d'una tercera part del temps anterior), la població creix 3,2 vegades i l'energia, 7,4.

En segon lloc, el paper dominant passa de les fonts renovables als fòssils. Abans de la Revolució Industrial, les principals fonts d'energia eren renovables, amb una menció especial per a la biomassa, tot i que la tala indiscriminada havia portat moltes zones a la desforestació. Les fonts renovables, en no ser capaces de proporcionar la potència necessària per a fer funcionar tota la maquinària, es van veure superades pel carbó a principi de segle xx. Des d'aleshores, els combustibles fòssils han estat la font energètica dominant, començant pel carbó a la primera meitat del segle xx i seguint pel petroli a la segona meitat, amb el gas natural, que el segueix de prop. Des de 1960, les fonts no renovables superen el 80% del mix energètic, amb un màxim del 87,6% el 1973, coincidint amb la primera crisi del petroli.

L'energia nuclear, que semblava destinada a rivalitzar amb els fòssils com a font primària principal, s'ha mantingut en un paper secundari, amb un màxim del 6,7% del mix energètic a tombant de segle XXI i avui en dia no arriba al 5%.

El creixement galopant dels usos de l'energia i l'elevada proporció de fonts no renovables i contaminants en el mix energètic comporten dos problemes greus per al futur de la nostra civilització:

1. L'exhauriment d'aquests recursos, avui dia bàsics en el sistema energètic, sense que s'hagi previst el desenvolupament d'una alternativa.

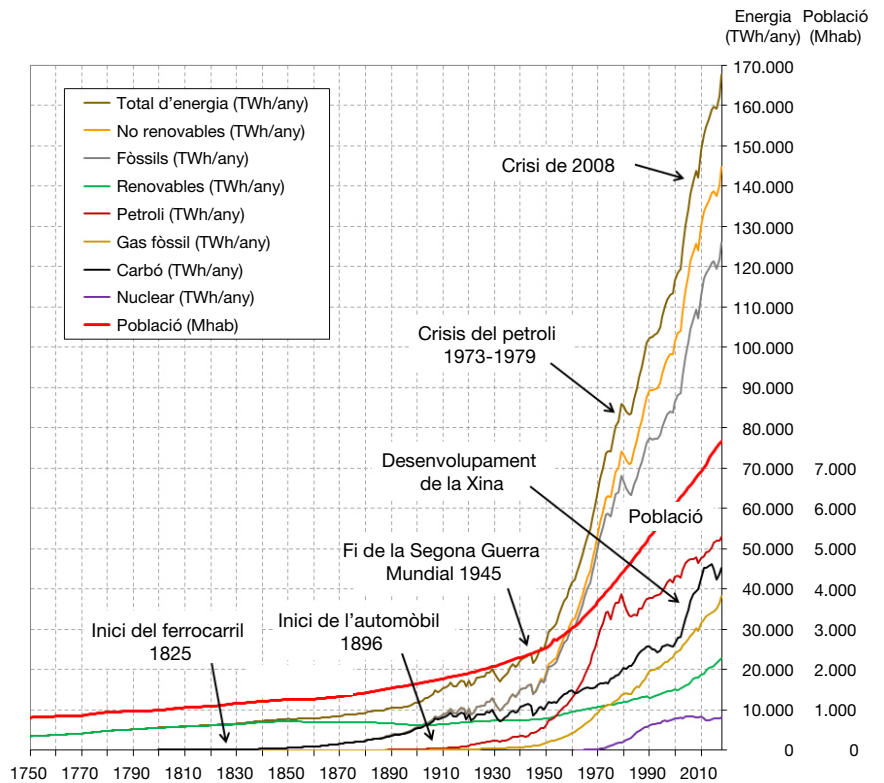


FIGURA 4. Consums d'energia del món, 1750-2018.
 FONTS: IEA, 2020, pel que fa a les dades sobre l'energia; Banc Mundial, 2020, pel que fa a les dades sobre la població.
 ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva.

2. El canvi climàtic, degut a l'augment de la temperatura mitjana de la Terra per l'efecte d'hivernacle que provoquen el CO₂ i altres gasos emesos durant la combustió de combustibles fòssils.

En els apartats següents s'analitzen aquests dos aspectes.

4. Exhauriment de les reserves d'energia no renovable

Avui, els recursos no renovables són la font principal d'energia que fa moure els processos que sustenten l'economia global. Són recursos no renovables els que estan presents en quantitats finites o que tenen una regeneració molt inferior al consum. El carbó i els hidrocarburs es van formar fa diversos centenars de milions d'anys a partir de matèria orgànica vegetal i animal. L'urani es va formar amb la Terra fa 4.500 milions d'anys i el nucli del seu isòtop energèticament útil, l'U-235, és inestable, va disminuint amb el temps i, actualment, tan sols representa el 0,7% de l'urani natural, que, d'altra banda, tampoc no és particularment abundant.

Les reserves són els recursos no renovables presents a la naturalesa que es poden obtenir amb mitjans tècnics i condicions econòmiques operatives. Avui dia, la major part de reserves ja han estat descobertes i, malgrat que noves tècniques o condicions econòmiques poden convertir alguns recursos coneguts en reserves, aquestes tenen un límit.

Es pot pensar que el límit està en l'exhauriment total dels combustibles fòssils, el qual una senzilla extrapolarció dels consums actuals comparada amb les reserves conegudes situaria d'aquí a quatre o cinc dècades. Però, en una economia que creix, el moment crític no és l'exhauriment total d'una reserva sinó el moment en què la producció arriba al màxim, després del qual comença el declivi.

El 1956, el geòleg i geofísic americà M. K. Hubbert establí la teoria segons la qual l'extracció d'un recurs finit i no renovable segueix una forma de campana simètrica (corba de Hubbert), amb un màxim (zenit o pic petroler) un cop extretes la meitat de les reserves, i va predir, amb les reserves aleshores conegudes, que la producció de petroli dels EUA hi arribaria el 1970, fet que es va confirmar.

U. Bardi afegeix un nou escenari a la incertesa, que anomena *efecte Sèneca* (nom basat en la citació de Sèneca al seu amic Lucili: «El creixement és lent, però la ruïna és ràpida»). Aquest efecte, constatat en molts contextos, parteix de models dinàmics complexos i fa referència al col·lapse ràpid d'un sistema econòmic estressat i poc resilient, després del zenit de producció d'un recurs bàsic com el petroli.

Diversos autors van preveure el zenit del petroli el 2006, amb una producció d'uns 85 milions de barrils diaris. Però, amb tècniques millorades d'extracció en jaciments exhaurits i pous d'aigües profundes, i, darrerament, amb l'expansió de la fracturació hidràulica (o *fracking*) als EUA, la producció ha arribat a les portes de la pandèmia de la COVID-19 amb uns 100 milions de barrils per dia. No deu ser que aquestes accions estan modificant la dinàmica

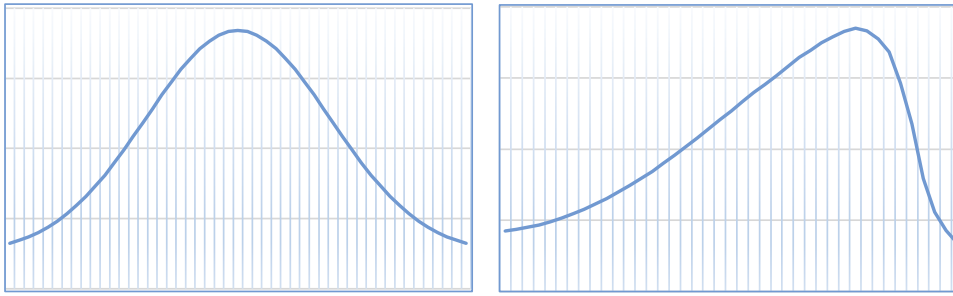


FIGURA 5. Corba de Hubbert (esquerra) i efecte Sèneca (dreta).
FONT: Elaboració pròpia.

d'extracció del model de Hubbert cap a l'efecte Sèneca i, per tant, els temps de reacció són molt més breus?

Al decantament vers l'efecte Sèneca s'hi afegeix el fet que els rendiments de les noves extraccions són cada cop menys eficients. Si a principi de segle xx amb l'energia d'un barril de petroli se n'extreien 100, amb algunes de les darreres tecnologies se n'extreuen menys de 5, ja prop del límit de la inviabilitat. Alhora, l'augment dels costos d'extracció fa que aquestes tecnologies siguin molt menys atractives davant d'altres alternatives, com ara les energies renovables.

D'altra banda, el sistema econòmic actual es fonamenta en l'augment de la producció de béns i serveis, o sigui, en l'expansió de l'ús d'energia i de recursos. Un cop superat el zenit del petroli, hi ha el perill de col·lapse econòmic, tret que s'obtingui l'energia d'una altra font.

5. Les emissions i el canvi climàtic

L'atmosfera originària de la Terra era majoritàriament de CO₂ (com la de Venus i la de Mart), però l'acció de microorganismes anaerobis durant centenars de milions d'anys van anar fixant el carboni (C) fins a donar lloc a l'atmosfera actual, el medi al qual estem adaptats, formada majoritàriament per nitrogen (N₂), oxigen (O₂) i traces de CO₂ i altres gasos, i quantitats variables de vapor d'aigua.

En el darrer milió d'anys, la quantitat de CO₂ a l'atmosfera terrestre ha oscil·lat entre 200 ppm (parts per milió), durant les glaciacions, fins a 300 ppm, en les èpoques interglacials (figura 6). Amb la crema dels combustibles fòssils per a obtenir energia, darrerament estem restituint a l'atmosfera una part del CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle fixats al subsòl (l'any 2020, 410 ppm).

Hi ha un consens general que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle indueixen a un augment de la temperatura mitjana de la Terra amb greus conseqüències sobre el clima. El vapor d'aigua (i els núvols) també té efecte sobre el clima, però el cicle d'evaporació i de precipitació dona lloc a efectes compensatoris, mentre que el CO₂ persisteix a l'atmosfera.

Alguns dels efectes del canvi climàtic són la pujada del nivell del mar (segons Winkelmann *et al.*, 2015, la capa de gel antàrtica emmagatzema aigües que equivalen a 58 m d'elevació del nivell del mar), la desertització de zones habitades, l'augment d'episodis climàtics extrems (huracans, inundacions), la desaparició de glaceres i reserves d'aigua a les capçaleres dels rius, la menor productivitat agrícola, la disminució de pesqueries i la pèrdua de la biodiversitat.

Des de l'any 2012, Earth System Science Data publica els estudis *Global carbon budget* (ESSD, 2020), que presenten els balanços de CO₂, tant pel que fa als emissors (combustibles fòssils, processos industrials i canvis d'ús dels

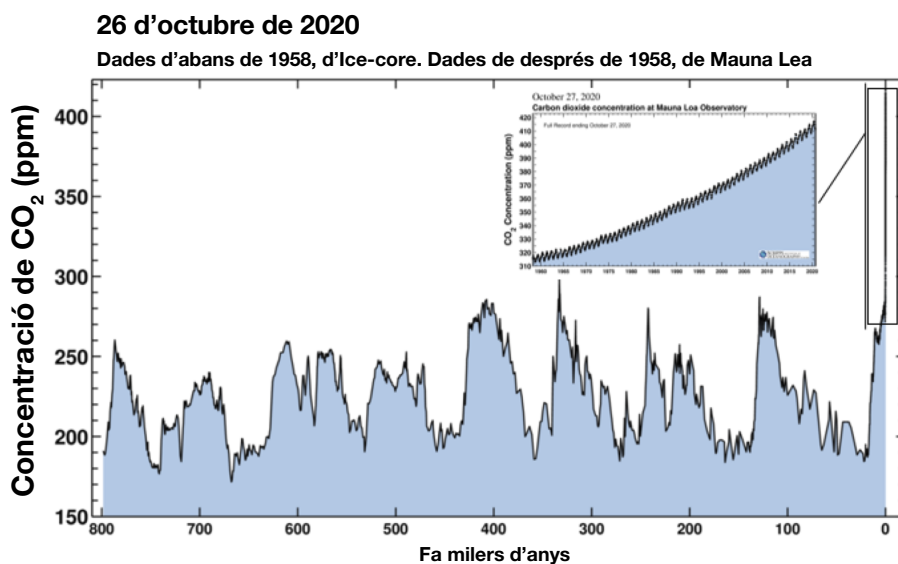


FIGURA 6. Contingut de CO₂ atmosfèric (ppm) els últims 800.000 anys.
FONT: Scripps Institution of Oceanography. Universitat de San Diego.
ELABORACIÓ: Adaptació de Genís Riba i Laura Tudurí Sanchis.

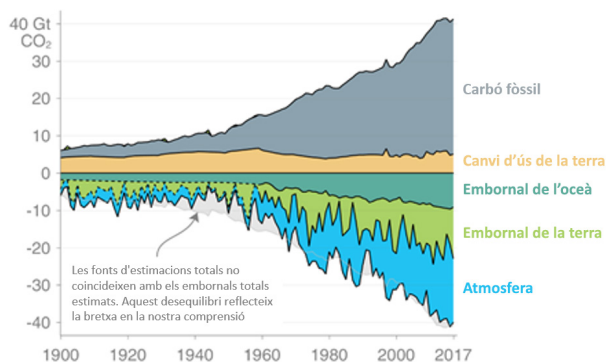


FIGURA 7. Equilibri de fonts i embornals de CO₂ des de 1900 fins a 2017. FONT: ESSD, 2020; Global Carbon Project, 2020. ELABORACIÓ: Adaptació de Carles Riba i Laura Tudurí Sanchis.

sòls) com als embornals (atmosfera, oceans i els sòls amb la vegetació). La figura 7 en mostra l'evolució des de 1900 fins a 2017, mesurats en CO₂.¹ Hi hem afegit els valors numèrics de cada un dels components per a l'any 2017 en Pg CO₂.² El desequilibri posa de manifest la lleugeresa amb què estem obviant les repercussions de les emissions i el desconeixement que encara tenim sobre el comportament dinàmic del sistema.

Tal com es comprova a la figura 7, al final de la Segona Guerra Mundial hi ha un canvi de tendència en les emissions de CO₂ que correspon a l'ús dels combustibles fòssils, amb uns efectes acumulatius en el canvi climàtic i en l'acidificació dels oceans molt acusats al llarg del temps.

Des de 1750 fins a 2017 (és a dir, l'era industrial), les emissions mundials acumulades sumen uns 430 Pg CO₂ per la crema de combustibles fòssils i uns 250 Pg CO₂ pel canvi d'ús dels sòls (artigues, incendis, urbanització). Aquestes emissions han estat absorbides pels sòls i la vegetació (uns 215 Pg CO₂), els oceans (uns 165 Pg CO₂) i l'atmosfera (uns 270 Pg CO₂), amb un valor de desequilibri de 30 Pg CO₂ per manca de coneixement sobre aquests sistemes. El 40% de les emissions antropogèniques, doncs, han anat a l'atmosfera i han incrementat l'efecte d'hivernacle. El 60% restant s'ha repartit entre els sòls, la vegetació i els oceans, on tampoc no són innòcues, ja que alteren els cicles químics que regulen la vida i canvien els medis als quals estan adaptades les espècies.

6. Impuls cap a la transició energètica

La solució de totes dues crisis passa necessàriament (tot i que no de manera suficient) per la transició vers les fonts energètiques renovables. La principal dificultat per a activar aquesta transformació és més de percepció i d'accepta-

1. Dotze unitats de C corresponen a quaranta-quatre unitats de CO₂.

2. Pg: petagram, que equival a mil bilions de grams; aquesta unitat també es coneix com a gigatona (Gt), que equival a mil milions de tones.

ció social que no pas tècnica, i hi conflueixen diversos corrents de falta de voluntat col·lectiva, des dels interessos de les empreses energètiques oligopolístiques i la desídia acomodaticia de la ciutadania dels països rics, fins al desig de les poblacions dels països en desenvolupament de millorar les condicions de vida seguint el model occidental, tot i el nivell de destrucció que comporta.

L'atenció pública i mediàtica s'ha centrat sobretot en el vessant climàtic de la doble crisi, i és per això que també ha comportat més acció política, almenys de domini públic. La COP-21 (XXI Conferència de les Parts), reunida a París el 2015, en el marc de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), va prendre un important acord subscrit per 195 països (pràcticament, tots els de la Terra), vigent a partir de 2020, que s'emmarca en els principis següents:

a) Contenir l'augment de la temperatura mitjana de la Terra respecte als nivells preindustrials per sota de 2 °C i prosseguir els esforços per limitar-la a 1,5 °C.

b) Augmentar la capacitat d'adaptació als efectes adversos del canvi climàtic i promoure les baixes emissions sense comprometre la producció d'aliments.

c) Elevar els corrents financers compatibles amb un desenvolupament resilient.

Els efectes de les emissions de CO₂ sobre el clima són acumulatius, atès que és un compost estable que es pot mantenir a l'atmosfera durant segles, fins i tot en els escenaris més favorables. Per tant, s'hauria de completar la transició energètica no més enllà de 2050 i, com més s'avanci, la recuperació serà millor. L'acord de la COP-21, junt amb les avaluacions sobre la necessitat de limitar l'ús de les reserves de fòssils, comença a fer capgirar les percepcions. S'abandonen les prospeccions i alguns capitals es reorienten a les inversions en renovables.

Com a derivada, els acords de París també poden ajudar a pal·liar la crisi de disponibilitat dels combustibles fòssils. Partint de l'objectiu de limitar l'increment de temperatura a 2 °C, McGlade i Ekins (2015) avaluen que les emissions acumulades de carboni entre 2011 i 2050 no haurien de sobrepassar les 1.110 Pg CO₂, mentre que la combustió de totes les reserves de fòssils n'emetrien unes tres vegades més. Per tant, suggereixen que, a escala mundial, un terç de les reserves actuals de petroli, la meitat de les reserves de gas i més del 80% de les reserves de carbó han de romandre inutilitzades sota terra.

7. Què comporta la transició energètica?

Des del punt de vista estrictament tècnic, la transició energètica suposa una transformació total dels models de generació d'energia, però també dels models de producció agrícola, industrial, de mobilitat i de serveis. És difícil de copsar la magnitud de la tasca que representa la transició a les energies renovables. Tot seguit, es posen uns quants exemples a diverses escales per emmarcar les dimensions de la transició:

Indústria dels fòssils. Abandonar els combustibles fòssils implica desmantellar les indústries mundials del carbó i dels hidrocarburs. Aquesta darrera, només en activitats ai-gües amunt (exploració, extracció, transport i refinaria), mou uns tres bilions d'euros anuals (més de dos cops el producte interior brut [PIB] d'Espanya). A això cal afegir una plèthora d'indústries associades, com ara els materials petroquímics, i més d'un segle de tecnologies i d'indús-tries basades en l'ús del petroli, entre les quals una de les més destacades és la de l'automòbil.

Indústria de l'automoció. La substitució de milions de vehi-cles amb motor de combustió interna (1.100 milions d'au-tomòbils, 360 milions de camions, 300 milions de motoci-cletes, 60 milions de locomotores dièsel, 53 milions de vaixells i 26 milions d'avions comercials) a un sistema al-ternatiu de mobilitat elèctrica, sigui quin sigui el model que s'acabi imposant, és una altra tasca descomunal. A Es-panya, la indústria automobilística és un 5% del PIB i puja fins al 7% si s'hi inclouen les indústries associades.

Generació d'energia en un bloc de pisos. Un edifici de pisos, amb planta baixa més cinc pisos, amb vint-i-quatre veïns (entre famílies i botigues), pot tenir un sostre d'uns 400 m². Suposant una superfície fotovoltaica útil de 200 m², es po-drien captar uns 25.000 kWh/any. A Espanya, cada llar usa uns 4.000 kWh d'electricitat a l'any (96.000 kWh/any entre tots els veïns), sense tenir en compte els serveis generals de l'edifici ni la futura alimentació dels vehicles elèctrics; o sigui, tindria la capacitat de generar poc més d'una quarta part de l'energia mínima que necessiten els veïns. El mateix bloc requereix uns 40.000 kWh/any d'energia tèrmica per a aigua calenta sanitària, que, a diferència de la capta-ció fotovoltaica, suposen tan sols uns 40 m² de panells ter-mosolars.

Indústria intensiva en energia. Es parteix d'una indústria amb processos a alta temperatura (metal·lúrgica, cimentera, ceràmica o química) que ocupa unes 8 ha i consumeix 200 GWh/any de gas fòssil i 50 GWh/any d'electricitat. Per fer la transició a energies renovables (en què se substitueix el gas fòssil per hidrogen) caldrà associar aquesta indús-tria a un o més parcs fotovoltaics que sumin una superfície bruta de captació d'unes 420 ha (el municipi de Cornellà de Llobregat en té 680 ha) o a un o més parcs eòlics que su-min unes 80 turbines de 2 MW per obtenir l'energia renova-ble necessària.

Vaixell portacontenidors. Avui dia, una gran part, cada cop més gran, dels productes es transporten en contenidors i, de manera molt majoritària, per mar. Comencen a ser habi-tuals vaixells portacontenidors de 8.000 TEU³ que recorren uns 120.000 km/any, amb un consum de fuel d'entre 210 i 300 GWh/any. Si se substitueix el fuel per dihidrogen (H₂), moure un d'aquests vaixells vol dir disposar de parcs foto-voltaics o eòlics semblants als de la indústria de l'apartat anterior.

3. Vaixells de 8.000 TEU (amb contenidors de vint peus) de 340 m d'eslora i 42,5 m de màniga que naveguen a 21-25 nusos (o *knots*, en anglès) per hora.

Subministrar electricitat a una ciutat de 100.000 habitants. El 2017, els usos globals d'electricitat a Catalunya (llars, serveis i indústries) eren de 15,8 kWh per habitant i dia, o sigui d'1,58 GWh/dia, en una ciutat de 100.000 habitants. Per a emmagatzemar tan sols l'energia elèctrica d'un dia per cobrir episodis climàtics adversos, i tenint en compte els rendiments corresponents, caldrien o bé unes 50.000 ba-teries d'automòbil d'ió liti de 40 kWh amb un cost total d'uns 500 milions d'euros, o bé obtenir uns 105.000 kg d'hi-drogen de l'electròlisi de 950 tones d'aigua (quasi una pis-cina olímpica) i emmagatzemar-los en dipòsits a 200 bars de pressió que ocuparien un volum total d'uns 7.000 m³.

Afectació del territori a Catalunya. La superfície necessària per a captar les energies renovables per al sistema energè-tic català (sense pèrdua de qualitat de vida) és del 2% del territori del país, unes 64.000 ha. En comparació, la su-perfície artificialitzada a Catalunya (convertida en urbana i infraestructures) és de 219.000 ha (6,8% del territori; IDESCAT, 2020), una part molt substancial de la qual ha estat afectada i/o consolidada ja en el present segle.

No és imaginable, doncs, ara un canvi en els usos del sòl condicionats per la transició energètica? La importàn-cia d'aquestes noves afectacions territorials aconsella po-sar l'èmfasi en els principis següents:

- 1) Millorar els rendiments de tots els processos.
- 2) Eliminar els usos energètics inútils o inadequats.
- 3) Situar les superfícies de captació prioritàriament en indrets ja artificialitzats o en zones degradades.
- 4) En cas de noves afectacions, fer-les de manera res-pectuosa envers la natura, els ecosistemes i la biodiversitat, i als terrenys de menys valor agrari.

8. Energia grisa i impacte energètic

L'*energia grisa* o *incorporada* (en anglès, *embodied* o *embedded*, respectivament) és la suma de l'energia que ha estat ne-cessària per a obtenir un material, un producte o un servei, com si aquesta s'hi hagués incorporat. A diferència de l'*energia directa*, és a dir, la vinculada a l'ús, l'energia grisa resta oculta al consumidor. Per exemple, el consum horari d'un ordinador portàtil pot ser d'uns 0,060 kWh (energia directa); produir aquesta electricitat pot haver comportat la dissipació de 0,150 kWh en una central tèrmica (energia grisa de l'electricitat), i produir l'ordinador (materials in-closos) pot haver requerit uns 500 kWh (energia grisa de l'ordinador).

Partint dels conceptes *impacte energètic*, *energia directa* i *energia grisa*, el treball *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* (IDDRI, 2013) proporciona una visió més ajustada dels usos energètics reals de les diferents societats tenint en compte els efectes de la importació i l'exportació de materials, béns i serveis. Aquest estudi se centra en l'impacte energètic, és a dir, l'energia necessària per a satisfer totes les necessitats de la ciutadania d'un territori (alimentació, habitatge, mobilitat, salut, educació, cultu-ra, entreteniment), tant si l'ús energètic s'ha fet al territori

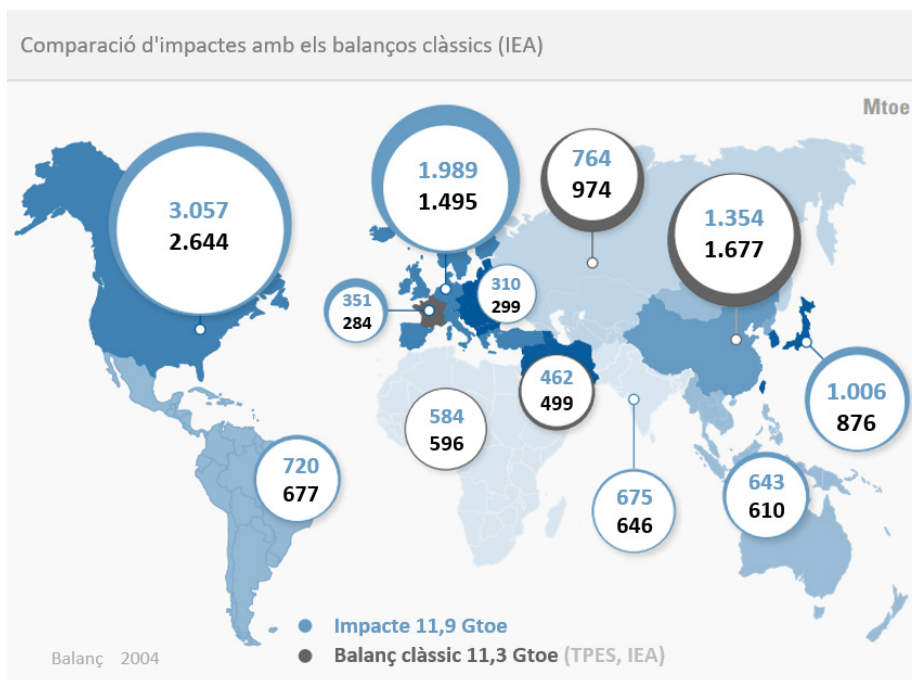


FIGURA 8. Comparació de la petjada energètica i els balanços en diferents regions i països del món (2004).
 FONT: IDDRl, 2013.
 ELABORACIÓ: Adaptació de Laura Tudurí Sanchis.

com en un altre lloc, en comptes de l'energia subministrada al territori, com fan els balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia (IEA, 2020).

Això pot semblar tan sols una manera diferent de comptabilitzar els usos energètics reals, però quan s'aplica a un territori concret (país o regió) i s'hi inclou l'energia grisa del balanç d'importació-exportació, l'impacte energètic del territori augmenta si el balanç és positiu i disminueix si és negatiu. La diferència rau en l'energia que els balanços de l'IEA comptabilitzen al territori on resideix qui produeix el bé o servei, i que l'impacte energètic comptabilitza al territori on resideix qui se'n beneficia.

La figura 8 ofereix una avaluació comparativa entre l'impacte energètic (*energetic impact*, en anglès) i els balanços energètics de l'IEA (*classic balances*) en diferents països i regions del món per a l'any 2004.

Els països o regions amb impacte energètic superior al balanç energètic, o sigui, importadors nets d'energia grisa, són de l'OCDE (Europa, l'Amèrica anglosaxona i l'OCDE-Àsia), mentre que entre els exportadors destaquen la Xina, en la seva funció de fàbrica del món, i les regions exportadores de combustibles fòssils (Euràsia i l'Orient Mitjà). L'energia grisa importada a Europa (amb França i l'Europa de l'Est) incrementa un 27,5% l'energia subministrada.

9. L'energia a Catalunya

A partir del balanç energètic de Catalunya (Idescat, 2020) i aplicant el valor mitjà d'increment d'energia grisa importada a Europa (27,5%), s'ha confeccionat l'esquema de la figura 9, que posa de manifest l'impacte energètic de Catalunya per al 2017. Cada cercle incorpora un aspecte nou dels usos energètics, mentre que les àrees entre cercles

representen la magnitud de cadascun. Els cercles estan organitzats de manera que com més gran és, més s'allunya de l'usuari i, per tant, és més difícil de percebre'l i tenir-lo en consideració.

Els tres cercles interiors, de color blau, representen els consums energètics que els ciutadans usen en forma d'electricitat, de combustibles domèstics (gas, gasoil per a calderes, butà o llenya) i de combustibles per a la mobilitat (gasolina, gasoil). Aquests consums energètics són molt presents i propers a la majoria de les persones, ja que els paguen explícitament com a energia.

L'àrea verda és l'energia final consumida en activitats no domèstiques: agricultura, ramaderia i pesca; indústries i construcció; serveis públics i serveis privats; la mobilitat col·lectiva i el transport de mercaderies. Els ciutadans saben que tot això requereix energia, però no en perceben de manera clara i directa la magnitud, especialment pel que fa a les activitats més consumidoras (ciment, processos metal·lúrgics, química, avions comercials i grans vaixells). I cal assenyalar que aquests consums són un 150% superiors als del tres d'usos familiars junts.

Els dos darrers consums són els més invisibles de tots. L'àrea rosa és l'energia dissipada per la indústria de l'energia (carboneres, petrolieres, gasistes, elèctriques) en l'obtenció dels vectors energètics finals (electricitat i combustibles comercials) que usen els ciutadans, les empreses i les administracions. I l'àrea groga és l'estimació (amb el percentatge mitjà d'Europa) de l'energia consumida en altres indrets i importada en forma de béns i serveis que s'utilitzen a Catalunya.

Així doncs, mentre que els tres primers consums domèstics no sumen ni el 20% de l'impacte energètic català, els dos darrers components d'energia grisa més invisible sobrepassen el 50%.

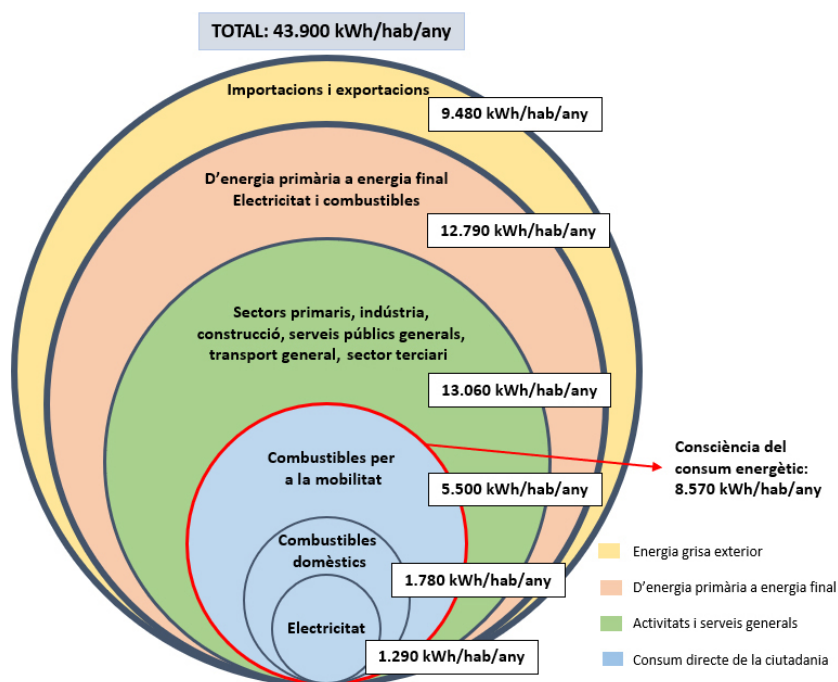


FIGURA 9. Representació dels usos energètics globals a Catalunya.
 FONT: Idescat, 2020, i IDDRI, 2013.
 ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

10. Percepcions esbiaixades sobre l'energia

Hi ha una consciència difusa sobre la importància de l'energia en totes les activitats de la vida humana. Però un dels aspectes més preocupants és que molts ciutadans i responsables polítics i empresarials, ocupats obsessivament en el dia a dia, tenen percepcions esbiaixades sobre els usos reals de l'energia, una part important dels quals els resten ocults.

El sistema energètic actual, concebut de dalt a baix, s'estructura en unes poques empreses oligopolístiques que transformen les energies primàries en vectors energètics (electricitat, combustibles comercials) subministrats a través de xarxes als usuaris (ciutadans, empreses i administracions), que els perceben com a sistemes de potència infinita, o sigui, amb la capacitat d'absorbir qualsevol nova càrrega (o eliminar-la) sense patir alteració. L'usuari confia que el sistema respondrà a qualsevol circumstància. Però, analitzat el sistema energètic amb una visió àmplia, aquest depèn d'uns combustibles fòssils en plena crisi que contaminen, causen el canvi climàtic i ja encaren el pendent del declivi.

La figura 9 mostra que la major part dels usuaris tenen una percepció de l'energia reduïda als usos més propers i obliden que disposar dels béns i serveis ha requerit la major part del sistema energètic en forma d'energia grisa. Aquest fet és enormement contraproduent per a transitar vers un nou sistema d'energies renovables, menys intenses que els fòssils i l'urani, i que requereixen noves actituds, noves formes de gestió i d'infraestructures molt diferents de les actuals.

Cal, doncs, que la ciutadania prengui consciència dels canvis que comporta la transició energètica i prengui decisions ben informades, tot apropant el sistema energètic

als usuaris i visibilitzant tot l'itinerari energètic, i no tan sols el seu ús presidit pel preu.

11. Transició energètica i canvi de paradigma

Paradigma significa 'exemple' o 'model', i es refereix al conjunt de creences, d'idees i de percepcions que una societat accepta com a veritables o falses sense posar-les a prova. El pas dels combustibles fòssils a les fonts renovables no es limitarà a una simple substitució de les unes per les altres. Atesa la seva diferent naturalesa, la transició anirà molt més enllà i incidirà (esperem que de manera positiva) en els comportaments de les persones i en l'organització de la societat. A continuació s'esbossen els principals canvis que la transició energètica a les energies renovables comportarà en el paradigma actual:

1. *De gestionar estocs a gestionar fluxos.* Les fonts no renovables (els fòssils) es presenten en forma d'estocs a partir dels quals es gestiona l'oferta en funció de la demanda. En canvi, les fonts renovables (en especial, la fotovoltaica i l'eòlica) es basen en fluxos naturals intermitents i/o aleatoris (radiació solar, vents, pluges), de manera que cal prioritzar-ne la captació en el moment en què es produeixen i, si convé, emmagatzemar-los. Fent un símil amb l'economia, diríem que el sistema energètic actual viu del capital (l'estoc de fòssils), mentre que el futur sistema energètic renovable viurà del salari (els fluxos renovables). Aquest canvi és un dels aspectes més determinants del nou paradigma, que afectarà les actituds, les formes de gestió i les infraestructures.

2. *D'una economia de creixement a una de contenció.* Viure d'un capital porta a la temptació de dilapidar-lo. I és el que fa avui dia l'economia associada estretament als recursos i

a l'energia: no funciona si no creix. El sistema energètic renovable està limitat pel valor de la irradiació solar, les tecnologies per capturar-ne l'energia i els límits dels ecosistemes terrestres, entre els quals hi ha els materials escassos i la necessitat de tornar a implantar processos circulars. El nou paradigma renovable s'ha d'adaptar a una economia emmarcada per activitats sostenibles al llarg del temps.

3. *D'energia tèrmica a energia elèctrica.* El paradigma energètic bascula d'un mix dominat per fonts que generen calor (carbó, petroli, gas) a un nou mix en què predominen les que generen electricitat (fotovoltaica, eòlica, hidroelèctrica). El sistema actual transforma (amb un rendiment molt baix) la major part dels combustibles en electricitat (centrals tèrmiques i nuclears) i en mobilitat (motors tèrmics), mentre que el nou sistema renovable haurà de transformar (amb un rendiment alt) una part de l'electricitat en calor (bomba de calor) i en mobilitat (tracció elèctrica). Atès que l'electricitat s'ha d'usar en el mateix moment en què es genera, això duu a prioritzar la gestió de la demanda (en lloc de l'oferta) i a desenvolupar i gestionar un sistema d'emmagatzematge massiu inexistent en el sistema energètic actual.

4. *Disminueix la densitat energètica.* Per primer cop en l'evolució humana, es passa d'unes fonts fòssils i nuclears de més densitat energètica (en MJ/kg i MJ/litre) vers unes fonts renovables de menys densitat energètica (radiació solar, vents i corrents d'aigua). Aquest canvi, que topa amb el paradigma d'una població acostumada a les potències elevades, condueix a l'estalvi i l'eficiència energètica, alhora que també possibilita els usos distribuïts i de proximitat.

5. *Canvis geopolítics en l'accés a l'energia.* Les reserves de fòssils estan geogràficament concentrades (i, al nostre país, són llunyanes), generen forts impactes ambientals i requereixen grans infraestructures i capitals. En canvi, les fonts renovables són distribuïdes, més properes i de fàcil accés, molt escalables, menys intensives pel que fa a capital i d'impactes menors en el territori i el medi ambient. El nou paradigma renovable, alhora que reforça la participació a través de l'autoconsum, consolida la xarxa elèctrica com una veritable àgora energètica, en què es comparteixen els excedents i les manques d'energia, i en què també s'alimenten els serveis generals i les infraestructures. Els drets d'accedir a la xarxa i de participar en la seva gestió han d'esdevenir un dels pilars del nou paradigma renovable.

6. *Nova relació entre energia i territori.* El sistema energètic actual es basa, majoritàriament, en captacions pretèrites d'energia solar durant milions d'anys a través de la matèria orgànica fossilitzada de plantes i d'animals. El nou sistema renovable es basa en la radiació solar d'avui dia, ja sigui de forma directa (solar, tèrmica, fotovoltaica) o indirecta (precipitacions, vents, biomassa). Això afegeix nous requeriments de superfícies de captació (fotovoltaica, biomassa) al territori o d'espais (eòlica, hidroelèctrica) inexistents en el sistema no renovable. Atesos els conflictes ja existents sobre els usos del territori, aquest és un dels aspectes que demanarà més atenció del nou paradigma renovable.

7. *Nou equilibri entre local i global.* L'energia dels fòssils, concentrada i de baix cost, ha generalitzat el transport i ha

reforçat els mercats globals davant dels locals, on els productes importats han anat destruint bona part de la relació entre les comunitats locals i els recursos i les fonts d'energia de l'entorn. Avui dia el petroli, que suporta el 95% del transport mundial, és el recurs fòssil més proper a l'exhauriment. Les alternatives per al transport pesant i a llarga distància (probablement, a partir de l'hidrogen) són comparativament més costoses i fan aconsellable una moderació de la globalització de mercaderies. Aquesta limitació torna a fer valer els recursos, l'energia i les activitats de l'entorn (de km 0), alhora que augmenta favorablement la resiliència de les comunitats locals.

8. *Reconnectar l'energia amb els usos.* Sorpren constatar que el concepte *energia* no es consolida fins molt tard, a final de segle XIX (Newton parlava de *forces* i no de *energia*), ja en plena Revolució Industrial, quan ja es produïen vectors energètics (vapor, embarrats), amb independència dels usos. La separació entre energia i ús, que subjau en el paradigma energètic no renovable, ha permès un gran progrés, però també ha fomentat moltes ineficiències. El nou sistema renovable, basat en fonts energètiques abundants i distribuïdes però de menor densitat energètica, ha de potenciar l'estalvi i l'eficiència tot capgirant el punt de vista: partir de les necessitats i dels usos, i, aigües amunt, anar a cercar la font renovable i l'itinerari energètic més favorables.

9. *Recuperar el protagonisme ciutadà.* Amb la consolidació del sistema energètic fòssil i nuclear, la població s'ha anat allunyant del seu control i gestió. Aquest estat de coses ha perdurat mentre aquests recursos no han esdevingut crítics: els oligopolis han fet grans negocis i la ciutadania se n'ha despreocupat. Però l'era dels fòssils i de l'urani arriba a la seva fi i s'ha de construir un nou paradigma d'acord amb unes energies renovables més distribuïdes, en què intervenen molts més actors que intercanvien entre si excedents i altres serveis energètics. Cal un canvi de paradigma mental que interpel·li ciutadans, empreses i administracions (tant els usuaris com els productors, els productors-consumidors o altres subministradors de serveis) per intervenir en la captació, els usos, la gestió i el control del sistema energètic.

12. Conclusions

Com a resum s'estableixen les conclusions següents:

1. Constatació de la crisi

Cal treballar per fer palesa la situació en què es troba la humanitat:

- a) La crisi actual dels fòssils, de caràcter energètic i climàtic, és profunda i afecta tots els àmbits de la vida i totes les activitats humanes: ho trastoca tot.
- b) Per fortuna, hi ha alternativa: la transició cap a les fonts renovables.
- c) Tanmateix, el soroll del dia a dia fa difícil correlacionar el malestar social creixent i els desastres naturals amb

la crisi energètica i climàtica; aquesta desconexió impedeix que molta gent faci un bon diagnòstic i prengui les decisions adequades. Insistir en aquest coneixement va en bona direcció.

d) Tot i que les noves fonts energètiques són més distribuïdes i accessibles a la ciutadania, per primera vegada, són menys concentrades que les anteriors (les fòssils), fet que genera percepcions negatives que cal vèncer.

2. Capgirar el paradigma obsolet

Cal treballar per construir un nou paradigma renovable del qual destaquen els elements següents:

a) Ha de partir de la finitud dels recursos naturals i abandonar la perspectiva del creixement continu.

b) Ha de donar prioritat a l'estalvi i l'eficiència, i reintroduir el concepte *circularitat dels materials i recursos* en les activitats.

c) Ha d'acceptar moderar les potències, aprendre a gestionar la demanda i articular el sistema d'emmagatzematge.

d) Cal una reconsideració global de la relació entre energia i territori.

e) L'encariment del transport farà que l'energia i els recursos propers tornin a tenir valor davant dels mercats globals.

f) S'ha de posar el centre d'atenció en els usos (amb sentit de responsabilitat) per anar a buscar aigües amunt els recursos més eficients.

g) Com a eines de suport, cal dissenyar els productes i serveis per fer-los sostenibles més enllà de la fi de vida i apostar per la digitalització com a eina per millorar l'eficiència i la sostenibilitat dels sistemes.

3. Posar-nos mans a l'obra

Davant de la crisi dels fòssils i de la transició energètica cal ser proactius:

a) Ningú no ens resoldrà la transició energètica: posem-nos mans a l'obra, hi ha feina per a tothom.

b) El sistema energètic renovable que s'ha de construir és nou: s'ha de perdre la por a l'error per atrevir-nos a innovar.

c) Cal concebre solucions resilients per quan fallin coses i preveure alternatives.

d) Finalment, tot i la novetat i complexitat del nou sistema renovable, caldrà edificar-lo amb l'esperit d'aprofitar al màxim tot allò ja existent.

Bibliografia

BANC MUNDIAL (2020). *Population, total* [en línia]. <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>> [Consulta: octubre 2020].

BARDI, U. (2017). *The Seneca effect: Why growth is slow but collapse is rapid* [en línia]. Springer, 2017. ISBN 978-3-319-57207-9. <<https://www.springer.com/gp/book/9783319572062>>.

COOK, E. (1971). «The flow of energy in an industrial society». *Scientific American*, vol. 255, núm. 3 (setembre).

ESSD = EARTH SYSTEM SCIENCE DATA (2019). «Global carbon budget 2019». *Earth System Science Data* [en línia], vol. 11, núm. 4. <<https://essd.copernicus.org/articles/11/1783/2019/>>. [Les dades són del 2017]

FURRÓ, E. (2016). *Catalunya: Aproximació a un model energètic sostenible*. Barcelona: Octaedro.

— (2019). *La transformació del sistema energètic: Recursos, raons i eines*. Barcelona: Octaedro.

HUBBERT, M. K. (1956). «Nuclear energy and the fossil fuels». *Drilling & Production Practice* (San Antonio, Texas: American Petroleum Institute), p. 7-25. [Actes de la Trobada de Primavera del Districte Sud de la Divisió de Producció de l'American Petroleum Institute]

ICAEN = INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA (2020). *Balanc energètic de Catalunya* [en línia]. <http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/annuals/balanc_energetic/> [Consulta: juliol 2020]. [Els resultats fan referència al període de 1990 a 2019]

IDDR1 = POUROUCHOTTAMIN, P.; BARBIER, C.; CHANCEL, L.; COLOMBIER, M. (2013). *Les cahiers du Club Ingénierie Prospective Énergie et Environnement*, núm. 22 (abril): *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* [en línia]. 82 p. <https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/clip22_nouvelles-representations-consommations-energie_web.pdf>.

IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2020). *Utilització del sòl* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=annuals&n=10547&tema=terri&t=201900>> [Consulta: octubre 2020]. [Les dades fan referència a l'any 2019]

IEA = INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2020). *Energy balances* [en línia]. <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables/?country=WORLD&energy=Balances&year=2018>> [Consulta: 2020].

MCGLADE, Ch.; EKINS P. (2015). «The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C». *C. Nature*, vol. 517, núm. 7533, p. 187-190.

RIBA ROMEVA, C. (2011). *Recursos energètics i crisi: La fi de 200 anys irrepitibles*. Barcelona: UPC. També disponible en línia a: <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/12972>>.

— (2012). *Recursos energètics i crisi: La fi de 200 anys irrepitibles*. Barcelona: Octaedro.

RIBA SANMARTÍ, G. (2016). *El cost de l'energia*. Barcelona: Octaedro.

WINKELMANN, R.; LEVERMANN, A.; RIDGWELL, A.; CALDEIRA, K. (2015). «Combustion of available fossil fuel resources sufficient to eliminate the Antarctic Ice Sheet». *Science Advances* [en línia], vol. 1, núm. 8, e1500589 (11 setembre). <<https://advances.sciencemag.org/content/1/8/e1500589>>.