

Fonts i usos de l'energia. Invertir el punt de vista

Genís Riba Sanmartí, Enginyer del CDEI-UPC, Membre de la Junta de CMES

Carles Riba Romeva, professor emèrit de la UPC, President de CMES

Jordi Pujol Soler, Enginyer, Membre de la Junta de CMES

Aina Barceló Cuerda, Enginyera industrial, Membre de CMES

Carles Sánchez Subirà, Enginyer, Membre de la Junta de CMES

RESUM

Per a qualsevol proposta sobre transició energètica cal conèixer la realitat energètica (fonts, transformacions, usos, impactes) i disposar d'eines adequades per a la seva mesura i comptabilització. Avui dia, l'eina més emprada a gran escala (regional, nacional i global) són els balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE), desenvolupats durant els anys 1970 i que, d'acord amb la realitat de l'època, reflecteixen la realitat d'una economia basada en els combustibles fòssils. És una aproximació de dalt a baix (top-down) que parteix de les energies primàries que, un cop transformades, donen lloc a l'energia final (o vectors energètics) que les empreses del sector energètic venen als usuaris. Hi és absent l'anàlisi de les transformacions de l'energia en els processos dels usuaris fins a l'energia útil, la que realment proporciona els efectes i activa els processos (calor, llum, moviment, conformació de la matèria, informació, comunicació, etc.). A mesura que el pes de les energies renovables ha anat augmentant en el mix energètic, aquesta metodologia s'ha mostrat incapaç d'incorporar-les de forma satisfactòria degut a la seva naturalesa de fluxos dispersos i distribuïts, temporalment variables, però permanents i inexhauribles. Aquesta comunicació té per objecte posar de manifest les mancances del model actual i proposar una nova comptabilitat energètica que incorpori l'energia útil i inverteixi el camí a recórrer: partir de les necessitats d'energia útil (a nivell d'usuari) i recórrer el camí invers aigües amunt en la cerca de les fonts i dels itineraris energètics més eficients. En centrar l'atenció en els usos d'energia útil, aquesta comptabilitat recupera part de la complexitat perduda i té la virtut de generar uns efectes pedagògics molt importants en els usuaris, planificadors i en el conjunt de la societat. Alhora, posa de manifest la més alta eficiència del sistema renovable respecte al sistema fòssil i nuclear.

Paraules claus: Energia, Energia Primària Comptabilitat energètica Energia Final, Energia Útil, Fonts energètiques usos energètics

1. Introducció

Els efectes ja tangibles del canvi climàtic posen les accions de mitigació climàtica a la primera fila d'acció sociopolítica pels propers anys. El principal objectiu de les accions de mitigació climàtica és la reducció de les emissions de CO₂ a l'atmosfera, idealment fins a obtenir emissions netes negatives, i són un esforç que s'ha de realitzar de forma global i organitzada. Algunes de les principals línies de mitigació climàtica són el manteniment i promoció de les masses forestals, canvis en els hàbits alimentaris per afavorir dietes baixes en emissions de CO₂, així com de canviar les pràctiques agroindustrials per evitar les entrades insostenibles i maximitzar la captura de CO₂. Però sobretot cal una transició energètica que deixi de banda els combustibles fòssils a favor de fonts primàries lliures de CO₂, així com uns usos més racionals de l'energia.

Es tracta d'accions que afecten el conjunt de la societat, i que per tant requereixen de la participació de tots els actors socials, així com de cooperació internacional. És a dir, el principal motor de la

mitigació climàtica són les polítiques públiques a tots nivells, però que posen especial èmfasi en els nivells nacionals i supranacionals.

A l'hora de prendre decisions, els responsables polítics es basen en les opinions d'experts de diversos àmbits i en les dades que les recolzen. És molt important posar de relleu que les dades, encara que es vulgui fer veure el contrari, mai no són neutrals, sinó que s'hi van introduint biaixos al llarg de tot el seu tractament. Aspectes com ara les dades que es recopilen i les que es deixen de recopilar, les magnituds que es fan servir, com es transformen, les hipòtesis i assumpcions que es fan, o com es presenten als representants polítics, són factors que poden variar el missatge que transmeten aquestes dades i per tant les polítiques que se'n deriven.

Això atorga un poder molt particular a les agències que proporcionen dades a governs i organitzacions, ja que les seves decisions a l'hora d'obtenir, tractar i presentar dades tenen un efecte directe en el procés de presa de decisions. Hi destaquen l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) i la Energy Information Administration (EIA) dels Estats Units d'Amèrica. Addicionalment, la majoria de països tenen un servei estadístic o una agència d'energia pròpia que monitoritza els fluxos interns i en el cas de Catalunya tenim una agència subestatal, l'Institut Català de l'Energia (ICAEN).

El sistema energètic és actualment l'emissor més important de CO₂ relacionat amb l'activitat humana ja que es basa en l'ús de combustibles fòssils en tots els seus vessants: derivats del petroli per la mobilitat i el transport, carbó i gas natural per obtenció de la major part de l'electricitat i la calor. És per això que cal centrar-hi bona part dels esforços de mitigació, en el que es coneix com a transició energètica.

La transició energètica és el procés integral de transformació del sistema energètic des del model actual basat en combustibles fòssils cap a un sistema d'emissions gairebé nul·les basat en fonts renovables. Però no es tracta només d'un canvi de fonts, sinó que també inclou una revisió de la relació que tenim amb els usos de l'energia com a societat: com encarem el malbaratament i els usos superflus, o quina aproximació fem respecte les cadenes de transformació de l'energia des de les fonts primàries fins els seus beneficis finals.

En tot cas, la transició energètica demana disposar d'eines adequades per a la mesura i la comptabilització de les fonts, de les tecnologies de transformació i dels usos de l'energia adequats a les noves fonts renovables. És en aquest canvi de mentalitat que cal també revisar com es comptabilitza l'energia per adequar-se tant a les noves fonts renovables a mesura que esdevinguin majoritàries, com a l'avaluació de l'eficiència en les cadenes de transformació. Per tal d'entendre la magnitud del canvi, cal explicar primer com funciona el sistema energètic global i com es computa actualment.

La present comunicació vol ser una aportació en aquesta direcció.

2. Energia i societat

L'energia és la capacitat de transformar les coses. En qualsevol procés físic que suposi un canvi (accelerar, frenar un cos, carregar o descarregar elèctricament, escalfar, refredar, conformar...) hi ha un procés d'intercanvi d'energia que el fa possible. Per tant, la disponibilitat d'energia a nivell social determina el seu nivell d'activitat. Com més energia es pugui canalitzar cap a processos socials, més gran serà la capacitat de produir béns i serveis pels seus integrants. Per tant, tota societat té com a factor definitori la seva capacitat de captar i processar energia.

La història de la humanitat ha estat marcada per l'ús d'energies renovables d'origen solar. Des de la re-col·lecció d'aliments en què les plantes transformen la llum solar en productes digeribles, i el control del foc a partir de biomassa del mateix origen solar dels primers grups humans, les millores tecnològiques van anar permetent augmentar l'energia i potència disponible.

En el seu moment, la civilització dels combustibles fòssils va representar un canvi d'escala en la potència involucrada en les activitats humanes. Anteriorment, fora de certs aprofitaments dels vents i dels corrents d'aigua (veles de vaixells i molins), la major part de les activitats humanes depenien de la força de sang (animals domesticats o persones). A títol d'exemple, una activitat humana feixuga proporciona una potència d'uns 120 W durant unes hores al dia i un cavall pot desenvolupar una potència de 750 W durant un temps semblant. En canvi, la potència d'una simple bomba de pou és del mateix ordre que la d'un cavall i pot funcionar durant tot el dia, la potència d'un ascensor domèstic triplica o més la d'un cavall i funciona de forma esporàdica, i molts automòbils disposen de potències per sobre de 100 kW (136 CV), essent la potència mitjana habitual d'utilització en funcionament d'entre 10 i 15 kW.

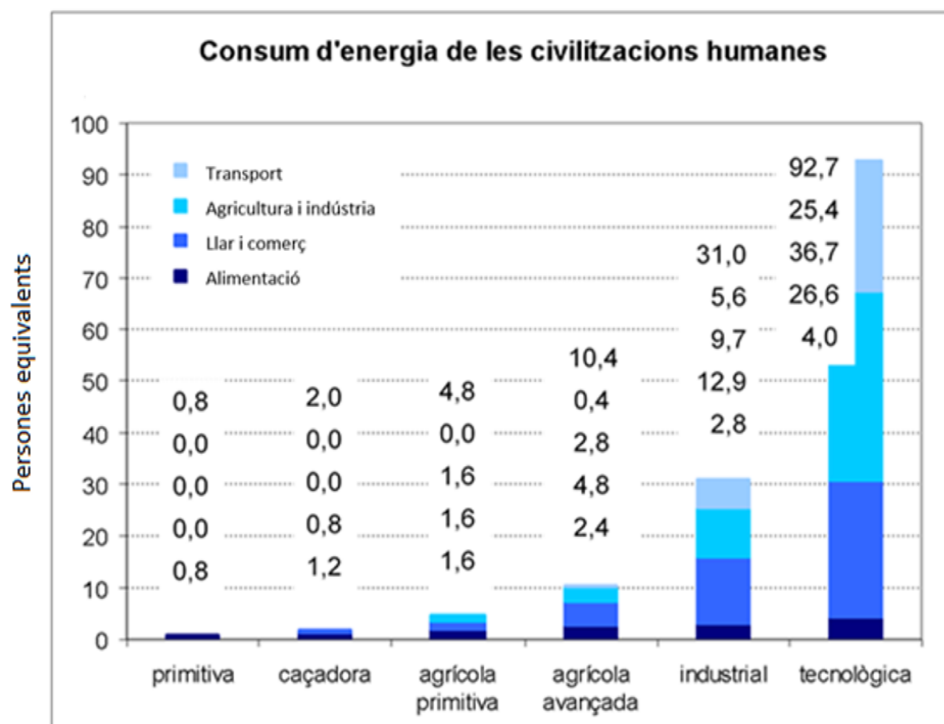


Figura 1. Representació dels usos d'energia *per càpita* en diferents civilitzacions i àmbits. La unitat és l'energia endosomàtica d'una persona adulta contemporània (2,88 kWh/dia). Font: Cook, 1971. Elaboració: Carles Riba Romeva

En conseqüència, la civilització humana i el sistema energètic actuals s'han configurat a imatge de les característiques dels combustibles fòssils (especialment del petroli). La gran disponibilitat immediata de recursos fòssils junt amb les seves elevades densitats energètiques i el caràcter de recursos d'estoc, han permès (fins ara) uns usos energètics creixents, el desenvolupament de tecnologies d'elevada potència, la proliferació de sistemes mòbils autònoms (transport, agricultura, mineria) i la despreocupació pels sistemes d'emmagatzematge elèctric alhora que, la localització d'aquests recursos sota terra en un nombre reduït d'indrets del planeta, ha propiciat el control d'aquests recursos per part d'alguns països i de grans companyies oligopolístiques.

Alguns dels trets fonamentals de l'economia hegemònica en el món han estat possibles gràcies a les característiques dels combustibles fòssils. Concretament: la globalització dels mercats, la segmentació dels processos productius en diferents indrets del món, la concentració de la població en grans metròpolis i el despoblament del camp i el desenvolupament de sistemes de turisme i d'oci massius, tots ells possible gràcies al desenvolupaments del transport massiu i creixent de passatgers i mercaderies.

La taula 1 estableix una comparativa entre les característiques dels combustibles fòssils i les característiques de les principals energies renovables.

Taula 1. Comparativa entre els combustibles fòssils i les principals energies renovables	
Combustibles fòssils	Principals energies renovables
Combustibles (energia tèrmica)	Electricitat (energia elèctrica)
Elevada densitat d'energia i potència	Baixa densitat d'energia i de potència
Recursos d'estoc	Recursos de flux
Fonts concentrades sota terra i finites	Fonts distribuïdes, accessibles i inexhauribles
Requereixen grans companyies i grans inversions	Captacions escalables, que permeten inversions baixes o moderades
Rendiments baixos en usos elèctrics i de mobilitat	Rendiments alts en tots els usos
Fonts: Elaboració pròpia	

En el context actual de crisi energètica i climàtica, la humanitat es troba per primer cop davant del repte de transitar vers unes noves (o velles) fonts energètiques (la radiació solar i les seves derivades, biomassa, vents, corrents d'aigua) que són menys concentrades i de gestió temporal més complexa que les que ha d'abandonar, els combustibles fòssils.

No es tracta d'un problema d'insuficiència d'energia, sinó de bastir un nou sistema energètic renovable on es combinin la moderació de les potències amb sistemes d'emmagatzematge de l'energia. Alhora, les energies renovables s'adeqüen millor a una societat menys apressada i més adaptada als cicles de la naturalesa.

La nova civilització basada en les energies renovables requerirà una transformació progressiva de tots els sectors econòmics i de totes les activitats humanes per adaptar-les a les característiques de les energies renovables i a les corresponents tecnologies de captació, emmagatzematge i gestió.

Les energies renovables comportaran algunes limitacions respecte el sistema actual al qual ens hem acostumat (moderació de les potències, un transport relativament més costós que amb els fòssils, la preocupació per l'emmagatzematge) però també aporten avantatges que encara no hem explorat (accessibilitat arreu de l'energia, rendibilitat elevada en les aplicacions, possibilitats de participació i control ciutadà).

Avui dia es fa difícil preveure quin mix de fonts energètiques i de tecnologies configuraran el futur. Caldrà molta recerca tecnològica però també molta experimentació social a partir de la qual s'aniran destil·lant les solucions emergents que, en tot cas, poden ser tan satisfactòries o més que les solucions actuals. També cal tenir en compte que en la transició dels fòssils a noves energies renovables hi haurà molts passos intermedis on conviuran o s'hibridaran tecnologies dels dos sistemes.

Caldrà ser molt crítics i estar atents per dilucidar si aquestes combinacions de tecnologies tendeixen a retardar o a impulsar la transició energètica.

3. Sistema energètic

Un sistema energètic és un sistema complex que té com a objectiu dotar d'energia una societat. Per fer-ho, obté energia de fonts d'energia de la naturalesa, conegudes com a fonts primàries, i la transforma, canalitza, transporta i distribueix de manera que sigui aplicable als processos tecnològics humans. L'energia transformada i apta per a l'ús que s'entrega a la societat s'anomena energia secundària, tot i que en alguns contextos se'n diu energia final, nomenclatura que indueix a confusió i que no recomanem, com es posarà de manifest més endavant.

3.1 Fonts Primàries

Les fonts d'energia primària són fluxos o matèries de la naturalesa que, en obtenir-se i introduir-se a la tecnosfera, resulten en una aportació neta d'energia.

Les fonts d'energia primària d'ús més comú actualment són els combustibles fòssils, que inclouen el carbó, el petroli i el gas natural, resultat de la consolidació d'energia solar en forma de biomassa seguida de processos geològics, és a dir, la concentració d'energia solar d'una altra era geològica. Les seves reserves són finites i es poden gestionar com un estoc.

Tal com indica el seu nom, la forma d'obtenir l'energia és per mitjà de la combustió, que allibera el potencial químic dels enllaços moleculars del carboni en forma de calor, a més de grans quantitats de CO₂. Un dels principals atractius dels combustibles fòssils, i que fa que sigui tan difícil de substituir-los, és la seva elevadíssima densitat d'energia i de potència, és a dir, que poca quantitat del combustible conté grans quantitats d'energia que es pot alliberar en molt poc temps. Només cal pensar que uns 40 kg de gasolina poden moure un vehicle de 1.500 kg gairebé 1.000 km en unes hores. A més, es tracta de substàncies molt estables, fet que permet la seva extracció, tractament i distribució a gran escala.

L'urani és una altra font primària que té característiques semblants als combustibles fòssils, amb algunes notables diferències. Les reserves també són finites i l'energia que s'obté és en forma de calor a través de la fissió dels seus nuclis. Com que no hi ha una combustió pròpiament dita, el procés no genera CO₂. A canvi, es generen residus radioactius d'alta activitat i vida llarga, de difícil gestió, i hi ha emissions de CO₂ associades a la cadena de subministrament de l'urani i el combustible nuclear, així com a la construcció i desmantellament de les centrals. Actualment, només el 0,7% de l'urani natural es pot fer servir en reactors comercials, cosa que fa necessari l'enriquiment per al seu ús en centrals nuclears. Hi ha nombroses recerques en marxa per aprofitar el 99,3% restant de l'urani en reactors nuclears, o per fer servir elements alternatius com el tori, més abundant, però no sembla que hi hagi d'haver resultats aprofitables a gran escala en les properes dècades.

D'altra banda, tenim les fonts primàries renovables, principalment les d'origen solar: la irradiació solar directa, la biomassa, l'eòlica i la hidràulica. Totes elles deriven de la incidència de la llum solar a la Terra: el creixement de la biomassa vegetal, o els cicles de l'aire i de l'aigua. Fins a la Revolució Industrial, la radiació solar i les seves derivades van ser essencialment les úniques fonts d'energia, essent la biomassa vegetal la més rellevant en forma de combustible o d'aliments pel bestiar de tir, però amb certs usos de l'energia eòlica i hidràulica, habitualment en forma d'aprofitaments mecànics directes a través de sínies, molins o veles. Actualment, les tecnologies fotovoltaica i eòlica modernes permeten la conversió directa en electricitat, mentre que la biomassa vegetal es fa servir principalment com a combustible per obtenir calor de baixa/mitjana intensitat. El bestiar de tir ha quedat relegat a zones d'agricultura de subsistència on la maquinària alimentada amb combustibles fòssils no és una possibilitat.

Existeixen encara altres fonts renovables d'origen no solar, com les d'origen geològic o les mareas, que poden tenir aplicacions interessants en les zones on són presents.

Les fonts primàries renovables es caracteritzen per ser qualitativament molt diferents dels combustibles fòssils. D'una banda, són inexhauribles, però a canvi presenten una densitat d'energia i de potència molt baixa fet que implica que calgui concentrar l'energia disponible en grans àrees per mantenir els estàndards de potència als quals ens hem acostumat durant l'era fòssil. D'altra banda, presenten les característiques d'un flux variable i fins a cert punt imprevisible: la disponibilitat d'energia es presenta amb una variabilitat coneguda (diària, estacional) superposada amb la capa caòtica del temps climàtic. Addicionalment, la gestió de l'energia un cop captada és més complexa, ja que l'emmagatzematge de l'electricitat a gran escala (en quantitat, però també en el temps) és

costosa i complexa. Biomassa i hidràulica sí que permeten una gestió dels estocs, però les taxes de regeneració són lentes (entre mesos i anys) comparades amb la capacitat de variació d'estocs amb combustibles fòssils.

3.2 Transformació i Energia secundària

Les fonts primàries d'energia, en general, no són directament aplicables a processos tecnològics, sinó que han de passar per processos de transformació que les adequin per a cada aplicació.

Depenent de quina sigui la seva forma final, hi pot haver més o menys etapes de transformació. L'energia secundària és la que s'entrega a l'usuari final, ja preparada per utilitzar. Es pot entendre com els productes que venen les empreses energètiques. Els exemples més habituals d'energia secundària són l'electricitat, la gasolina, o el dièsel, però també ho serien la llenya, es pèl·lets o fins i tot la calor en xarxes de calor-fred.

Per exemple, el petroli cru no crema bé en els motors tèrmics. Per això es refina per segregar-ne els diversos constituents segons la seva massa molecular i obtenir-ne els productes derivats com ara la gasolina, el dièsel o el querosè. Al seu torn, aquests productes derivats passen per tractaments addicionals fins a arribar a les gasolineres on es distribueix als consumidors finals.

En el cas del gas natural, també es separa segons les fraccions per massa, es neteja i s'entrega a una pressió determinada, ja sigui en bombona o per canalitzacions. No obstant, una part important del gas natural encara pateix una transformació addicional per obtenir-ne electricitat. El carbó és el que requereix menys elaboració, i el seu ús principal i gairebé exclusiu a nivell global actualment és la generació elèctrica i, transformat en coc, la primera obtenció dels materials fèrrics. L'urani passa per diverses transformacions des del mineral d'urani fins al combustible nuclear, i, en el seu vessant civil/energètic, s'utilitza de forma exclusiva per la generació elèctrica en centrals nuclears.

La major part de les tecnologies renovables modernes (eòlica, solar fotovoltaica, hidràulica) converteixen directament la font primària en electricitat. Tot i això, també cal tenir en compte els aprofitaments tèrmics directes de l'energia solar obtinguts amb captadors tèrmics.

3.3 Usos de l'energia

Sovint es considera que el sistema energètic acaba quan l'energia secundària s'entrega a l'usuari final. Tanmateix, és molt important remarcar que la cadena de transformacions encara no s'ha acabat, i que almenys queda un pas més abans d'obtenir el benefici final que s'espera de l'energia. En serien exemples la crema de la gasolina en un motor de combustió per obtenir energia mecànica i finalment el desplaçament del vehicle i els seus ocupants, o l'aplicació d'un potencial elèctric a una làmpada per fer llum.

De cara a avaluar un sistema energètic, és important incloure-hi també les darreres etapes de transformació, posteriors a l'entrega de l'energia secundària als usuaris finals. És en aquesta darrera etapa on es sol aplicar el concepte d'eficiència, és a dir, quina porció de l'energia acaba essent útil en el seu propòsit final, i quina porció resulta en pèrdues en forma de vibracions o calor, per exemple. Les millores d'eficiència en la darrera conversió es poden aconseguir a través de millorar els processos, o de novetats tecnològiques que aconseguixin el mateix efecte amb menys energia.

L'exemple de les lluminàries i la seva evolució els últims anys serveix per il·lustrar aquest punt. Les bombetes d'incandescència feien llum posant incandescent una resistència de tungstè, de manera que pràcticament la totalitat de l'energia que s'hi feia passar es dissipava en forma de calor. En canvi, les lluminàries LED poden tenir eficiències superiors al 90%, és a dir, que la conversió d'electricitat a llum és pràcticament total.

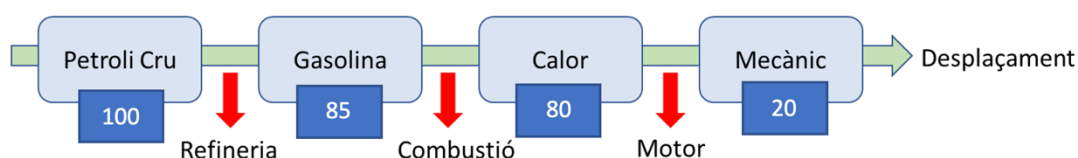
Ampliant el focus, es poden aconseguir millores d'eficiència energètica modificant l'entorn enlloc dels aparells consumidors d'energia. Per exemple, per tal de mantenir la temperatura de confort en un espai es pot augmentar el consum en aparells de climatització, o bé condicionar correctament l'espai amb aïllament adequat per tal de reduir el consum en climatització, aconseguint així un consum inferior per dia i grau.

Un altre exemple en el context de la mobilitat ens mostra com el vehicle privat (elèctric o de combustió) és menys eficient energèticament en termes de passatger·km (o pkm) que un mitjà de transport col·lectiu.

3.4 Itineraris energètics

És important tenir molt presents aquestes cadenes de transformació, o itineraris energètics, ja que les lleis de la termodinàmica determinen que les transformacions 100% eficients són impossibles, és a dir, que en cada procés de transformació es perd una part més o menys gran de l'energia que hi havia disponible.

A més, no totes les presentacions de l'energia tenen la mateixa capacitat de transformar-se, sinó que alguns tipus d'energia permeten transformacions més eficients que d'altres, és a dir, que tenen una exergia (o potencial d'energia útil) més elevada. Una energia d'elevada exergia és l'electricitat, que pot aplicar-se a una multitud d'usos diferents amb pèrdues relativament baixes. A l'altre extrem hi trobem la calor, que té una exergia molt baixa, és a dir, que té pèrdues molt elevades a l'hora de convertir-se per fer treball.



Cal remarcar que tant els combustibles fòssils com l'urani passen necessàriament per una fase tèrmica per alliberar els seus respectius potencials energètics, i que la calor rarament és el seu ús final, o sigui que els seus itineraris energètics presenten entre un 60% i un 90% de pèrdues respecte a l'energia primària, depenent de l'eficiència de les transformacions i el tipus d'ús final.

D'altra banda, les energies renovables generen directament electricitat a partir de la font primària, que al seu torn és inexhaurible, donant lloc a un sistema de poques transformacions i d'elevada eficiència aigües avall, gràcies a l'alta exergia de l'electricitat.

4. La comptabilització energètica

Els fluxos d'energia a través del sistema energètic són monitoritzats per les agències d'energia i també per les empreses energètiques. La metodologia de comptabilització energètica es va començar a determinar després de la Segona Guerra Mundial com a resultat de la situació geopolítica del moment.

El 1960, en un context de descolonització després de la Segona Guerra Mundial, cinc països (entre ells Aràbia Saudita) van crear l'Organització dels Països exportadors de Petroli (OPEP), amb l'objectiu de coordinar les polítiques petrolieres dels països membres en un sentit més favorable als propis interessos. Durant els anys 1970, altres països es van incorporar a l'OPEP alhora que molts d'ells prenen el control de les empreses petrolieres dels seus territoris.

El 1973 es produeix la primera crisi del petroli quan els països de l'OPEP deixen de subministrar petroli als països que havien donat suport a Israel en la Guerra de Yom Kippur contra els països àrabs. Com a reacció, el 1974, els països de l'OCDE creen l'Agència Internacional de l'Energia (AIE, o

IEA, en sigles angleses) amb l'objectiu inicial d'assegurar l'aprovisionament d'energia però que aviat veu la necessitat de conèixer les fonts i els usos de l'energia. Avui dia, els balanços energètics que elabora anualment l'AIE [IEA-2024], i que abasten 156 països i 35 agregats regionals, són una de les referències principals pel que fa a la comptabilitat energètica mundial.

Des de 1952, la petroliera BP elabora els Statistical Review of World Energy [BP-2024] que inclou estimacions sobre les reserves fòssils. L'agència del govern dels Estats Units Energy Information Administration (EIA) [EIA-2024] també publica dades d'energia a escala global, com també ho fa la OPEP [OPEP-2024] limitada als hidrocarburs. Totes aquestes fonts d'informació coincideixen en termes generals.

Més endavant, van anar apareixent noves agències d'energia amb diferents perspectives, ja sigui per l'àmbit geogràfic cobert (per exemple, agències nacionals), o pels seus objectius. A casa nostra, l'Institut Català d'Energia (ICAEN) es va crear l'any 1991 amb l'objectiu d'impulsar programes de recerca, estudi i suport a l'aplicació de tecnologies energètiques per promoure la millora i l'estalvi en l'ús d'energia, així com el foment de l'ús racional de l'energia en general. Entre altres coses, això inclou mantenir estadístiques sobre els usos energètics a Catalunya per tal de tenir una base sobre la que dissenyar les seves actuacions i informar les decisions polítiques sobre el sector energètic.

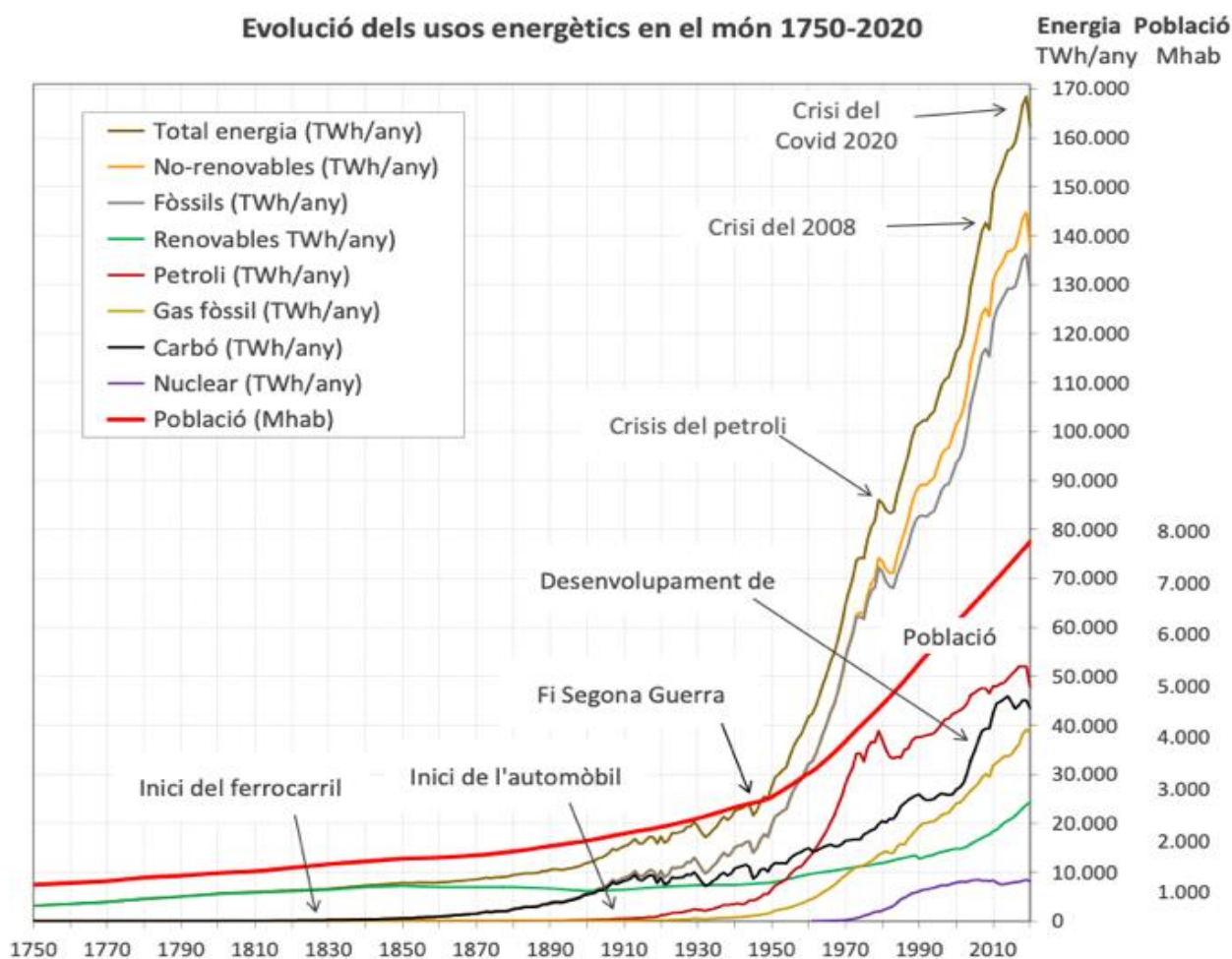


Figura 2. Evolució dels usos energètics a escala mundial 1750-2020. Fonts: Energia: de 1750 a 1989 [CDIAC-2024] i de 1990-2020 [IEA-2024]; Població: de 1750 a 1960 [USCB-2024] i de 1960 a 2020 [WB-2024]

El 2009 es crea IRENA (l'Agència Internacional de les Energies Renovables) [IRENA-2023], que avui agrupa 168 països, amb l'objectiu de donar suport a transició energètica dels països, fomentar la

cooperació internacional, i proporcionar dades i anàlisis sobre tecnologies, innovacions, polítiques, inversions i finançament.

Una altra font d'informació indirecta sobre energia és CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) [CDIAC-2024], creat el 1982 pel govern dels Estats Units per analitzar l'escalfament global i clausurat el 2017, que ofereix dades sobre les emissions de CO₂ originades per cada combustible fòssil i en cada país des de 1751. Aquestes dades traduïdes a energia i completades per les de l'AIE dels darrers anys, permeten reconstruir l'evolució dels usos energètics mundials en els darrers dos segles i mig (figura 2).

Comentaris a la Figura 2: 1) L'ús del carbó mineral comença amb la Revolució Industrial però no és fins el 1903 que sobrepassa la biomassa amb el 45% del mix energètic. 2) De la mà de l'automòbil, el petroli evoluciona de manera semblant, el 1962 supera el carbó i arriba a la crisi del petroli de 1973 amb el 46% del mix energètic; el creixement posterior és més lent; 3) El creixement del gas natural, amb una evolució lleugerament posterior a la del petroli, és molt constant; 4) L'energia nuclear, es desenvolupa ràpidament a partir dels anys 1970 però ha quedat limitada al 5% del mix energètic; 5) L'energia hidràulica té els seus inicis a finals del segle XIX però la seva participació actual és aparentment baixa (2,7%, més endavant s'analitza aquest aspecte); 6) La biomassa continua tenint un pes del 10% del mix energètic mundial, especialment com a biomassa tradicional en països en desenvolupament; 7) Les noves energies elèctriques renovables (eòlica, fotovoltaica) evolucionen a ritme ràpid però el seu pes en el mix energètic mundial és encara molt baix (2,4%).

Com s'ha comentat, el moment en què es va desenvolupar la metodologia de comptabilització d'energia destacava pel domini dels combustibles fòssils i la concentració de poder en un oligopoli de companyies multinacionals, on el petroli ja començava a destacar com la principal font primària d'energia a nivell global, per sobre del carbó que havia dominat fins el moment.

El petroli ja era aleshores el combustible fòssil més prominent en transaccions internacionals, tant a nivell econòmic com energètic. És per això que es va adoptar el barril de petroli com a unitat de referència de la comptabilitat energètica. A partir d'aquí, tots els altres fluxos d'energia es van començar a mesurar en el seu equivalent energètic en barrils de petroli, i la unitat resultant és el barril equivalent de petroli (bep, sovint BOE per les seves sigles en anglès).

També s'empra la unitat de massa en forma de tones equivalents de petroli (tep o TOE). Alternativament, s'han començat a utilitzar unitats d'energia del sistema internacional de mesures, com el Joule (J) o els seus multiplicadors (per exemple, el terajoule TJ), o derivades, com el terawatt hora (TWh). Recentment, l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) ha adoptat com a unitat de mesura el TJ.

L'enfocament metodològic de la comptabilitat energètica és de dalt cap avall (top-down), amb dos grans punts de referència: l'energia primària que entra al sistema energètic nacional, i l'energia secundària que s'entrega als usuaris finals. Actualment, és habitual que l'energia final se separi en sectors segons el tipus d'usuari final: industrial, residencial, comercial, transport i altres, i particularment l'industrial es sol dividir en subsectors segons el tipus d'activitat.

És a dir, es conta quanta energia sense transformar entra al sistema, en què es transforma i quines pèrdues té pel camí, i on va a parar, en sentit descendent.

5. Els balanços d'energia d'AIE

A tall d'exemple, es mostren els balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia. En les columnes hi figuren les diferents energies i, en les files, els successius estadis de gestió i/o de transformació de l'energia.

Les 7 primeres columnes corresponen a les diferents fonts d'energia primària: carbó, petroli, gas natural, nuclear, hidroelèctrica, altres energies elèctriques renovables – calaix de sastre que inclou, la

geotèrmica, la maremotriu, l'eòlica i la fotovoltaica –, i la biomassa i residus. Les dues columnes següents són els vectors (energia ja transformada) electricitat, i calor i la darrera columna és la suma.

La primera fila (denominada producció) inclou l'energia primària (no transformada) extreta de les fonts energètiques del país o territori considerat. El següent estadi és l'energia primària subministrada (TPES, Total Primary Energy Supply). Entre aquests dos estadis hi ha el balanç d'importacions i exportacions, els canvis d'estocs i, per als països, se sostrau l'energia destinada a la navegació i aviació internacionals.

El següent estadi és el de l'energia final (TFC, Total Final Consumption), o sigui els vectors energètics (combustibles comercials, electricitat, calor) que les companyies venen als usuaris. Entre l'energia primària subministrada i l'energia final hi ha un conjunt de transformacions i la distribució dels vectors energètics amb les pèrdues corresponents. Són especialment rellevants les pèrdues en la generació d'electricitat en les centrals tèrmiques (combustibles fòssils, energia nuclear), unes 2/3 parts.

Finalment, l'energia final es reparteix entre 7 sectors: indústria, transport, residencial, comerç i serveis públics, agricultura i forestal, pesca, sector no especificat (on caldria ressenyar les despeses militars) i usos no energètics (polímers, asfalt, farmàcia, etc.).

Les taules 2 i 3 resumeixen els balanços energètics del 2019 per al món, amb dades d'AIE, i per a Catalunya, amb dades d'ICAEN (Institut Català de l'energia) [ICAEN-2024], ja que Catalunya no és un estat i no figura a l'AIE.

Taula 2. AIE: balanç energètic del món 2019 (TWh/any)										
	Carbó	Petroli	Gas	Nuclear	Hidro	Altres R	Bio-Res	Electric	Calor	TOTAL
Producció	46.541	52.901	39.900	8.461	4.221	3.727	15.705	0	27	171.483
Imp/exp + altres	-1.437	-855	-793				76	-5	0	-3.013
TPES	45.104	52.046	39.107	8.461	4.221	3.727	15.781	-5	27	168.469
%TPES	26,8%	30,9%	23,2%	5,0%	2,5%	2,2%	9,4%	0,0%	0,0%	100,0%
Transform. + perd	-34.052	-5.109	-20.106	-8.461	-4.221	-3.083	-3.722	22.852	3.535	-52.366
TFC	11.052	46.937	19.001	0	0	641	12.060	22.848	3.562	116.104
%TFC	9,5%	40,3%	16,4%			0,6%	10,4%	19,7%	2,1%	100,0%
Indústria	9.047	3.409	7.139			10	2.749	9.566	1.685	33.605
Transport	11	30.687	1.379				1.107	420		33.603
Residencial	703	2.481	5.635			490	7.720	6.072	1.281	24.383
Comerç + SP	310	876	2.423			104	308	4.849	478	9.350
Agroforestal	155	1.247	122			24	149	745	39	2.480
Pesca		73	1			1		8	1	83
No especificat	249	253	39			15	26	1.188	77	1.848
Usos no energia	576	7.910	2.264							10.751
Font: Agència Internacional de l'Energia [IEA-2024]. Elaboració pròpia; Producció = energia obtinguda en el territori considerat; Imp/Exp + altres = balanç d'importacions i exportacions + canvis d'estocs – aviació i navegació internacionals; TPES (<i>Total Primary Energy Supply</i>), energia primària subministrada en el territori considerat; Transform. + pèrdues = Transformacions (generació d'electricitat i altres) i pèrdues entre energia primària i final TFC (<i>Total Final Consumption</i>), energia final que les companyies energètiques fenen als usuaris finals; Les 7 primeres columnes (carbó, petroli, gas natural, nuclear, hidroelèctrica, altres renovables – eòlica, solar, geotèrmica, marina –, biomassa i residus) són les fonts d'energia; les dues següents (electricitat, calor) són vectors generats a partir de les anteriors fonts.										

Taula 3. ICAEN: balanç energètic de Catalunya 2019 (TWh/any)										
	Carbó	Petroli	Gas	Nuclear	Hidro	Altres R	Bio-Res	Electric	Calor	TOTAL
Producció	0,00	0,42	0,01	72,34	3,53	3,71	6,93	0,00	0,38	87,31
Imp/exp + altres	0,40	135,34	67,70	0,00	0,00	0,00	2,87	1,44	0,00	207,76
TPES	0,40	135,76	67,71	72,34	3,53	3,71	9,80	1,44	0,38	295,07
%TPES	0,1%	46,0%	22,9%	24,5%	1,2%	1,3%	3,3%	0,5%	0,1%	100,0%
Transform. + perd		-14,63	-33,45	-72,34	-3,53	-3,71	-2,52	40,72		-89,45
TFC	0,40	121,13	34,26	0,00	0,00	0,00	7,28	42,16	0,38	205,62
%TFC	0,2%	58,9%	16,7%				3,5%	20,5%	0,2%	100,0%
Indústria	0,25	4,04	19,71				2,62	16,24	0,01	42,86
Transport		71,19	0,36				3,18	1,04		75,78
Residencial		3,80	9,68				0,87	10,07	0,26	24,69
Comerç + SP		2,72	4,39				0,46	14,39	0,11	22,07
Agroforestal		1,92	0,12				0,15	0,42		2,61
Pesca										0,00
No especificat										0,00
Usos no energia	0,15	37,45								37,60

Font: Institut Català de l'Energia [ICAEN-2024]. Elaboració pròpia. Producció = energia obtinguda en el territori considerat; Imp/Exp + altres = balanç d'importacions i exportacions + canvis d'estocs – aviació i navegació internacionals; TPES (*Total Primary Energy Supply*), energia primària subministrada en el territori considerat; Transform. + pèrdues = Transformacions (generació d'electricitat i altres) i pèrdues entre energia primària i final; TFC (*Total Final Consumption*), energia final que les companyies energètiques fenen als usuaris finals; Les 7 primeres columnes (carbó, petroli, gas natural, nuclear, hidroelèctrica, altres renovables – eòlica, solar, geotèrmica, marina –, biomassa i residus) són les fonts d'energia; les dues següents (electricitat, calor) són vectors generats a partir de les anteriors fonts.

La taula 4 resumeix i compara els resultats de les taules anteriors

Taula 3. Comparació entre el món i Catalunya en obtenció i usos energètics								
	Món 2019				Catalunya 2019			
	TWh/ any	% TPES	% TFC	kWh/ hab/any	TWh/ any	% TPES	% TFC	kWh/ hab/any
Energia primària obtinguda	171.483	101,8%		22.348	87,31	29,6%		11.459
E. primària subministrada	168.469	100,0%		21.955	295.07	100,0%		38.726
Energia final	116.104	68,9%	100,0%	15.131	205.62	69,7%	100,0%	26.986
Indústria	33.605		28,9%	4.379	42,86		20,8%	5.625
Transport	33.603		28,9%	4.379	75,78		36,9%	9.946
Residencial	24.383		21,0%	3.178	24,69		12,0%	3.240
Comerç + Serveis públics	9.350		8,1%	1.219	22,07		10,7%	2.897
Agricultura + forestal	2.480		2,1%	323	2,61		1,3%	343
Pesca	83		0,1%	11	0,00		0,0%	0
No especificat	1.848		1,6%	241	0,00		0,0%	0
Usos no energia	10.751		9,3%	1.401	37,60		18,3%	4.935

Fonts: [IEA-2024], [ICEAN-2024]. Elaboració pròpia

De la Taula 4 cal ressenyar que, tant al conjunt del món com a Catalunya, les pèrdues entre energia primària subministrada i l'energia final són més del 30%, essent el component principal les pèrdues en la generació d'electricitat en les centrals tèrmiques (de carbó, de gas i nuclears).

Catalunya tan sols té els recursos primaris del 29,6% de l'energia (comptant incorrectament la nuclear: les centrals nuclears estan al país, però l'urani, el seu recurs primari, s'ha d'importar). Descomptant l'energia nuclear, l'energia primària obtinguda en el territori català és del 5,0 %. Malgrat aquesta

precarietat de recursos primaris propis, els usos energètics primaris per càpita a Catalunya són de 38.726 kWh/habitant/any, un 76,4% més que la mitjana mundial de 21.955 kWh/habitant/any.

A escala mundial, els dos sectors que absorbeixen més energia final són l'industrial i el de transports (28,9% cada un) seguit del residencial i del comerç i serveis públics. A Catalunya destaca el transport, que absorbeix el 36,8% de l'energia final, seguit de la indústria (20,8%) i, a més distància, del sector residencial (12,0%, quasi a la mitjana mundial degut al clima benigne) i el comercial i els serveis públics.

Cal destacar el gran volum d'usos no energètics de Catalunya (18,3% del total i 3,5 cops la mitjana mundial) a causa del gran pes de la petroquímica de Tarragona.

6. Crítica dels balanços d'energia

La metodologia actual de comptabilització energètica presenta una sèrie de mancances que poden derivar-se en conclusions esbiaixades o errònies. A continuació, es presenta una relació de les més destacades.

6.1 Indicadors agregats

L'ús d'indicadors agregats permet resumir un sistema complex en un sol número. Per exemple, el PIB es sol fer servir per il·lustrar l'estat de l'economia d'un país. En el cas de l'energia, l'indicador agregat més comú és l'energia primària total d'un país. Malauradament, en el procés d'agregació es perd la complexitat del sistema, i el resultat final és susceptible de variar significativament depenent dels coeficients que s'assignin a cada tipus d'energia primària. Addicionalment, els diferents tipus d'energia primària tenen cadenes de transformació i rendiments diferents, i són adequats per usos diferents. El sector del transport, per exemple, funciona de forma gairebé exclusiva amb derivats del petroli, mentre que per obtenir calor per usos industrials es fa servir gas natural.

6.2 Les unitats de mesura

La comptabilitat energètica de l'Agència Internacional de l'Energia es va establir en el moment de màxima proporció dels combustibles fòssils en el mix energètic mundial, quan la transició energètica a les fonts renovables i al canvi climàtic eren preocupacions encara llunyanes. Tant és així que la unitat de mesura elegida per a l'energia fou el bep o el toe (barril o tona equivalent de petroli, respectivament), i no ha estat fins fa uns pocs anys que ha canviat per una unitat del sistema internacional, el TJ (terajoule, milions de milions de joule).

El fet de mesurar totes les energies primàries en el seu equivalent tèrmic dificulta la integració de les fonts primàries renovables, que a diferència dels combustibles fòssils, no passen per una fase tèrmica. Això té com a efecte el subestimar la importància de les energies renovables per un factor de l'ordre de 3, o bé en aplicar-hi coeficients ficticis per corregir-ne la representació, com s'il·lustra al punt següent.

6.3 L'energia primària, no adequada per les energies de flux

Conseqüent amb l'atenció centrada amb dels combustibles fòssils, els balanços energètics parteixen de l'energia primària, el recurs d'entrada.

Aquest concepte té sentit en recursos d'estoc (combustibles fòssils, urani) que cal optimitzar, però deixa de tenir-lo en recursos basats en fluxos de la naturalesa (radiació solar, vents, corrents i salts d'aigua) que, si bé presenten límits, el problema principal sol ser optimitzar les instal·lacions per a captar l'energia. Quina és l'energia primària del vent? O d'una conca hidrogràfica? O d'una massa boscosa? Tant és així que els balanços d'energia d'AIE assimilen les energies obtingudes de fluxos (generalment electricitat) a una energia primària.

Incongruències com aquesta porten a comparatives errònies, com per exemple entre l'energia hidroelèctrica i l'energia nuclear. En els balanços d'AIE, l'energia primària nuclear és la tèrmica generada pels reactors nuclears (que es transforma en electricitat amb un rendiment d'un 30%), i es posa al mateix nivell que l'energia elèctrica generada per les centrals hidroelèctriques.

En el balanç de 2019, l'energia primària nuclear va ser de 8.461 TWh/any (5,0% del mix mundial) i la hidroelèctrica és de 4.221 TWh/any (2,5% del mix), aparentment la meitat de la nuclear. Però, un cop transformada, l'electricitat aportada per l'energia nuclear va ser de 2.789 TWh/any (10,3% mundial) i l'aportada per la hidroelèctrica els 4.221 TWh/any citats (el 16,1% de l'electricitat).

Altres agències opten per solucions de comptabilització diferents que, tanmateix afegeixen confusió i dificulten la comparació de les dades.

6.4 L'energia final, objectiu de les grans empreses oligopolístiques

Els balanços d'AIE s'aturen a l'energia secundària. És l'energia final que les grans empreses energètiques venen als usuaris; el seu interès és optimitzar les transformacions entre l'energia primària i l'energia secundària (estalvi de costos) però, també, maximitzar les vendes d'energia secundària (augment dels ingressos). Per tant, l'energia secundària no és un concepte adequat per una gestió eficient dels itineraris complets de l'energia, i té l'efecte pervers d'encoratjar l'ús ineficient de l'energia per part dels usuaris finals. Com menys eficient l'ús, més energia es factura.

Els processos d'utilització dels usuaris tenen una gran incidència en l'ús eficient de l'energia, però no hi ha eines de comptabilització i anàlisi d'aquesta part de l'itinerari que queda ocult i mancat de suports per a la cerca d'alternatives.

L'ús dels carburants en els motors tèrmics és on es produeix la part més significativa de pèrdues en els processos dels usuaris. El rendiment mitjà dels motors tèrmics per als vehicles (terrestres, vaixells, aeronaus) va de 15% a 45% amb una mitja del 25%. Les motoritzacions elèctriques alternatives alimentades per bateries poden tenir un rendiment global del 70%. Això és una bona notícia que farà que el transport del futur requereixi de l'ordre d'un 35% de l'energia dels vehicles tèrmics.

6.5 Els usos no energètics i la navegació i aviació internacionals

Encara hi ha dos aspectes més dels balanços energètics de l'AIE, estretament lligats a l'economia dels fòssils, que distorsionen la percepció sobre els usos energètics:

- 1) La inclusió, com a energia primària en els balanços energètics, dels combustibles fòssils que després seran utilitzats com a matèries primeres (plàstics i elastòmers, lubricants, pintures, asfalts, productes farmacèutics) i que després apareixen com el sector de l'energia final titulat usos no energètics; aquests recursos, que no s'haurien d'incloure com energia, són de l'ordre de 7,5% de l'energia primària mundial i, a Catalunya, puguen fins el 15% de l'energia primària subministrada.
- 2) L'eliminació, en els balanços energètics dels països, de l'energia destinada a la navegació internacional (el 70% del transport mundial de mercaderies) i l'aviació internacional (pràcticament el 100% del transport de passatgers a llarga distància) i que s'oscil·la sobre el 3% de l'energia primària subministrada a escala mundial.

7. Una nova comptabilitat energètica basada en l'energia útil

En el plantejament d'un nou sistema basat en recursos energètics renovables, de característiques molt diferents a les dels combustibles fòssils, sembla més adient invertir el punt de vista i fer una aproximació de baix cap a dalt (bottom-up): partir de l'energia útil, o sigui l'energia necessària a peu de processos i de màquines per a fer-les funcionar i remuntar les etapes de transformació per determinar les fonts i itineraris òptims, en lloc de l'aproximació de dalt cap avall que parteix de l'energia primària que incorpora totes les ineficiències de la gestió del sistema fòssil.

Però, com avaluar l’energia útil (la que realment proporciona els efectes i activa els processos com ara calor, llum, moviment, conformació de la matèria, informació, comunicació)?

Taula 4. Energies primàries, finals i útils del món i de Catalunya				
	Món 2019		Catalunya 2019	
	TWh/any	% EP	TWh/any	% EP
Energia primària (AIE)	155.820	100,0%	276,5	100,0%
Energia final (AIE)	104.620	67,1%	194,4	70,3%
Energia útil (estimada)	64.985	41,7%	98,9	35,8%
Fonts: [IEA-2024], [Icaen-2024], [Riba-2024]. Elaboració pròpia				

En el llibre Energia, una immersió ràpida [Riba-2024] es proposa fer una primera estimació de l’energia útil en base a l’energia final dels balanços d’AIE, aplicant sector a sector i vector a vector, uns criteris generals de rendiment entre les energies finals i útils: bàsicament el 80% en les aplicacions tèrmiques i elèctriques i del 25% en les aplicacions de mobilitat. El resultat es pot resumir en la taula 4 (on s’inclou l’energia de la navegació i aviació internacional i s’exclouen els usos no energètics dels fòssils).

S’observa que l’energia útil en el món és el 41,7% de l’energia primària (en la indústria de l’energia i les transformacions dels usuaris es dissipa el 58,3% de l’energia primària); a Catalunya, amb un pes molt gran del transport, l’energia útil baixa fins al 35,8% de l’energia primària (i les pèrdues són del 64,1%).

En l’obra Catalunya, aproximació a un model energètic sostenible [Furró-2016] el seu autor, amb dades de 2015, fa un exercici de comptabilització de l’energia útil necessària per a la societat catalana en el benentès que d’haver fet prèviament un estalvi del 21% respecte als consums d’aquell any i arriba a la conclusió que és de 78,07 TWh, xifra força concordant amb la que obté [Riba-2024] a partir de l’estructura dels balanços energètics i de les dades de l’Institut Català de l’Energia [ICAEN-2024].

I, Furró encara fa un pas més: avalua l’energia a captar (renovable) tenint en compte les pèrdues degudes a la gestió i l’emmagatzematge del sistema, i arriba a la conclusió que, per a Catalunya, és de 144,50 TWh/any. Això condueix a una primera estimació de la relació energia a captar/energia útil de 1,85. Tot i que aquesta xifra és molt elevada, és inferior al valor de l’actual sistema energètic basat en els combustibles fòssils i l’energia nuclear. La taula 5, en base a l’anàlisi de Furró (estalvi del 21% de l’energia útil i a un factor de majoració d’1,85), compara les grans xifres dels sistemes energètics fòssil i renovable:

Taula 5. Comparació entre els sistemes energètics fòssil i renovable				
Sistema energètic fòssil (actual)				
	Món 2019		Catalunya 2019	
	TWh/any	EP/EU	TWh/any	EP/EU
Energia primària (EP)	155.820	2,40	276,5	2,80
Energia útil (EU)	64.985		98,9	
Futur sistema renovable (amb estalvis del 21%)				
	Món 2050		Catalunya 2050	
	TWh/any	EC/EU	TWh/any	EC/EU
Energia a captar (EC)	94.975	1,85	144,5	1,85
Energia útil (EU)	51.340		78,1	
Fonts: [IEA-2024], [Icaen-2024], [Riba-2024]. Elaboració pròpia				

O sigui, en el món, el nou sistema renovable pot requerir una energia a captar tan sols del 77% (= 1,85/2,40) de l'energia primària que requereix l'actual sistema fòssil i nuclear; i, a Catalunya, aquesta relació és encara més baixa: 66% (= 1,85/2,80). Si, a més, es fa un estalvi del 21% en l'energia útil, com proposa el text de [Furró-2016], les relacions anteriors esdevenen encara més favorables: 61,0% (= 94,975/155.820) per al món i 52.2% (= 144,5/276,5) per a Catalunya.

El repte del nou sistema energètic renovables és, doncs, avaluar l'energia útil i, després, cercar aigües amunt, l'itinerari energètic i les fonts més favorables.

Encara hi ha altres consideracions a fer respecte el nou sistema energètic renovable: les captacions distribuïdes de petit i mitjà format (tèrmiques i elèctriques), junt amb sistemes d'emmagatzematge, cobriran una part essencial dels usos energètics de baixa intensitat (menors de 2,5 GWh/any) i una part essencial de la gestió serà realitzada per les xarxes elèctriques locals.

Les xarxes elèctriques de mitja i alta tensió tindran la doble funció d'equilibrar el subministrament entre territoris excedentaris i deficitaris, i cobrir els usos industrials i de serveis d'elevada intensitat energètica a partir de parcs energètics de més gran dimensió.

8. Conclusions

Per avançar de forma eficaç en una transició energètica com l'actual, des d'unes fonts energètiques no renovables a unes altres fonts energètiques renovables de característiques molt diferents, convé disposar d'eines de comptabilització de l'energia i altres paràmetres relacionats que siguin adequats al nou sistema energètic que cal erigir.

Els sistemes disponibles en l'actualitat de recol·lecta i de presentació de les dades sobre energia s'han establert en funció del sistema energètic fòssil i nuclear dominant fins al moment, amb el focus a l'obtenció i transformació d'energia primària.

Atesa la diferència de característiques de les noves energies renovables respecte a les velles energies fòssils i nuclears no renovables (obtenen electricitat enlloc de calor, són energies de flux enlloc d'energies d'estoc, són distribuïdes enlloc de concentrades, faciliten un control més participat enlloc d'haver concentrat la gestió i el control en una indústria oligopolística, etc.), el vell sistema de comptabilització de l'energia no és adequat fins al punt de generar senyals falsos i desfavorables sobre la transició a les noves energies renovables (infravalora les energies elèctriques renovables davant de la nuclear i els combustibles fòssils, o exagera les dificultats de les alternatives sostenibles al model de transport).

Els canvis fonamentals que cal operar en relació a les eines de recol·lecció i de presentació de les dades sobre energia i els paràmetres connexos són dos:

- a) En primer lloc, cal introduir un nou estadi de l'energia per completar l'itinerari energètic: l'energia útil, o sigui aquella que, després de les transformacions i adequacions pertinents, i situada davant dels aparells, les màquines i els processos, els fa funcionar. L'energia útil posa en un primer pla els processos energètics dels usuaris, essencials per a l'optimització dels itineraris complets de l'energia.
- b) En segon lloc, cal situar l'energia útil, relacionada directament amb els beneficis a proporcionar als humans (calor, moviment, llum, transformació de materials, informació i comunicació, etc.), com a punt de partida de qualsevol itinerari energètic i cercar, aigües amunt, les fonts i les transformacions energètics més eficients per a obtenir-la, en termes de recursos disponibles i d'inversions en les instal·lacions. Aquesta inversió del punt de vista condueix a l'energia a captar de les fonts renovables, i no a una energia primària que és pròpia dels fòssils i dels recursos d'estoc.

En centrar l'atenció en els usos d'energia útil, aquesta comptabilitat recupera part de la complexitat perduda i té la virtut de generar uns efectes pedagògics molt importants en els usuaris, planificadors i en el conjunt de la societat pel que fa a les necessitats i els usos de l'energia.

Alhora, posa en evidència la millor eficiència del sistema renovable davant del sistema fòssil i nuclear. En efecte, una part molt important (sinó la majoritària) de les energies renovables es capten en forma d'electricitat, amb un rendiment molt elevat en tot tipus d'aplicacions, compensat tan sols en part per les pèrdues en sistemes d'emmagatzematge d'electricitat fins ara no necessaris.

En canvi el rendiment de l'energia fòssil i nuclear (de naturalesa tèrmica) té rendiments molt baixos en la seva transformació en electricitat (de l'ordre del 33% en el conjunt de centrals tèrmiques) i en la seva transformació en mobilitat (de l'ordre del 25% en els motors tèrmics del conjunt de modes de transport).

Aquesta millor eficiència es tradueix en el fet que, per a una mateixa energia útil (EU), l'estimació de l'energia a captar (EC) de fonts renovables sigui de l'ordre del 65% al 75% de l'energia primària (EP) dels combustibles fòssils equivalents. A més, amb una bona gestió temporal dels usos energètics (fent coincidir en el possible els usos energètics als moment de captació) es podria rebaixat la relació EC/EU (energia a captar/energia útil) per sota del valor de 1,85 establert en l'anàlisi prospectiu de [Furró-2016].

Referències bibliogràfiques

- BP [BP-2024], Statistical Review of World Energy 2024, Energy Institute (des de 2023, continua els informes de BP), <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- CDIAC [CDIAC-2024], Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions (1751-2014) (V. 2017), CDIAC va ser clausurat el 2017 i les seves dades transferides a ESS-DIVE, https://data.ess-dive.lbl.gov/view/doi:10.3334/CDIAC/00001_V2017 (consulta 2024).
- EIA [EIA-2024], International Energy Outlook 2023, U.S. Energy Information Administration (EIA) <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/data.php> (consulta 2024)
- Furró Estany, E (Furró-2016), Catalunya. Aproximació a un model energètic sostenible. Editorial Octaedro, Barcelona 2016.
- IEA [IEA-2024], Energy Balances, Agència Internacional de l'Energia, París <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/worldenergy-balances> (consulta 2024)
- ICAEN [ICAEN-2024], Balanços energètics de Catalunya per anys (1990-2022), Institut Català de l'Energia (ICAEN). https://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energetic/index.html
- IRENA [IRENA-2024], Renewable Energy Statistics 2024, International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024. <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024>
- Riba Romeva, C. (2021), Itinerari energètic integral. Obtenció d'energia útil en un sistema renovable. Edicions Octaedro (Col·lecció Transició Energètica), Barcelona, desembre de 2024.
- Riba Sanmartí, G. (2016), El cost de l'energia. Edicions Octaedro (Col·lecció Transició Energètica), Barcelona, desembre de 2016.
- USCB [USCB-2024], Historical Estimates of World Population, United States Census Bureau, 2024. <https://www.census.gov/data/tables/time-series/demo/international-programs/historical-est-worldpop.html> (consulta 2024)
- WB [WB-2024], Population, total, Banc Mundial. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (consulta 2024).