UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

CLAUS PER A UN NOU PARADIGMA ENERGÈTIC

Anàlisi de la situació i tendències. Línies de treball futures de la UPC per a la Transició vers un nou Model Energètic (TME)

octubre de 2017

La UPC davant del repte energètic

Cada vegada és fa més evident que estem davant d'una crisi sistèmica. Per un costat, creixen les alarmes sobre el declivi dels recursos no renovables (on destaquen els combustibles fòssils) en una Terra finita; per altre costat, a la naturalesa li és cada cop més difícil metabolitzar els impactes dels residus (sòlids, líquids i gasosos) generats per una economia inclinada als cicles oberts, on l'exponent més visible és el canvi climàtic; finalment, i no menys important, el sistema econòmic dominant prioritza els mercats globals, disminueix la intervenció pública i per tant el control de desigualtats entre poblacions i països on els recursos naturals escassos són claus.

Aquestes tendències posen en dificultat les bases del desenvolupament i de l'estat del benestar actuals com són l'alimentació, l'habitabilitat i l'accessibilitat als llocs, béns i serveis, a la informació i al coneixement així com els materials i l'energia que suporten les accions humanes. Capgirar aquest estat de coses està a les nostres mans com posen de manifest els *Objectius de Desenvolupament Sostenible* de l'Agenda 2030 [NU-ODS-2015] aprovats per 193 països on, entre els 17 objectius bàsics, s'hi inclou de forma específica l'energia assequible i no contaminant (objectiu 7è) i l'acció pel clima (objectiu 13è).

S'entreveuen solucions com ara impulsar una transició decidida vers les energies renovables, aprendre a utilitzar els recursos de manera sostenible, a operar en una economia circular (on els residus esdevenen nous recursos) i reforçar la cooperació i les polítiques reequilibradores. Estem immersos en el dia a dia, on la confusió entre el vell model i el que ha d'esdevenir nou és molt gran, però cal abordar decididament el gran canvi que exigeixen els nous temps. L'energia, en ser un recurs transversal a tots els fenòmens naturals i a totes les activitats humanes, és un element clau on centrar la reflexió sobre la ineludible transició tecnològica i social que cal emprendre.

La Universitat Politècnica de Catalunya, com a entitat generadora i transmissora de coneixements, ha de promoure el desenvolupament sostenible i la protecció del medi ambient, tant pel que fa a les activitats de formació i recerca com a les institucionals [UPC-2012], i conscient d'aquesta responsabilitat ha obert un *procés de confluència i debat* davant del repte energètic que es concreta en els següents objectius:

1. Esdevenir una referència en l'actuació en el camp de la transició energètica
2. Formar, generar coneixement i col·laborar a impulsar la *transició vers un nou model energètic* sostenible i socialment just, especialment a escala local i global
3. Estimular la presa de consciència i el debat en la ciutadania i en les organitzacions econòmiques i socials sobre aquesta temàtica i mobilitzar experiències transformadores
4. Col·laborar amb els diferents nivells polítics (a escala local i global) en l'articulació de les polítiques i les regulacions que requerirà aquesta transició.

Fruit del procés de *confluència i debat*, *la UPC aprofita el caràcter politècnic de les seves activitats per emetre un document de bases tenint en compte la transversalitat del recurs energètic en les activitats humanes. El document s'estructura* en les següents parts:

1. Introducció a la transició energètica (*Canvi de paradigma i transició energètica)*
2. Alimentació i energia
3. Habitabilitat i energia
4. Accessibilitat, mobilitat i energia
5. Informació, comunicació i energia
6. Processos tecnològics i energia
7. Nou sistema energètic i governança.

Cada una de les parts del document de bases conté els següents apartats: *a*) Anàlisi de la situació i tendències; *b*) Responsabilitats i oportunitats de la UPC; i c) Línies de treball futures de la UPC.

La Universitat Politècnica de Catalunya és competent i, alhora, té una gran responsabilitat en el desenvolupament de la transició energètica. Això és així tant pel que fa al desenvolupament de solucions alternatives en una gran varietat dels processos tecnològics que suporten la nostra societat, com en molts dels que proporcionen l'alimentació, l'habitabilitat, l'accessibilitat, els béns materials, el transport, els serveis, la informació i la comunicació.

La UPC també es pot erigir en experiència pilot d'un sistema que, alhora, genera i consumeix energies renovables. Això es pot dur a terme tant en els propis edificis i instal·lacions que suporten les activitats de docència, recerca i transferència com impulsant un canvi cultural en què la tecnologia estigui al servei de les persones. Aquest canvi cultural s'ha de basar, principalment, en noves maneres d'ensenyar i de formar els professionals del futur en el camí de la *transició vers un nou model energètic*, econòmic i social més responsable i sostenible.

L'abast d'aquestes experiències i responsabilitats de la UPC com universitat transformadora ha d'incloure també la seva dimensió de cooperació internacional posant

la mirada en propostes assumibles i que serveixin tant per a l'entorn local més proper, com per a països en vies de desenvolupament, en un entorn internacional global.

Idees força per àmbits

Introducció a la transició energètica. Canvi de paradigma i transició energètica

La civilització basada en l'energia fàcil i abundant de fonts no renovables (especialment el 80% de combustibles fòssils) està tocant a la seva fi per dues raons: en primer lloc, perquè són recursos finits i, al ritme de consum actual, les seves reserves s'exhauriran en unes poques dècades; i, en segon lloc, perquè els gasos que resulten de la crema dels combustibles fòssils estan produint unes alteracions de l'atmosfera que condueixen a un canvi climàtic de greus conseqüències i difícilment reversible a escala humana de temps.

L'alternativa són les energies de fonts renovables (biomassa, hidràulica, eòlica, termosolar, fotovoltaica, marina, geotèrmica) la gran majoria procedents de la radiació solar. Si bé les energies renovables són més que suficients per cobrir totes les necessitats humanes actuals i futures, la dificultat de la transició des del sistema energètic actual (fòssil i nuclear) al nou sistema energètic renovable és adaptar la nostra civilització que ara disposa d'uns recursos d'estoc (concentrats, disponibles mentre n'hi hagi i molt intensius) a uns recursos de flux (distribuïts, intermitents i/o aleatoris i poc intensius) que requereixen grans superfícies de captació, nous sistemes d'emmagatze-matge i també noves formes de gestió per regular l'ús de l'energia en el temps.

La fi anunciada dels recursos no renovables no es resoldrà amb un simple canvi de tecnologies, sinó que a causa de la seva diferent naturalesa difícilment es podrà resoldre de forma satisfactòria sense també un canvi dels comportaments socials i de les formes d'organització política i econòmica. Cal un canvi de model que passi de donar valor als estocs finibles (on és clau l'ús intensiu de l'energia de fonts fòssils) a un model sostenible que gestioni fluxos que no siguin finibles.

En base a les seves competències i capacitats en l'ensenyament, la recerca i la transferència de coneixement i a la seva responsabilitat com a entitat pública, la Universitat Politècnica de Catalunya està compromesa amb la *transició vers un nou model energètic*, especialment en els camps d'expertesa que li són propis, les tecnologies i les ciències.

Aquest compromís està immers en un context on els valors que promouen les actuacions que se'n deriven són: la visió holística; el foment de la cooperació; el treball de proximitat; l'esperit d'iniciativa; el compartir coneixement i la consideració de la universitat com un ens amb capacitat de transformació.

Les actuacions transversals que es proposen s'emmarquen en quatre eixos: anticipació de la recerca; l'experimentació de noves solucions en la comunitat universitària; la participació activa en el debat general; i la formació de les generacions futures.

Alimentació i energia

L'alimentació és la primera condició de l'existència de les persones i de les societats humanes. Si bé l'energia dels aliments que requereix una persona és una quantitat relativament petita (2.500 kcal/dia, 2,9 kWh/dia, equivalent a una potència mitjana de 120 W) l'energia anual associada a l'alimentació del conjunt de la humanitat, uns 7.266 milions d'habitants el 2014, equival al 5,2 % del sistema energètic antropogènic, és a dir el creat pels humans. Cal parar esment en el fet que el contingut energètic dels aliments, llevat d'alguns compostos sintètics, procedeix de la captació d'energia solar per part dels productors primaris a través de la fotosíntesi, la qual és transferida a altres éssers a través de la xarxa tròfica.

Com en altres camps de l'activitat humana, la incorporació progressiva d'energies no renovables (especialment d'hidrocarburs) a la cadena de subministrament alimentari ha millorat els ritmes i els rendiments econòmics de la producció durant els darrers decennis. Un aspecte destacable és que en el darrer mig segle, les terres de cultiu que alimenten cada habitant de la Terra han disminuït de 0,60 hectàrees per habitant a 0,22 en l'actualitat.

Tanmateix, això ha estat a costa de dedicar una quantitat creixent d'energia del sistema energètic antropogènic (30 % del total) a les diferents etapes de la cadena de subministrament alimentari: producció primària (agricultura, ramaderia, aqüicultura i pesca); indústria de transformació; i distribució, conservació i preparació dels aliments (a les llars i la restauració). Amb l'actual model intensiu de producció, el sector primari/alimentari, orientat a abastir l'energia metabòlica per a les activitats humanes consumeix una quantitat creixent d'energia fòssil per aconseguir els seus objectius.

En la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic* cal desenvolupar alternatives a l'ús massiu dels combustibles fòssils en la cadena de subministrament alimentari, especialment en els processos de producció primària vegetal i animal. Un tema especialment important és el tractament dels efluents residuals, que caldrà considerar com nous recursos en el marc d'una economia circular. Això vol dir emprar les capacitats biotecnològiques de les que ja disposem per crear nous organismes que siguin el màxim d'eficients amb baixos inputs i que s'adaptin a sistemes de producció amb major diversitat i en conseqüència amb menys fluctuacions temporals.

Més enllà dels fòssils, el gran repte és establir un nou equilibri entre població i territori. Per exemple, amb els paràmetres actuals, Catalunya requerirà (segons diferents estimacions [Sans-2014], [Furró-2016]) entre 1,25 i 2,0 % del seu territori per proporcionar energia renovable a la seva població de 7,5 milions d'habitants; alhora, prenent la relació mitja mundial de 0,22 hectàrees de terres de cultiu per habitant, Catalunya necessitaria una quantitat lleugerament superior al 50 % del seu territori per a produir els aliments que consumeix, quan avui dia l'agricultura ocupa aproximadament el 25 % de la seva superfície. La producció d'aliments a partir de nous organismes i sistemes de producció pot fer baixar considerablement aquest percentatge.

Habitabilitat i energia

L'habitabilitat és un bé que cobreix la necessitat humana de l'aixopluc i de les condicions adequades per a les seves activitats individuals i col·lectives.

El primer lloc on s'expressa l'habitabilitat és en les llars on es realitzen les necessitats més bàsiques de les persones i les famílies: dormir i descansar, conservar i preparar els aliments, la higiene personal, guardar les pertinences personals, la relació quotidiana, la reproducció i la cria.

Però, en una vida socialment acceptable, existeixen altres manifestacions de l'habitabilitat a una més gran escala com són els serveis (educatius, assistencials, culturals), els àmbits de treball (oficines, tallers, fàbriques) o de lleure (sales de conferències, teatres, pavellons esportius) que, a través de l'urbanisme i la mobilitat, és el reflex de la relació de la societat amb el medi.

El 2014 en el món, la proporció del consum energètic associat al sector residencial és el 24,9 % de l'energia final i, les del sector dels serveis, el 8,7 % (33,6 % en total); en els països de l'OCDE, amb una proporció semblant, el consum residencial és una mica menor (20 %) que ve compensat per un major consum del sector serveis. Caldria afegir l'energia usada en la construcció i manteniment dels edificis que pot incrementar entre un 10 i un 20 % el consum de funcionament.

En la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic*, el principal problema en el futur és el manteniment de les edificacions ja construïdes i la seva adequació a les noves energies renovables. L'objectiu final seria arribar a tenir edificis de consum energètic quasi nul.

Accessibilitat, mobilitat i energia

Assegurades l'alimentació i l'habitabilitat, l'accessibilitat de les persones als llocs, als béns, als serveis, a la informació i al coneixement esdevé una condició bàsica de la seva participació i inclusió social. Cal no confondre l'accessibilitat (que és el valor) amb les activitats associades i els mitjans per a fer-les efectives.

Fins fa un segle i mig, l'única forma d'accessibilitat era la física (movent persones o béns); però des de la telegrafia fins al desenvolupament de la ràdio, la televisió i, en les darreres dècades, internet combinat amb la telefonia mòbil sobre la base de potents sistemes informàtics, l'accessibilitat virtual pren un paper cada cop més rellevant. En alguns camps, l'accessibilitat virtual substitueix l'accessibilitat física i, en d'altres, hi competeix o hi col·labora.

Avui dia, doncs, l'accessibilitat pren dues formes bàsiques: l'accessibilitat física on la mobilitat és l'activitat associada i els sistemes de transport els mitjans; i l'accessibilitat virtual on el flux d'informació és l'activitat associada i, els sistemes de comunicació els mitjans.

El transport és un dels grans consumidors d'energia en la societat actual: 30,6 % de l'energia final a escala mundial, 39,9 % en els països de l'OCDE, amb situacions límit a Espanya (46,0 %) i a Catalunya (49,9 %). A més, en el món el 92,4 % de l'energia final usada en el transport prové del petroli i el 64,5 % d'aquest recurs (el més proper a exhaurir-se) es destina al transport ([IEA-2017] per al món, OCDE i Espanya; [Idescat-2017c] per a Catalunya).

Per tant, en la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic*, cal fer un replantejament important i urgent de l'accessibilitat física (amb la mobilitat i el transport). En primer lloc, en els vectors energètics: de derivats del petroli a sistemes elèctrics procedents de fonts renovables (amb l'acumulació i formes d'embarcament d'energia en els vehicles: bateries, hidrogen i pila de combustible, electrificació de vies fèrries i carreteres) i, també, biocombustibles en certes aplicacions.

Però, alhora, cal transformar el transport en el seu conjunt: des de vehicles més eficients i l'aprofitament de les infraestructures fins a una nova concepció i gestió de la mobilitat que prioritzi les activitats de proximitat, la mobilitat col·lectiva i, sobretot, que cerqui sinèrgies amb l'accessibilitat virtual.

Informació, comunicació i energia

Les tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC) han esdevingut imprès-cindibles en els nostres dies: per un costat, permeten nous canals d'informació i comunicació (telefonia mòbil, xarxes socials, serveis on-line) que obren les perspectives de l'accessibilitat virtual; i, per altre costat, estem cada cop més envoltats de sistemes i aparells connectats que capten dades, les processen, les transmeten i actuen automàticament (centres de dades, mineria de dades o *data mining*, dades massives o *big data*, domòtica i control remot).

Atesa la gran complexitat i la imbricació de les TIC amb altres activitats, encara no hi ha comptabilitzacions acceptades de forma general sobre els usos energètics d'aquestes tecnologies. Però, a diferència d'altres sectors, la fabricació dels seus components (de molt baixa entropia) requereix molta més energia que l'ús durant la seva vida útil: es pot estimar un consum global entre el 10 i el 15 % de l'energia final (balanços energètics d'IEA [IEA-2017]) de la que de l'ordre d'un 80 % és absorbida durant la seva fabricació ([Williams-2004], [Mobbs-2010]).

Un altre tret característic de les TIC és que, al mateix temps que consumeixen energia, també contribueixen a estalviar-ne en les altres activitats (sectors primaris, indústria, serveis, transport i residencial), a través i de la desmaterialització (digitalització) de la informació i del millor coneixement i control dels processos. Cal aprofundir en aquests camins i, alhora, establir criteris i metodologies per avaluar els seus efectes globals que no fan més que créixer en el temps. Un altre repte important és la introducció de principis d'economia circular en les TIC com el foment de segons usos, la recuperació de materials (especialment els escassos) i d'energia.

Processos tecnològics i energia

Les activitats humanes s'organitzen en processos tecnològics, o seqüències ordenades i entrellaçades de procediments que, a partir de matèries i d'energia (combinats amb coneixements), tenen per objecte proporcionar béns i serveis útils a les persones i a les col·lectivitats.

La progressiva substitució de les fonts energètiques no renovables (d'estoc, concentrades i intensives) per fonts energètiques renovables (de flux, distribuïdes, intermitents i/o aleatòries, i menys intensives), així com el procés de *transició vers un nou model energètic*, trastoca profundament molts dels processos tecnològics convencionals.

Els aspectes més destacats dels futurs processos tecnològics són: fer els processos més eficients i evitar les pèrdues d'energia; atès que l'electricitat (que s'haurà d'anar aconseguint de manera creixent de les fonts renovables) serà molt més abundant que els combustibles, caldrà adaptar molts processos a aquest nou vector (tracció elèctrica, bomba de calor); adaptar en el possible la localització i el temps per operar els processos en els llocs i en els moments de les fonts energètiques (radiació solar, corrents d'aigua, vents); viceversa, caldrà evitar en el possible els sistemes que operin en hores de generació baixes a partir d'energia acumulada o que hagin d'embarcar quantitats importants d'energia en vehicles o sistemes autònoms. En tots aquests sistemes, els usos energètics resultaran més ineficients i cars.

Així, doncs, previ a la implantació de noves energies renovables, és recomanable revisar críticament els processos tecnològics associats a les diferents activitats a fi de: millorar la seva eficiència energètica; estudiar els casos en què convingui un canvi de vector energètic; disminuir al màxim els passos en els itineraris energètics des de les fonts fins als usos.

Sistema energètic i governança

La crisi de les energies no renovables i la necessària *transició vers un nou model energètic* basat en fonts renovables condueix a una profunda transformació de tot el sistema energètic que subministra energia al conjunt d'activitats humanes així com de la seva governança.

L'actual sistema energètic mundial, on en el 95,9 % dels casos intervé una combustió, està presidit per una enorme ineficiència: des de l'energia primària a l'energia final es perd el 32,5 %; i, des de l'energia primària a l'energia útil (la que realment impulsa els processos i mou els artefactes), es perd el 59,6 % i tan sols s'aprofita el 40,4 % (en països amb hipertròfia del transport, la situació és encara pitjor: 62,6 % de pèrdues a Espanya i de 66,4 % a Catalunya) ([IEA-2017], Idescat-2017c]). Això s'explica en gran part pel fet que la generació d'electricitat té de mitjana un rendiment de 33 % i l'impuls dels vehicles (terrestres, marins i aeris) té de mitjana un rendiment del 25 %; tan sols els sistemes

tèrmics basats en la combustió tenen rendiments superiors (poden arribar fins al 90 %) [Furró-2016].

El gruix del nou sistema energètic renovable es basarà majoritàriament en tecnologies que generin directament electricitat comptabilitzada com a tal (hidroelèctrica, eòlica, fotovoltaica, marina, biològica (ja que els sistemes biotecnològics també poden generar energia) i, per tant, el conjunt del sistema tindrà un rendiment molt superior ja que avui dia la major part de l'electricitat s'obté a partir de combustió amb un rendiment mitjà de 33%; complementàriament, els gasos obtinguts de fonts renovables (biometà, per exemple) consumits directament en usos tèrmics de proximitat, també milloren l'eficiència.

Així, doncs, enlloc del sistema energètic actual que usa 2,5 unitats d'energia primària per cada unitat d'energia útil, el nou sistema renovable n'usarà tan sols entre 1,4 i 1,8, depenent de les formes de governança que s'adoptin, especialment pel que fa a l'acumulació..

El grans reptes tecnològics que ha de resoldre el nou sistema renovable són l'acumulació massiva d'energia (fonamentalment elèctrica) a fi de resoldre la falta de sincronia entre la seva captació i ús (dia/nit, estiu/hivern) i l'embarcament de quantitats suficients d'energia en els vehicles amb condicionants de pes i espai reduïts.

Altres reptes són: resoldre la localització dels sistemes extensius de captació d'energia (a Catalunya són necessàries entre 40.000 i 60.000 hectàrees, d'1,25 a 2,0% de la superfície del país); i transformar l'actual xarxa elèctrica unidireccional (de grans generadors a consumidors) en una xarxa elèctrica multidireccional (múltiples generadors i múltiples consumidors) on cal inserir, entre d'altres, els sistemes d'emmagatzematge i els punts de recàrrega de vehicles [Furró-2016].

Probablement, l'hidrogen obtingut per hidròlisi de l'aigua i el seu posterior ús en piles de combustible (hidrogen-electricitat) o com a combustible, tindrà un paper rellevant en el nou sistema renovable amb tres funcions bàsiques: com a acumulador massiu d'energia elèctrica en moments de baix consum; per embarcar energia en vehicles pesants i de llargues distàncies; i, en cambres de combustió en processos industrials d'elevades temperatures.

L'aparició de noves formes d'obtenció de l'energia (com ara la generació per a usos propis o autoconsum, o la generació en instal·lacions col·lectives) permetran un empoderament de la ciutadans i obligaran a transformar les xarxes de distribució de jeràrquiques a distribuïdes. Alhora, el sistema tarifari s'haurà d'adequar a aquest nou model i també fomentar l'estalvi.

Aportacions de la UPC

El procés de *confluència i debat* en el si de la Universitat Politècnica de Catalunya durant els anys 2014 a 2017, en les diferents reunions i Jornades que s'han celebrat, ha fet aflorar un conjunt de *línies força* que posen el focus sobre les principals conclusions del document de bases.

D'una banda, des d'un punt de vista metodològic, aquestes conclusions s'orienten a fomentar:

PRINCIPIS METODOLÒGICS

- **VISIÓ HOLÍSTICA**

Transformar el treball basat en nínxols d'interès per un treball més global amb una visió holística i integradora.

- **COMPARTIR EL CONEIXEMENT**

Treballar en dinàmiques d'equips multidisciplinaris per aconseguir sinèrgies entre diferents especialitats.

- **FOMENT DE LA COOPERACIÓ**

Promoure el respecte i el coneixement del nostre entorn natural i social. Apostar per l'aprenentatge-servei dels nostres estudiants per resoldre problemes reals amb solucions transferibles a la societat.

- **TREBALL DE PROXIMITAT**

Posar en valor els recursos de proximitat en base a les particularitats de distribució i proximitat de les fonts d'energies renovables.

- **IMPLICACIÓ DE TOTHOM**

Impulsar la participació de tota la comunitat universitària per tal que la sostenibilitat esdevingui quelcom inherent i transversal a l'enginyeria.

- **ESPERIT D'INICIATIVA**

Fomentar l'aprenentatge actiu i imaginatiu basant en reptes. Potenciar la iniciativa, l'emprenedoria i la creativitat dels estudiants, el PDI i el PAS.

- **UNIVERSITAT TRANSFORMADORA**

Incidir en tots els àmbits de responsabilitat de la universitat, posant la mirada en propostes assumibles i que serveixin tant per a l'entorn local més proper, com per a països en vies de desenvolupament, en un entorn internacional global.

I, d'altra banda, les conclusions d'aquest document també permeten establir en un seguit d'actuacions tant transversals com per àrees temàtiques dins la pròpia Universitat:

ACTUACIONS TRANSVERSALS

- **ANTICIPAR LA RECERCA**

Reforçar línies de recerca actuals alineades amb el projecte TME, reconèixer-les, divulgar-les i potenciar-les. Impulsar noves línies estratègiques de recerca que es presenten com alternatives de futur, incentivar-les i dotar-les de recursos.

- **EXPERIMENTAR NOVES SOLUCIONS**

Col·laborar amb l'entorn. sistema productiu, governs i administracions, teixit associatiu i ciutadania. Potenciar la pràctica d'experiències pilot en la seva pròpia realitat.

- **FORMAR GENERACIONS FUTURES**

Contribuir de forma decisiva a la capacitació dels professionals i líders del futur en la transició vers un nou model energètic amb un projecte educatiu global que es fonamenti en la sostenibilitat present i futura.

- **PARTICIPAR ACTIVAMENT EN EL DEBAT GENERAL**

Ser present de forma activa amb l'elaboració de propostes en el debat general sobre el nou model energètic i les transformacions socials que comporta.

ACTUACIONS PER ÀREES TEMÀTIQUES

- **ALIMENTACIÓ I ENERGIA**

Afavorir la incorporació de les KET's (Tecnologies facilitadores) de la indústria 4.0 al sector agroalimentari, impulsar la recerca a la UPC sobre alimentació en la perspectiva de servei bàsic i sota nous conceptes integradors presidits per la transició energètica, oferir serveis per a l'elaboració dels balanços alimentaris de Catalunya així com treballar en tots els aspectes implicats en el procés de malbaratament d'aliments i d'aigua.

- **HABITABILITAT I ENERGIA**

Impulsar una visió de l'habitabilitat com a necessitat a satisfer per l'arquitectura, l'edificació i la ciutat, treballar per l'eficiència i els usos adequats de l'energia i d'altres recursos en relació a la utilització dels edificis i dels espais urbanitzats i, en especial, treballar pel repte del nZEB (edificis de consum d'energia quasi nul·la) així com desenvolupar nous models de serveis que continguin infraestructures verdes de connexió amb el territori, i que aportin la trama necessària per a la transformació de la ciutat existent.

- **ACCESSIBILITAT, MOBILITAT I ENERGIA**

Oferir a les administracions la capacitat per participar en l'anàlisi de l'accessibilitat, fer el seguiment continu de l'evolució de la mobilitat, desenvolupar nous conceptes de vehicles elèctrics urbans de bateries i les tecnologies de suport, impulsar la recerca i el desenvolupament de l'hidrogen com a vector energètic en el transport pesant i a llarga distància, així com promoure estudis sobre les circumstàncies en què convé més l'accessibilitat física, l'accessibilitat virtual o la cooperació entre elles; en tot cas, desenvolupar noves formes d'accessibilitat.

- **INFORMACIÓ, COMUNICACIÓ I ENERGIA**

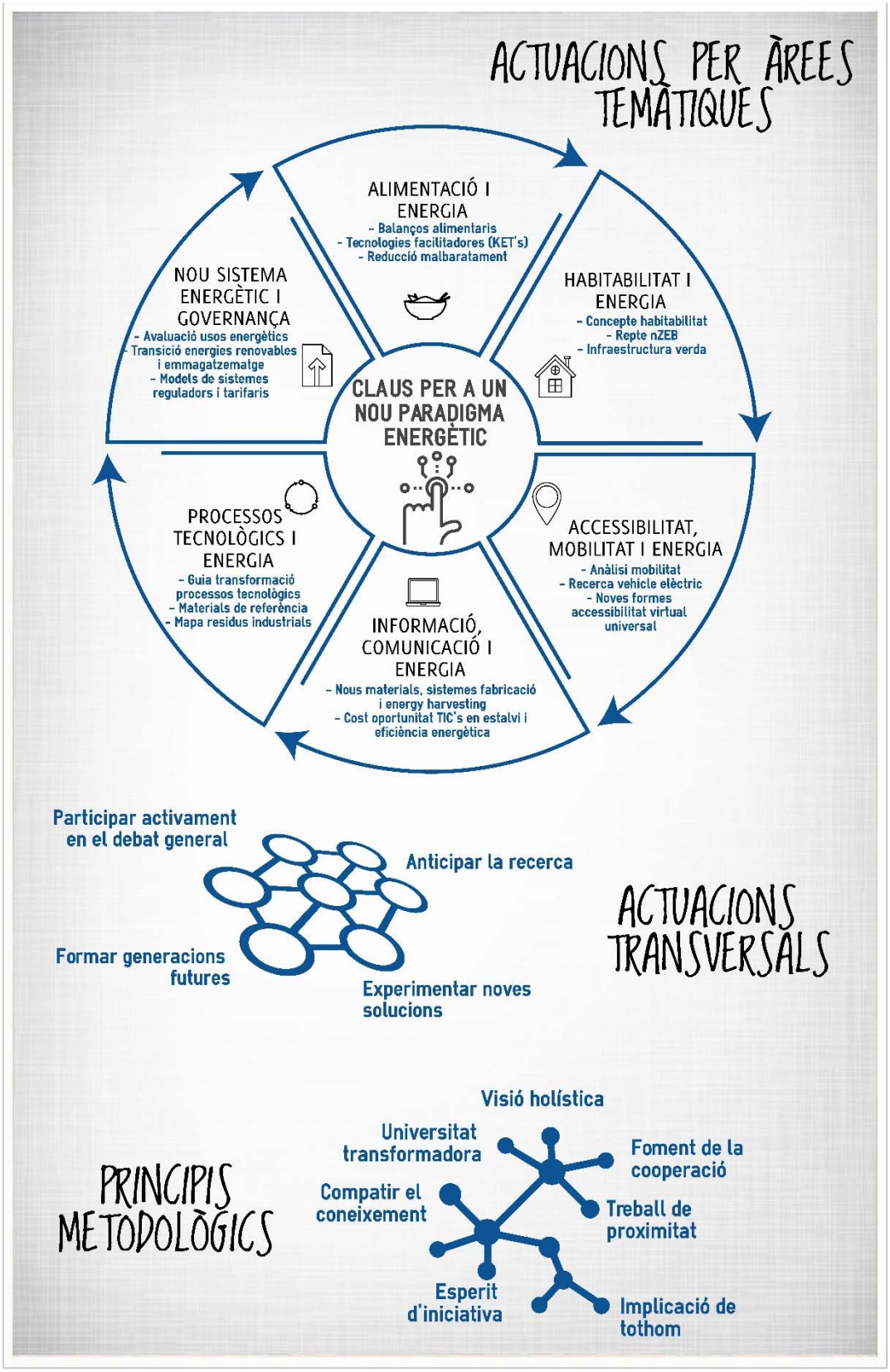
Proposar nous mètodes, nous materials per optimitzar l'energia requerida per fabricar circuits integrats, recerca sobre nous materials per fabricar circuits electrònics que permetin reduir la necessitat de terres rares, materials altament contaminants i/o materials provinents de zones en conflicte, desenvolupar i millorar les tècniques de captació d'energia (*energy harvesting*) així com analitzar el cost d'oportunitat que suposa la intervenció de les TIC's en els processos d'estalvi i eficiència energètica, i treballar per evitar les conseqüències de les fallades tècniques i humanes en les TIC i dels atacs exteriors en l'eficiència global (i energètica) del sistema econòmic.

- **PROCESSOS TECNOLÒGICS I ENERGIA**

Procedir a una revisió metòdica dels processos tecnològics des dels punts de vista energètic i ambiental. Posar l'èmfasi en l'obtenció dels materials (ciment, ceràmica, vidre, acer, metalls, polímers) ja que sol tenir més incidència energètica i ambiental que els processos posteriors de construcció o transformació. En aquest sentit, establir llistes de referència de materials, promoure el seu ús més responsable (minimitzar, optimitzar o substituir) tot desenvolupant alternatives, així com analitzar els residus i la fi de vida dels productes per tal d'impulsar l'economia circular. Desenvolupar una guia de transformació de processos tecnològics.

- **NOU SISTEMA ENERGÈTIC I GOVERNANÇA**

Participar en la transició del sistema energètic vers fonts renovables (solar tèrmica, hidràulica, fotovoltaica, eòlica, geotèrmica; també la biomassa) on apareixen nous agents (els generadors per a usos propis), noves funcions com l'emmagatzematge (on l'hidrogen està cridat a tenir una funció clau) i on cal transformar les xarxes en distribuïdes. Treballar per la transició del transport vers vectors energètics renovables. Desenvolupar i mantenir eines per conèixer i avaluar els usos energètics dels diferents sectors d'activitat, en la línia de l'enquesta ECESI de l'ICAEN sobre usos industrials. Estudiar i proposar formes d'empoderament de la ciutadania i models de sistemes reguladors i tarifaris adequat a les dinàmiques del nou sistema energètic renovable distribuït.


ACTUACIONS PER ÀREES TEMÀTIQUES
ALIMENTACIÓ I ENERGIA
- Balanços alimentaris
- Tecnologies facilitadores (KET's)
- Reducció malbaratament
HABITABILITAT I ENERGIA
- Concepte habitabilitat
- Repte nZEB
- Infraestructura verda
ACCESSIBILITAT, MOBILITAT I ENERGIA
- Anàlisi mobilitat
- Recerca vehicle elèctric
- Noves formes accessibilitat virtual universal
INFORMACIÓ, COMUNICACIÓ I ENERGIA
- Nous materials, sistemes fabricació i energy harvesting
- Cost oportunitat TIC's en estalvi i eficiència energètica
PROCESSOS TECNOLÒGICS I ENERGIA
- Guia transformació processos tecnològics
- Materials de referència
- Mapa residus industrials
NOU SISTEMA ENERGÈTIC I GOVERNANÇA
- Avaluació usos energètics
- Transició energies renovables i emmagatzematge
- Models de sistemes reguladors i tarifaris
CLAUS PER A UN NOU PARADIGMA ENERGÈTIC
Participar activament en el debat general
Anticipar la recerca
Formar generacions futures
Experimentar noves solucions
ACTUACIONS TRANSVERSALS
PRINCIPIS METODOLÒGICS
Visió holística
Universitat transformadora
Foment de la cooperació
Compatir el coneixement
Treball de proximitat
Esperit d'iniciativa
Implicació de tothom

1. Introducció a la transició energètica. Canvi de paradigma i transició energètica

Índex

1.1 Anàlisi de la situació i tendències

1.1.1 Evolució de l'energia en el món

1.1.2 Usos energètics i sectors d'activitat

1.1.3 Els límits del model fòssil

1.1.4 Necessitat d'un nou model energètic

1.1.5 Transició energètica, població i territori

1.1.6 Acords per a una transició energètica

1.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

1.2.1 Iniciatives per a un nou model energètic

1.2.2 Formar les generacions actuals i futures

1.2.3 Anticipar la recerca

1.2.4 Experimentar noves solucions

1.2.5 Participar activament en el debat general

1.1 Anàlisi de la situació i tendències

1.1.1 Evolució de l'energia en el món

Fins fa unes poques dècades, la Terra proporcionava suficients recursos per sostenir una activitat humana en expansió, tant en la intensitat del seu ús com en les capacitats per metabolitzar els residus o pel nombre de persones que en gaudien, o sigui la seva població.

En determinats moments històrics hi ha hagut exhauriments locals que han obligat a abandonar certes activitats, determinats territoris o han produït extincions parcials però, ara, ja es perceben els primers límits globals. Els indicadors més característics d'aquesta nova situació són, per una banda, l'escassedat relativa dels combustibles fòssils (de forma especial, els petrolis convencionals) i, per l'altra, el canvi climàtic d'origen antropogènic, avui dia ja acceptat de forma general.

I encara, complementàriament al problema energètic i climàtic, la riquesa i el poder econòmic s'estan concentrant a escala mundial i els processos productius i les formes organitzatives són cada vegada menys transparents i tendeixen a reduir la mà d'obra, fets que dificulten encara més la solució dels greus problemes plantejats i la presa de decisions.

Evolució del sistema energètic humà

La figura 1.1 mostra l'evolució del sistema energètic humà en els dos darrers segles i mig. Es poden destacar el següents períodes:

1750 a 1850
En aquests primers cent anys del període analitzat, els usos energètics mundials s'eleven des de 3.500 a 6.150 TWh (fonamentalment de biomassa) on el carbó creix de 30 a 610 TWh per any.

1850 a 1945
Amb el desenvolupament del ferrocarril a partir de 1925, creix l'ús del carbó que sobrepassa el de la biomassa vers 1905 i se situa en uns 8.800 TWh el 1910, valor que, després d'oscil·lar se situa a 9.300 TWh el 1945. La biomassa creix moderadament fins a 7.200 TWh el 1945. La indústria de l'automòbil impulsa l'ús del petroli que passa des de 300 TWh el 1900 a 4.300 TWh el 1945. La producció de gas natural i energia hidroelèctrica segueixen passes semblants amb cert retard i arriben a 1.200 i a 400 TWh el 1945, respectivament.

De 1945 a 1973

Després de la Segona Guerra Mundial és el moment de la gran expansió del cru que, en 28 anys, multiplica la seva producció per més de 7 i arriba a la crisi del petroli de 1973 amb 31.400 TWh (45,1 % del mix energètic). El gas natural creix encara més (unes 9 vegades) però arriba a valors absoluts més baixos (11.100 TWh el 1973) mentre que el carbó tan sols duplica (17.900 TWh). Amb això, la producció de fòssils arriba aquest any a la proporció més alta (87,4 %) en el mix energètic mundial de 69.600 TWh.

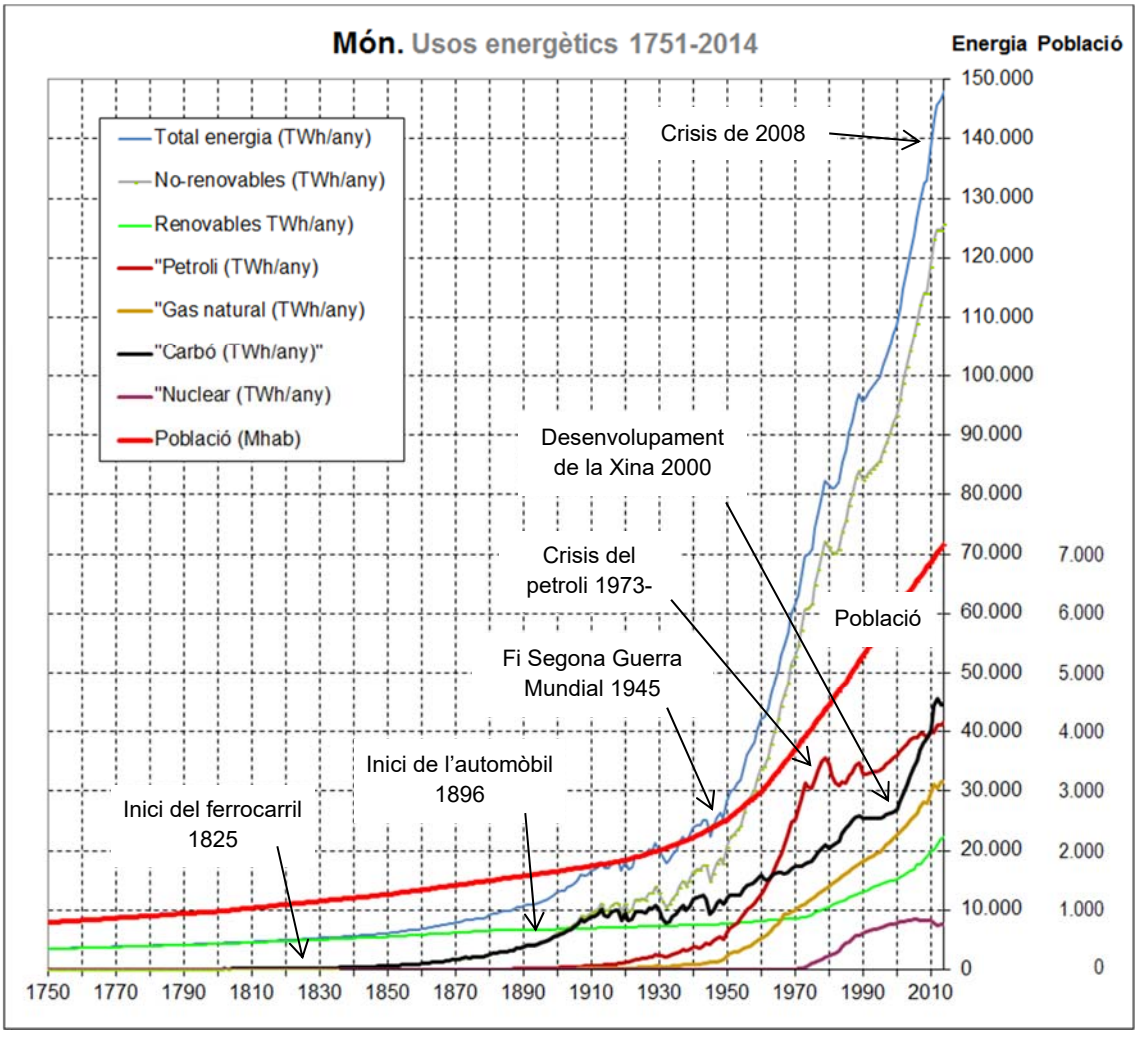


Figura 1.1 Fonts: dades històriques, a partir de les emissions de CO2 estimades per CDIAC [CDIAC-2014]; da-des dels darrers anys, Agència Internacional de l'Energia [IEA-2016];.

Crisis del petroli de 1973 i 1979

És el resultat del conflicte per les restriccions de subministrament que imposen els països àrabs productors als països que han donat suport a Israel. Els preus pugen i es produeix un estancament del consum de petroli durant una dècada (30.900 TWh el 1983). L'ús dels altres fòssils puja moderadament, comença a implantar-se l'energia nuclear i les fonts renovables creixen. En conjunt, la producció energètica mundial arriba a 82.100 TWh el 1983.

La nova expansió fins a la crisi de 2008

A partir de 1983, els preus del petroli i dels combustibles fòssils tornen a baixar i l'ús de l'energia es torna a expandir durant un llarg període de 25 anys fins a 132.600 TWh el 2008. Però, ara, els grans responsables del creixement de l'ús d'energia són el carbó sota l'impuls de la Xina i altres economies asiàtiques (38.000 TWh, 77,0 % d'increment) i el gas natural (28.200 TWh; 85 % d'increment) mentre que el petroli creix el 28 % fins a 39.500 TWh. L'energia nuclear creix molt ràpidament a partir de l'any 1969, arriba al seu màxim el 2006 (8.500 TWh), però l'accident de Fukushima el 2011 marca l'inici del seu declivi.

En aquest període, les energies renovables experimenten una ràpida progressió: la hidroelèctrica, creix un 79 % fins a 3.200 TWh el 2008; les altres elèctriques renovables, es multipliquen per quasi quatre i arriben a 1.040 TWh; i, la biomassa, creix més del 50 % i se situa a 14.200 TWh l'any 2008, especialment en els països menys desenvolupats de l'Àfrica Subsahariana, el Sud-Est Asiàtic i de l'Amèrica Llatina, no sempre obtinguts de forma sostenible. Tanmateix, el seu creixement és paral·lel al de les no renovables de manera que el percentatge tan sols puja a 13,9 % el 2008.

Crisi de 2008 i tendències posteriors

Després d'un llarg període de creixement econòmic associat al consum de recursos i d'energia, el 2008 esclata una crisi mundial que comença essent hipotecària, després esdevé financera i acaba afectant a tota l'economia.

Encara que tenim una perspectiva escassa però, ja es comencen a entreveure els efectes de l'escassedat de recursos energètics i, de forma molt clara, la dels combus-tibles fòssils i el petroli. En efecte, el preu del cru, després d'arribar l'11 de juny de 2008 al valor més alt de la història (147,27 $/barril), cau l'any següent (2009) per sota de 40 $/barril, torna a remuntar a valors d'uns 80 $/barril l'any 2010, se situa per sobre dels 100 $/barril durant els anys 2011 a 2014, cau novament a finals de 2015 a valors entre 30 i 60 $/barril (forçat especialment per Aràbia Saudita) i, ara, sembla que torna a remuntar.

La taula 1.1 mostra les tendències en la producció i el consum d'energia en el període 2008-2014:

Taula 1.1 Variacions en els usos energètics en el període 2008-2014

	Total	Fòssils	Petroli	Gas natural	Carbó	No-renovab.	Renovables
MÓN	11,7 %	11,4 %	5,1 %	11,9 %	17,7 %	10,1 %	21,5 %
OCDE	-4,1 %	-5,9 %	-9,3 %	4,3 %	-11,5 %	-6,8 %	28,3 %
No-OCDE	25,2 %	26,7 %	22,7 %	20,0 %	33,3 %	26,6 %	19,2 %
EU-28	-11,4 %	-17,8 %	-16,7 %	-23,4 %	-12,1 %	-16,1 %	34,6 %
Espanya	-14,9 %	-24,4 %	-21,6 %	-32,9 %	-16,9 %	-21,9 %	93,6 %
Catalunya	-8,2 %	-15,6 %	-9,6 %	-23,3 %	-91,2 %	-10,4 %	9,4 %

Fonts: [IEA-2016], [Idecat-2016a]

Els usos mundials d'energia creixen l'11,7 % (i els dels fòssils en un 11,4 %, més en el carbó i el gas natural que en el petroli) però de forma molt desigual: en els països OCDE baixen (-4,1 %) i, en els països No-OCDE, augmenten el 25,2 % (especial-ment a la Xina i els països emergents). Destaca l'augment del carbó (el de més impactes ambientals) en els països No-OCDE (33,3 %). La disminució dels consums energètics a l'àmbit europeu és superior als de l'OCDE: Catalunya (-8,2 %), EU28 (-11,4 %) i Espanya (-14,9 %).

Tot i la diferència d'increments entre energies no renovables (10,1 %) i renovables (21,5 %), la incidència en l'equilibri global és petita a causa del gran pes de les fonts no renovables en el mix energètic mundial. Als països de l'OCDE les energies no-renovables baixen (-6,8 %) mentre que les renovables pugen sensiblement (28,3 %). A Europa EU28 i a Espanya aquestes tendències són més marcades; en canvi a Catalunya, l'augment de les energies renovables és molt dèbil. En els països No-OCDE, molts d'ells en plena etapa de desenvolupament, l'augment de les energies renovables és més feble que el de les no renovables.

Evolució dels preus del petroli

Els preus del cru (figura 1.2), més elevats que els dels altres combustibles fòssils (aproximada-ment el doble que el gas i quatre vegades que el carbó, a igual energia), han estat molt baixos en llargs períodes de la història. Tan sols hi ha hagut tres episodis de preus alts: en el seu llançament inicial, vers les dècades 1860 i 1870; en les crisis (polítiques) del petroli dels anys 1973-1983; i en la crisi actual (de recursos i ambiental), especialment després de 2008.

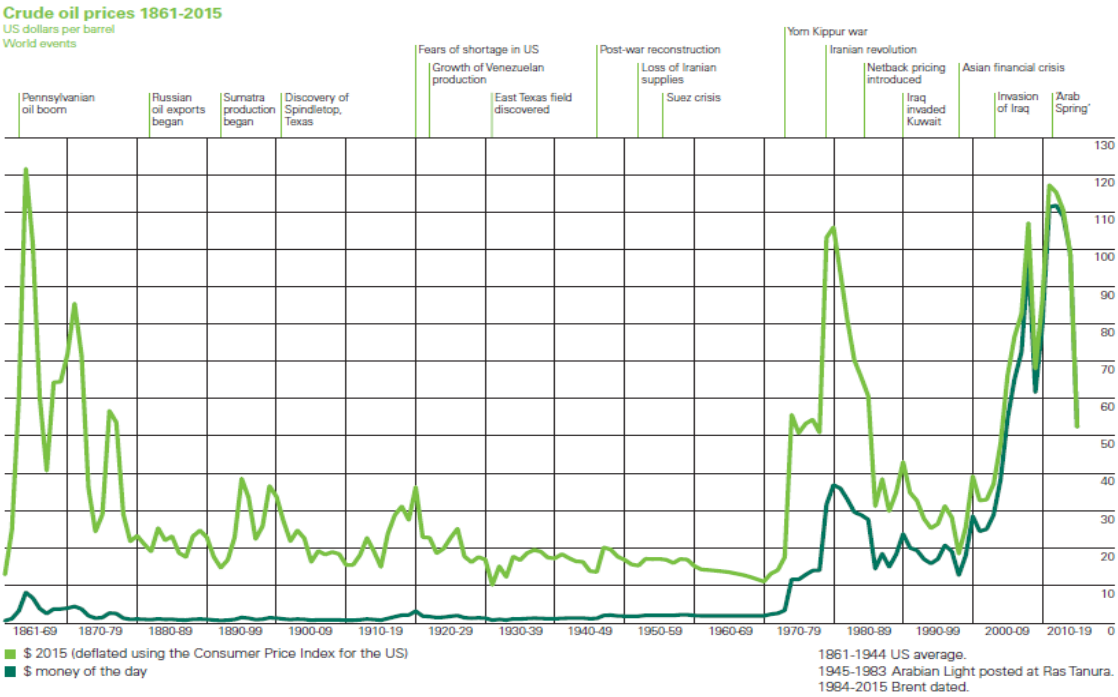


Figura 1.2 Evolució històrica dels preus del cru, en valors corrents i valors de 2015.
Font: BP Statistical Review of World Energy, June 2016 [BP-2016]

Aquestes fortes fluctuacions de preus que acompanyen una economia també fluctuant, poden ser símptomes d'un canvi d'època en què l'energia i els recursos seran el tema central. Si bé els darrers indicis apunten una certa recuperació econòmica en els països desenvolupats, semblen indicar una frenada en les economies dels països emergents.

1.1.2 Usos energètics i sectors d'activitat

Per concebre alternatives cal saber com s'usa l'energia en els diferents sectors d'activitat.

La taula 1.2 es basa en les dades dels balanços energètics de 2014 d'IEA [IEA-2017] per al Món, els països OCDE, els països No-OCDE, Europa EU28 i Espanya, i en les dades d'IDESCAT [Idescat-2017a] per a Catalunya. En les xifres que es donen a continuació s'han descomptat els usos no-energètics (polímers, adobs i altres) dels combustibles fòssils.

En els balanços d'IEA, l'energia primària de les fonts elèctriques renovables (hidroelèctrica, fotovoltaica, eòlica, marina) es comptabilitzen com a electricitat i queden infravalorades davant dels combustibles en el còmput general: en efecte, el 2014 l'energia primària nuclear (tèrmica) és el 5,2 % del mix mundial mentre que la hidroelèctrica és el 2,6 %. Però l'electricitat generada per les fonts nuclears és 2.540 TWh (9,2 % mundial)

mentre que la generada per la hidroelèctrica és 3.980 TWh (14,3 %); el mateix esdevé amb l'eòlica, la fotovoltaica i la marina.

L'energia primària usada el 2014 en el món (taula 1.2) és de 148.140 TWh (20.390 kWh per habitant i any). El 84,8 % correspon a fonts no renovables: combustibles fòssils que emeten 32.380 milions de tones de CO2 equivalent (4,46 tones per habitant i any), i urani; i el 15,1 % restant correspon a fonts renovables (hidroelèctrica, biomassa i altres renovables). Un cop transformada en energia final (combustibles comercials i electricitat), l'energia primària es redueix a 99.980 TWh (13.760 kWh per habitant i any) i perd el 32,5 % del seu potencial inicial.

Els països OCDE, amb el 17,5 % de la població mundial, produeixen el 29,5 % de l'energia primària, n'usen el 39,6 % (46.190 kWh per habitant i any) i generen el 36,6 % dels gasos d'efecte hivernacle (9,34 tones de CO2 equivalent per habitant i any).

En contrast, els països No-OCDE, amb el 82,5 % de la població, produeixen el 70,5 % de l'energia primària, n'usen el 60,4 % (14.910 kWh per habitant i any, unes tres vegades inferior als de l'OCDE) i emeten el 63,4 % dels gasos d'efecte hivernacle (3,42 tones de CO2 equivalent per habitant i any, també unes tres vegades inferior als de l'OCDE).

A Europa, aquestes xifres són altes però inferiors a les del conjunt de l'OCDE (35.500 kWh per habitant i any i 5,96 tones de CO2 equivalent per habitant i any), lleugerament per sobre de les d'Espanya (30.160 i 4,97) i de Catalunya (35.230 i 4,83).

Taula 1.2 Usos de l'energia 2014 segons àmbits territorials i sectors d'activitat

		Món	OCDE	No-OCDE	EU28	Espanya	Catalunya
Població	10^6 habitants	7.265	1.270	5.995	505	46,8	7,5
	% món	100,0 %	17,5 %	82,5 %	6,9 %	0,64 %	0,10 %
EP-producció	**TWh/a**	**149380**	**43.710**	**105680**	**7.750**	**355**	**60**
	% Subm. EP[1]	100,8 %	74,4 %	118,2 %	43,2 %	25,1 %	22,8 %
	% món	100,0 %	29,5 %	70,5 %	5,2 %	0,24 %	0,04 %
EP-subministra.	**TWh/a**	**148.140**	**58.720**	**89.410**	**17.930**	**1.410**	**265**
Per càpita	kWh/(hab·a)	20.390	46.190	14.910	35.500	30.160	35.230
	% món	100,0 %	39,6 %	60,4 %	12,1 %	0,95 %	0,18 %
No renovables	% Subm. EP	84,8 %	89,7 %	81,6 %	86,0 %	85,5 %	93,1 %
Renovables	% Subm. EP	15,2 %	10,3 %	18,4 %	14,0 %	14,5 %	6,9 %
Emissions GEH	**$TgCO_{2eq}$/a**	**32.380**	**11.970**	**20.520**	**3.010**	**233**	**36**
Per càpita	$MgCO_2$/(hab·a)	4,46	9.34	3,42	5,96	4,97	4,83
	% món	100,0 %	36,6 %	63,4 %	9,3 %	0,73 %	0,11 %
EF-Energia final	**TWh/a**	**99.980**	**40.090**	**59.890**	**12.570**	**1.000**	**175**
Per càpita	kWh/(hab·a)	13.760	31.530	9.990	24.910	21.360	23.140
	% Subm. EP	67,5 %	68,3 %	67,0 %	70,1 %	70,9 %	66,0 %
	% món	100,0 %	40,1 %	59,9 %	12,6 %	1,00 %	0,17 %
Agricult., pesca	% EF	2,3 %	1,9 %	2,6 %	2,3 %	3,2 %	2,7 %
Indústria	% EF	32,0 %	23,5 %	37,7 %	23,6 %	22,4 %	23,7 %
Serveis	% EF	8,7 %	13,9 %	5,1 %	13,0 %	10,3 %	10,6 %
Transports	% EF	30,6 %	39,9 %	24,3 %	36,3 %	46,0 %	49,9 %
Residencial	% EF	24,9 %	20,0 %	28,2 %	24,3 %	17,1 %	13,1 %
No especificat	% EF	1,5 %	0,8 %	2,1 %	0,4 %	1,1 %	0,0 %

[1] *Si la producció és superior al subministrament, exporta energia. EP = Energia primària; EF = energia final. S'ha inclòs l'energia de l'aviació i la navegació internacional i s'han exclòs els usos no energètics.* ***Fonts****: Món, OCDE, No-OCDE, Unió Europea (EU28) i Espanya Agència Internacional de l'Energia [IEA-2016]; Catalunya, Institut Estadístic de Catalunya [Idescat-2017a].*

En el repartiment dels usos d'energia final entre els sectors d'activitat, el més destacat en el món és la indústria (32,0 %) seguit de molt a prop del transport (30,6 %) i, a certa distància, pel sector residencial (24,9 %); molt més lluny queden els serveis (8,7 %) i en valors quasi testimonials, els sectors primaris (agricultura i boscos, pesca, 2,3 %).

Aquest repartiment presenta diferències acusades entre els diferents àmbits territorials: en els països OCDE destaquen els usos en transport (39,9 %), seguits a distància dels industrials (23,5 %) i residencials (20,0 %) on els dels serveis són significatius (13,9 %); en canvi, en els països No-OCDE destaquen els industrials (37,7 %, són la fàbrica del món) seguits dels residencials (24,3 %) i en el transport (24,3 %, més baix) mentre que els dels serveis són molt inferiors (5,1 %).

La distribució dels usos energètics a Europa és semblant a la de l'OCDE, amb el predomini del transport, on les d'Espanya i de Catalunya són les més descompensades; en concret, Espanya usa el 46,0 % de l'energia en el transport i el 17,1 % en el sector residencial i, Catalunya, usa el 49,9 % en el transport (un despropòsit) i el 13,1 % en el sector residencial.

1.1.3 Els límits del model fòssil

Els combustibles fòssils han estat els recursos energètics que han possibilitat el desenvolupament dels dos darrers segles. Tanmateix, avui dia el seu ús entra en crisi per un doble motiu: a) Perquè s'han anat consumint els recursos més fàcils i barats d'obtenir i cada dia cal confiar més el subministrament en recursos de menys qualitat, més inaccessibles i mes cars (el paradigma són les sorres bituminoses o els petroli i gas d'esquist obtingut per fracking); b) Perquè, més enllà de la contaminació local (boirum, o smog, en les ciutats) o regional (la puja àcida en els boscos), existeix l'efecte persistent i acumulatiu del canvi climàtic a través del CO_2 generat en la seva combustió.

Exhauriment de les reserves

Diversos estudis (entre ells [Riba-2011] amb dades de 2008) assenyalen que, amb les tendències actuals de consum, l'exhauriment dels recursos energètics no renovables es produiria dintre d'unes poques dècades. La major part de les reserves oficials que s'han afegit darrerament corresponen a recursos de difícil extracció, de rendiments energètics cada cop inferiors i d'impactes ambientals creixents que, en tot cas, tan sols allargarien el termini d'exhauriment en alguns anys. Per altre costat, hi ha dubtes reconeguts sobre algunes de les reserves auto-assignades pels països d'Orient Mitjà i que són una part substancial del global de les reserves mundials.

Encara més greu, el problema dels recursos energètics no renovables es manifestarà molt abans del seu exhauriment. El veritable impacte és el seu màxim de producció, ja que incideix en el creixement de l'economia, fins ara sempre en expansió. I, els primers símptomes són la crisi de 2008.

L'exhauriment futur de les reserves fòssils també afectarà a altres recursos minerals, com el fòsfor que presenta reserves mundials molt localitzades geogràficament. Aquest és un element clau per al sistema alimentari, de manera que caldrà promoure la seva recuperació dels residus i aigües residuals.

Canvi climàtic

L'atmosfera de la Terra conté una sèrie de gasos (en especial el vapor d'aigua, que s'autoregula, i el diòxid de carboni, que és acumulatiu i roman) que tenen un efecte hivernacle, o sigui, són transparents i deixen passar la radiació del Sol, però absorbeixen i retenen part de la radiació infraroja que la Terra retorna a l'espai; d'aquesta manera, els gasos d'efecte hivernacle contribueixen que la temperatura mitjana de la superfície de la Terra sigui d'uns 15 °C (apta per a la vida) quan, sense l'efecte hivernacle, seria d'uns -20ºC.

El problema actual és que l'acció de l'home, especialment a través de la crema de les reserves de combustibles fòssils, incrementa la quantitat de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera (sobretot de CO2) i la temperatura augmenta. Aquest canvi climàtic posa en perill la composició, la capacitat de recuperació i la productivitat dels ecosistemes naturals i, de retruc, el mateix desenvolupament econòmic i social, la salut i el benestar de la humanitat.

El Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC) és una organització de la ONU fundada el 1988 on participen governs de tot el món. El seu objectiu és recaptar informació científica referent al canvi climàtic per donar suport a les decisions dels governs. Des de la seva fundació, ha publicat 5 informes (Assessment Report, AR), l'últim dels quals el 2014.

Hi ha consens entre la comunitat científica internacional sobre alguns punts: a) S'estima que el límit de 2ºC d'escalfament global és el màxim per no alterar significativament els patrons climàtics i que els sistemes ecològics podran suportar sense patir grans transformacions; b) Per aconseguir limitar l'escalfament global a 2ºC l'any 2100, la concentració de CO2 equivalent no hauria de superar les 450 ppm (parts per milió). En aquests moments s'han sobrepassat les 400 ppm en relació a les 270 ppm de l'època preindustrial, i s'avança a raó de 1,5 a 2 ppm/any.

Per assolir aquest objectiu, l'AR-5 estudia diversos escenaris entre els quals el més raonable seria retallar les emissions de gasos d'efecte hivernacle entre el 40 i el 70 % l'any 2050, i del 100 % l'any 2100, o fins i tot requerirà emissions negatives, és a dir, capturar més CO2 del que s'emet. Depenent del que es tardi a prendre mesures per reduir les emissions, la retallada haurà de ser més pronunciada o fins i tot serà impossible mantenir la concentració per sota de 450 ppm.

1.1.4 Necessitat d'un nou model energètic

Alternativa: les energies renovables

Afortunadament, el Sol irradia un flux constant de 175.000 TW sobre la Terra (1.530.000.000 TWh per any), unes 10.000 vegades superior a l'energia de l'actual sistema energètic humà [Riba-2011]. Nombrosos estudis i propostes d'arreu del món avalen que les energies renovables són una alternativa i cada vegada hi ha més consens en el fet de plantejar una transició energètica vers el 100 % d'energies renovables abans de 2050, entre d'altres: [SRU-2010], Alemanya; [CEESA-2012], Dinamarca; [Think-2011], Europa; [FPB-ICEDD-VITO-2013], Bèlgica; [Jacobson-2014], Califòrnia; [Kivi-2014], Països Baixos, [Zhongyng-2016], Xina.

En el nostre país, el treball de R. Sans i E. Pulla [Sans-2014] mostra per als principals països europeus i Catalunya que la transició energètica el 100 % renovable en l'horitzó 2050 és tècnicament viable i econòmicament molt més favorable que no fer-la; i el treball d'E. Furró [Furró-2016] planteja les etapes i prioritza les tecnologies per a dur a terme la transició energètica a Catalunya. El 2017, el govern de Catalunya aprova el Pacte Nacional per a la Transició Energètica [ICAEN-2017].

El camí per superar la crisi de recursos i ambiental és, doncs, la transició energètica: el procés de substituir progressivament les energies fòssils i nuclear, contaminants i no renovables per energies netes i renovables. La taula 1.3 presenta unes dades que indiquen que la transició energètica és especialment urgent a Catalunya. Espanya i a Europa.

Taula 1.3 Relació entre població, PIB, usos energètics i factures exteriors dels fòssils

2014	Població	PIB per càpita	Consum fòssils	Consum energia	Cons/Prod fòssils	Factura exterior fòssils (2012)
	10^6 hab	€/(hab·a)	MWh/ (hab·any)	MWh/ (hab·any)	%	milions €[1]
Món (entre països)	7.265	7.930	14,20	17,86	100,0 %	±1.690.000
OCDE	1.270	28.650	32,15	40,46	70,8 %	-845.500
No-OCDE	5.995	3.540	10,43	13,06	120,8 %	+845.500
Europa EU28	505	27.320	22,18	33,12	28,0 %	-447.900
Espanya	46,8	22.420	19,34	26,44	2,1 %	-50.500
Catalunya	7,5	27.670	20,10	30,78	1,8 %	-8.000

[1] *Aquests valors es refereixen a 2012 quan els preus dels combustibles eren elevats; els valors positius són ingressos i els valors negatius són pagaments. Fonts: Energia [IEA-2016]; PIB [IMF-2017]; preus dels fòssils [IndexMundi-2017]; Dades de Catalunya [Idescat-2017a]*

Si bé aquesta transició és necessària a escala global, molt més ho és a Europa, que el 2014 importa el 72 % dels combustibles fòssils que consumeix amb un cost avaluat el 2012 (en un moment de preus alts) d'uns 448.000 milions d'euros; i no cal dir a Espanya, que importa quasi el 98 % dels combustibles fòssils amb un cost d'uns 50.500 milions d'euros o, a Catalunya, que importa tots els fòssils amb un cost d'uns 8.000 milions d'euros.

Si bé la transició energètica vers el 100 % de fonts renovables és possible i molt favorable en una perspectiva de futur, cal un gran esforç col·lectiu de canvi de mentalitats i de formes de procedir i, alhora, una gran transformació dels sistemes tècnics, de gestió i de governança de la civilització humana actual. El baix cost, la comoditat i els patrons de comportament que les energies fòssils han proporcionat a la ciutadania, així com les resistències de l'actual sistema energètic a perdre els seus privilegis, seran dificultats que caldrà vèncer.

1.1.5 Transició energètica, població i territori

Des del punt de vista espacial, la característica més significativa de l'actual model energètic i per extensió del model econòmic dominant és l'enorme distància existent entre producció i consum o, traduït espacialment, entre camp (o espai rural) i ciutat (o l'espai urbà) .

Vers el 2005 la població urbana mundial va superar per primera vegada la que viu en entorns rurals i el 2014 la població urbana mundial era el 54 % del total [UN-2014]. La majoria urbana és ja clara a Amèrica del Nord (82 %), Amèrica del Sud i Carib (80 %) i Europa (73 %), amb Espanya i Catalunya per sobre de la mitjana; en canvi, Àsia i sobretot Àfrica no superen el llindar del 50 % però ho faran aviat. Les Nacions Unides [UNH-2016] preveu que vers el 2050, els 2/3 de la població mundial serà urbana: un 10 % en megaciutats de més de 10 milions d'habitants, un 35 % en ciutats entre 5 i 10 milions d'habitants (la Regió Metropolitana de Barcelona, RMB, respon a aquest perfil) i, el més significatiu, un 55 % ho farà en ciutats mitjanes de menys de 500.000 habitants.

Si en els informes de fa vint anys de les Nacions Unides la ciutat era el problema, en els estudis més recents són la solució [Kimmelman-2016]. A escala global les ciutats acumulen el 70 % de les emissions i consumeixen el 75 % dels recursos (el problema i la imatge d'espoli i agressió), però també produeixen el 80 % de PIB mundial i, el més important, tan sols ocupen entre un 2 i un 3 % de la superfície mundial, el 4,6 % a Europa [Eurostat-2017] i 6,5 % a Catalunya [Idescat-2017b]; així, doncs, la concentració de la població en ciutats protegeix el sòl, els recursos i la vida del planeta. Aquest nou horitzó urbà implica desafiaments de desenvolupament, governança i sostenibilitat molt grans i

variats; no obstant això, les conseqüències territorials del model econòmic actual o els canvis territorials necessaris per fer-lo sostenible no apareixen en els informes.

Avui dia, tant el sistema energètic com la planificació urbana i territorial responen a un model econòmic global basat en estocs, dividit en zones separades de producció i de consum connectades per infraestructures de transport que usa grans quantitats de combustibles fòssils. Una gran part del consum d'energia té a veure amb aquesta organització espacial. La política i la gestió centrades de forma independent en els espais de producció o de consum encara aprofundeixen en la aquesta separació [Wiskerke-2016].

Històricament, la implantació de les activitats en el territori (fluxos d'energia, aigua, béns, ali-ments i tractament de residus) i la necessitat de creixement econòmic ha justificat la irreversibilitat del consum de combustibles fòssils amb les conseqüents emissions, malgrat la seva ineficiència energètica, els estralls ambientals que genera i la seva insalubritat.

Amb el model d'economia actual i la seva organització espacial basada en fonts d'energia fins ara barates, com el petroli i el carbó, és fa molt difícil fer la transició energètica. Les polítiques inicials centrades en la racionalització del consum han resultat estèrils a causa de la incorporació massiva al consum de països en vies de desenvolupament (com la Xina o l'Índia). De fet no hi ha estudis ni dades que relacionin la producció i el consum amb el territori ni planificació en aquest sentit.

Mentre que gran part de l'energia que hem consumit en els darrers 150 anys estava sota terra, en un futur pròxim l'energia s'haurà de produir en la superfície. El coneixement sobre els actuals sistemes d'energia renovable permet fer una previsió de la superfície que caldrà dedicar-hi, però el seu impacte i la seva implementació depenen del model adoptat.

Si es manté la producció concentrada en uns pocs llocs, l'impacte territorial esdevé enorme i no hi estem preparats. En canvi, si l'energia és captada de manera contínua i propera a tot el territori, els impactes són més distribuïts i la concentració de la població en àrees urbanes mitjanes i l'heterogeneïtat territorial a què tendeix, malgrat tot, el nou planejament territorial (i la naturalesa), són favorables a la seva implementació gradual. L'enfocament urbà és fonamental.

Els models més recents de metabolisme urbà que interpreten la ciutat com un organisme viu, així com també els estudis d'economia circular, busquen invertir aquesta tendència propugnant l'acció local o regional en base a bucles de relació més curts i equilibrats que enllacin totes les parts i processos [EEA-2015]. Aquests models impulsen la transició energètica tot generant creixement sostenible en benefici de l'economia local a més de facilitar l'adaptació a les conseqüències del canvi climàtic. La base de tots ells és passar de l'escala espacial global a la regional o urbana. Des del punt de vista tècnic i econòmic,

l'escala territorial més propera fa possible la substitució gradual de les actuals energies no renovables per energies renovables.

El paisatge, finalment, no és aliè a les lleis de la termodinàmica. La ciència en general, la termodinàmica i l'ecologia aplicada en particular, són la base per al disseny espacial de la transició vers un nou model energètic [Stremke- 2011].

1.1.6 Acords per a una transició energètica

Fa temps que hi ha indicis que estem transitant per un canvi d'època tant pels límits del sistema natural que ens sosté (recursos, energia, biodiversitat, impactes ambientals, canvi climàtic) com per les oportunitats dels desenvolupaments tecnològics sorgits en les darreres dècades. Hi ha un món nou que pugna per emergir i també un món vell que tem el canvi.

En els darrers anys s'han accelerat iniciatives i acords de gran transcendència per impulsar aquest canvi i la transició energètica, des de l'escala mundial, a l'escala europea i catalana. Són:

Objectius del Desenvolupament Sostenible (setembre de 2015)

L'any 2000, 189 països membres de les Nacions Unides van acordar els Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM) per al període de 2000 a 2015. Són vuit propòsits de desenvolupament orientats als problemes socials entre els quals es destaquen els següents:

Objectiu 1. Eradicar la pobresa extrema i la fam

Objectiu 7. Garantir la sostenibilitat del medi ambient

Objectiu 8. Fomentar una associació mundial per al desenvolupament

Després d'avaluar els progressos realitzats en els ODM, el 25 de setembre de 2015, 193 països s'han compromès en el marc de les Nacions Unides a uns nous Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) que seran vàlids des de 2015 a 2030. Així com els ODM anaven dirigits específicament als països en desenvolupament i se centraven en l'agenda social, els ODS es dirigeixen a totes les persones i a tots els països. Els nous objectius, que han augmentat fins a 17 i són d'ampli abast, contemplen de manera interconnectada els elements de l'agenda social, el medi ambient i el desenvolupament econòmic. Entre aquests nous objectius, es destaquen els següents, alguns ja contemplats a ODM i altres de nous:

Objectiu 2: Posar fi a la fam, assolir la seguretat alimentària i la millora de la nutrició, i promoure l'agricultura sostenible

Objectiu 3: Garantir una vida sana i promoure el benestar per a totes les persones a totes les edats

Objectiu 4: Garantir una educació inclusiva, equitativa i de qualitat i promoure oportunitats d'aprenentatge durant tota la vida per a tothom

Objectiu 6: Garantir la disponibilitat i una gestió sostenible de l'aigua i el sanejament per a totes les persones

Objectiu 7: Garantir l'accés a una energia assequible, segura, sostenible i moderna per a tothom

Objectiu 12: Garantir modalitats de consum i producció sostenibles

Objectiu 13: Adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes. És la primera vegada que s'aconsegueix un acord tan ampli i tan global.

Acords sobre el canvi climàtic (desembre de 2015)

El desembre de 2015 se celebrà a París la XXI Conferència Internacional sobre Canvi Climàtic (o Conferència de les Parts, COP21) de la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic on, per primer cop, s'ha aconseguit un acord universal aprovat per 196 països.

Aquest acord, per aplicar a partir de 2020, s'ha convertit en jurídicament vinculant el 2016 després de ser ratificat per més de 55 països que emeten més del 55 % dels gasos d'efecte hivernacle (entre ells EUA i la Xina causants del 40 % de les emissions).

Els principals punts de l'acord són:

- Fixa l'objectiu de limitar l'increment de la temperatura mitja de la Terra a finals del segle XXI per sota de 2ºC respecte al nivell preindustrial; tots els països han de contribuir a limitar les emissions de gasos d'efecte hivernacle, a ser possible, perquè no se sobrepassi 1,5ºC.
- Estableix com a instrument principal de mitigació les contribucions nacionals o plans de reducció de les emissions que entraran en vigor el 2020. Aquests plans ja han estat presentats per 187 països que hauran de revisar-los a l'alça cada 5 anys.
- L'acord adoptat és vinculant, però no els objectius nacionals de reducció d'emissions. Tot i que no es preveuen sanciones, hi ha un mecanisme transparent de seguiment a fi de garantir el compliment dels acords.
- Té en compte que els països en desenvolupament tindran més dificultats en limitar les emissions que els països desenvolupats; es busca també l'equilibri entre els gasos emesos i els que puguin absorbir, amb l'horitzó de zero emissions netes a partir de 2050.
- Estableix que els països desenvolupats han de contribuir a finançar els països en desenvolupament amb un mínim de 100.000 milions anuals des de 2020, i revisar la

xifra a l'alça abans de 2025. També invita als països en desenvolupament a mobilitzar recursos.

La suma de compromisos que han presentat els països sobre reducció d'emissions no és coherent amb l'objectiu de limitar l'increment de la temperatura mitja de la Terra a 2ºC i, per tant, hi ha objeccions molt serioses sobre l'efectivitat dels acords del COP21. Tanmateix, l'amplitud i la unanimitat sobre l'acord està removent les consciències arreu del món i aquest és un efecte altament positiu.

Relació entre emissions i reserves

L'acord de París 2015 ha esperonat diversos investigadors d'arreu del món a estudiat la relació entre el límit admissible d'emissions de gasos d'efecte hivernacle i les reserves de combustibles fòssils existents. Entre aquests estudis, destaca l'article de Ch. McGrade y P. Ekins [McGrade-2015] titulat *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming* to 2°C, publicat a la revista Nature, que conclou:

- Globalment, un terç de les reserves de petroli, la meitat de les reserves de gas i més del 80 % de les de carbó no s'haurien d'utilitzar per aconseguir l'objectiu de 2°C
- El desenvolupament dels recursos de l'Àrtic i qualsevol augment en la producció de petrolis no convencionals són contraris als esforços per limitar l'escalfament a 2°C
- Els instints dels responsables polítics per explotar de forma ràpida i completa els combustibles fòssils dels seus territoris són, en conjunt, inconsistents amb els seus compromisos amb el límit de temperatura de 2ºC.

La confluència d'aquestes dues realitats (la unanimitat en els acords de COP21 en l'objectiu del límit de 2ºC i els estudis sobre les reserves de fòssils que no s'han de cremar per aconseguir-ho) han començat a donar lloc a desinversions en combustibles fòssils.

En diversos llocs del món comencen a sorgir iniciatives sobre transició energètica que consideren les energies renovables com a alternativa i que normalment fixen l'any 2050 com a data límit per a completar-la.

Europa en el camí de la transició energètica (novembre de 2016)

El 2007, la Unió Europea havia establert un conjunt de mesures (també conegut com estratègia 20-20-20) amb tres objectius bàsics sobre el clima i l'energia per a 2020: 1. Reduir un 20 % les emissions de gasos d'efecte hivernacle en relació als nivells de 1990; 2. Augmentar fins a un 20 % les energies renovables en el mix energètic; 3. Millorar l'eficiència energètica en un 20 %.

Recentment (30 de novembre de 2016) la Comissió Europea ha aprovat el denominat paquet d'hivern [UE-2016] que, sota el lema Energia neta per a tots els europeus: desbloquejar el potencial de creixement d'Europa, estableix noves fites per a 2030: 1.

Reduir (com a mínim) un 40 % les emissions respecte a 1990; 2. Elevar les energies renovables per damunt del 27 %; 3. Millorar en un 30 % l'eficiència energètica.

Tot i diversos aspectes contradictoris (l'objectiu del 27 % de renovables és molt limitat, la meitat del de la dècada anterior, i és inconsistent amb l'objectiu de reduir el 40 % les emissions) i de mantenir prerrogatives i allargar innecessàriament la vida de les energies no renovables, aquest conjunt legislatiu també conté aspectes positius. Un d'ells és que per primer cop es presenta en un mateix paquet legislatiu interrelacionat els objectius d'eficiència energètica, de foment de les energies renovables i de reducció de les emissions de CO2.

Un altre aspecte positiu és l'empoderament del consumidor i, de forma especial, el reconeixement dels drets dels productor-consumidor. En contraposició al Real Decret espanyol 900/2015, que imposa l'anomenat impost al sol, la proposta europea defensa l'autoconsum. En concret, s'estableix que els Estats membres han de garantir els següents drets dels autoconsumidors de renovables, individualment o per mitjà d'agregadors: 1. A l'autoconsum i a vendre la producció d'electricitat renovable sobrant sense procediments desproporcionats ni càrregues que no reflecteixin els costos; 2. A mantenir els seus drets com a consumidors; 3. A no ser considerats proveïdors d'energia si no excedeixen de 10 MWh/any (llars) i 500 MWh/any (persones jurídiques); i 4. A rebre remuneració per l'electricitat renovable abocada a la xarxa de forma que re-flecteixi el valor de mercat.

Pacte Nacional per a la Transició Energètica a Catalunya (gener de 2017)

El Pacte Nacional per a la Transició Energètica de Catalunya [ICAEN-2017] neix de la necessitat de generar un diàleg entre totes les forces polítiques i els representants de la societat civil per consensuar un nou model energètic català basat en energies renovables, net, descentralitzat, democràtic i sostenible, en línia amb els objectius de la Unió Europea en matèria d'energia.

El document de bases que ha aprovat el Govern català per ser presentat al Parlament de Catalunya, ha estat fruit d'un procés de concertació on hi ha participat la Taula d'Entitats dels sectors econòmic, social i energètic (entre ells, la Universitat Politècnica de Catalunya), la Taula de Partits Polítics i els Departaments de la Generalitat relacionats amb l'àmbit energètic.

Els eixos d'aquest Pacte Nacional són: 1. Garantir el dret fonamental d'accés a l'energia; 2. Garantir l'abastament energètic de Catalunya en quantitat, qualitat i fiabilitat; 3. Assolir el màxim nivell d'estalvi i eficiència energètica; 4. Assolir el màxim d'utilització de les fonts d'energia renovables autòctones; 5. Fomentar la recerca i la innovació energètica; 6. Democratitzar l'energia i fomentar la participació de la societat; i 7. Exercir les competències plenes en el marc de la UE.

Si bé Catalunya va molt endarrerida en la implantació de les energies renovables, l'obertura del procés participatiu que s'ha obert amb el Pacte Nacional per a la Transició Energètica pot estimular a la ciutadania i a les organitzacions a recuperar el temps perdut. Per altre costat, també existeixen diverses iniciatives en el camí de la transició energètica en l'àmbit de les administracions locals: concretament, en l'Àrea Metropolitana de Barcelona i en diversos municipis.

1.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

1.2.1 Iniciatives per a un nou model energètic

La humanitat s'enfronta a un canvi transcendent que consisteix en la transició des d'una civilització basada en recursos energètics d'estoc (els combustibles fòssils i l'urani) que permeten créixer de forma intensa mentre l'estoc no s'acabi, a una civilització basada en fonts energètiques de flux (les energies renovables, irradiació solar, corrents o salts d'aigua, vents), que no permeten un ús tan intens però que, en canvi, no tenen límit de temps a escala humana.

Aquesta transició demana, doncs, comprendre bé les causes i les conseqüències de la crisi i preparar les generacions actuals i futures per a les noves circumstàncies que ens tocarà viure. Uns dos segles enrere, havíem iniciat el trajecte invers: des d'una economia basada fonamentalment en energies de flux (la irradiació solar i les seves derivades), vam anar vers una economia basada en recursos d'estoc (el carbó, després el petroli i el gas natural) que invitava al miratge del creixement continu. Ara cal refer el camí i, malgrat la magnitud dels reptes que cal afrontar, ho fem en el marc d'uns coneixements i d'unes tecnologies molt superiors a les d'aquell moment.

La universitat està en unes condicions immillorables per col·laborar de forma decisiva en aquesta transformació. Per un costat, té la missió d'ensenyar i de transmetre el coneixement; per altre costat, és una dipositària destacada del coneixement col·lectiu i impulsora dels treballs de recerca i d'anticipació; i, finalment, la seva pròpia idiosincràsia condueix a l'exigència d'un rigor intel·lectual i de neutralitat de la qual cal esperar una actitud atenta i crítica.

Si bé la universitat té com a objectius centrals la formació, el foment del coneixement, el progrés de les ciències i el desenvolupament de les tecnologies, atesa l'envergadura dels reptes que demana la transició energètica, ha d'articular de forma harmònica aquesta dimensió pròpia amb altres dues dimensions com són la societat (convicció, voluntat, compromís, intervenció cívica, activitat productiva i de serveis) i la política (estratègia, marc regulador, política econòmica, governança i acords transaccionals). Per això, avui dia la universitat és cridada tant a reforçar les accions orientades als seus objectius propis, com a coordinar-se amb l'acció social i amb l'acció política.

El paper de la universitat pot ser especialment rellevant per proporcionar elements d'anàlisi i de perspectiva a l'acció social i per emmarcar les actuacions del sistema productiu i de l'acció política més enllà del curt termini a què sovint altres actors es veuen arrossegats.

La UPC té una llarga tradició d'atenció en els temes energètics com ho testimonien en èpoques pretèrites l'existència d'un reactor nuclear experimental en el si de l'ETSEIB (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Barcelona), la creació del Campus Energia,

agent actiu en el procés de transformació del sector energètic, i la participació en el KIC InnoEnergy, una de les primeres comunitats de coneixement i innovació promoguda per l'Institut Europeu d'Innovació i Tecnologia (EIT).

Els principis que inspiren el present document són:

Visió holística

Sota la seguretat que dóna l'abundància momentània, la disponibilitat i els baixos preus de l'energia en el sistema basat en els estocs de fòssils, la societat en general i la universitat en particular s'han concentrat en nínxols d'interès i han oblidat les visions més globals i holístiques.

Un primer pas d'aquest projecte ha de consistir en compartir coneixement i construir una nova visió holística de les alternatives. Hem de fomentar el treball entre equips multidisciplinaris, orientats a reptes mes enllà de l'especialitat pròpia, coneixent el treball d'altres experts i aconseguint sinèrgies entre les diferents especialitats.

Fomentar la cooperació

El sistema basat en les energies fòssils ha fomentat la tendència a imposar les solucions tècniques per damunt de les dinàmiques de la pròpia naturalesa de la que formem part. En especial, ha obviat la convivència amb els altres éssers vius (una conseqüència és la pèrdua de biodiversitat) que té conseqüències directes a la societat.

En canvi, el nou projecte ha de promoure el respecte i el coneixement del nostre entorn natural i social promovent la cooperació amb els sistemes naturals i una societat més equitativa.

A més, l'esforç fet pels nostres estudiants durant el seu aprenentatge (hores i hores d'anàlisi de càlculs, de dissenys i d'implementacions) es poden aprofitar i potenciar utilitzant la metodologia educativa d'Aprenentatge-Servei, que consisteix en orientar tot aquests esforç dels estudiants per fer un retorn a la societat, resoldre problemes reals mentre aprenen (el que normalment porta a un aprenentatge més profund i conscient) i oferir aquestes solucions a la societat de manera altruista. Apostar per l'Aprenentatge-Servei és una responsabilitat que la UPC ja està assumint.

Treball de proximitat

El recursos fòssils i nuclears són concentrats i llunyans (per a nosaltres), fet que han originat la construcció d'unes enormes infraestructures i a la creació d'unes grans companyies. De manera paral·lela, l'actuació de la universitat ha estat presidida per aquests grans sistemes llunyans.

En canvi, les noves fonts energètiques renovables (irradiació solar, corrents i salts d'aigua, vents, biomassa) són molt més distribuïdes i properes. El nou projecte ha de posar en valor els recursos de proximitat i a valorar la cooperació amb l'entorn immediat. També ha

de fomentar la democratització del coneixement, de l'accés, de la governança i de la riquesa que deriven de l'ús de les energies renovables.

Implicar a tothom

Seria un error que la universitat es limités a dedicar uns professors, unes assignatures i uns responsables a les energies renovables i a la sostenibilitat; fins i tot podria produir l'efecte contrari i ser percebut com a un tema d'especialització per la resta de la comunitat universitària (i per la societat) i actuar com a descàrrega de les consciències i motiu per desentendre-se'n.

El projecte de *transició vers un nou model energètic* s'ha de plantejar amb la participació de tota la comunitat universitària, professors, alumnes i professionals dels serveis, i ha d'incidir en totes les activitats educatives i en totes les matèries de manera que la sostenibilitat esdevingui quelcom tan inherent i transversal a les tecnologies com ara les matemàtiques, i que un projecte només s'entengui complert quan s'hagin estudiat els impactes que pot originar i s'hagin tingut en compte en el seu disseny, implementació i operació.

Potenciar l'esperit d'iniciativa

També la complexitat dels sistemes tècnics dels darrers decennis i la disminució de les expectatives laborals ha inclinat la formació vers actituds passives. S'ha de fomentar l'aprenentatge basat en reptes, actiu i imaginatiu, de manera que les solucions es pensin més enllà de resoldre un problema a curt termini. Això requereix fomentar la iniciativa, l'emprenedoria i la creativitat dels estudiants, del PDI i del PAS.

El nou projecte també ha d'estimular les futures generacions en la confiança en les pròpies capacitats i en els resultats de les pròpies accions. El nou sistema energètic requereix més atenció i més iniciativa i això fomentarà un repartiment més equitatiu del treball i de la riquesa.

Les activitats de la Universitat Politècnica de Catalunya i dels seus membres es podrien centrar, doncs, en les següents actuacions transversals:

1.2.2 Formar les generacions actuals i futures

La primera funció bàsica de la universitat és la formació dels seus estudiants. I, pel caràcter d'ensenyaments superiors, la universitat incideix en la formació de la major part dels líders de demà i en els seus valors. Els nostres estudiants esdevindran professionals i líders d'equips que desenvoluparan una tasca amb un impacte important a la societat. Cada any a la UPC es graduen al voltant de 5.500 estudiants, que exerciran la seva activitat uns 35 anys, és a dir que cada any generem 192.500 anys d'exercici professional i de professionals altament qualificats, molts d'ells responsables d'equips humans i

generadors de tendències. Que els nostres estudiants siguin conscients dels problemes reals del món i de les solucions que poden incorporar a la seva tasca és molt important. A tall d'exemple, l'informe MIES de 1999 [Cuchí-2005] plantejava que només els 100 graduats anuals de l'Escola d'Arquitectura del Vallès serien responsables al llarg de la seva vida professional de construccions que podien arribar a generar 2.250.000 tones de CO_2. Si aquests estudiants han estat educats en mètodes sostenibles (en totes les seves facetes) l'impacte a la societat serà enorme.

La crisi dels recursos energètics no renovables (com la d'altres recursos escassos) i el seu impacte a la societat i el medi ambient és probablement la realitat més important que hauran d'enfrontar en les properes dècades. La *transició vers un nou model energètic* ja no és una opció, sinó que esdevé una qüestió de subsistència. On sí que hi ha opcions és en els camins per fer aquesta transició. Per tant, la Universitat Politècnica de Catalunya, davant de la crisi de les energies no renovables que sustenten les activitats d'avui dia, ha d'emprendre un *projecte educatiu global* de la institució que prengui com a nord la sostenibilitat present i futura, amb els eixos principals següents:

- Introduir la sostenibilitat i la transició energètica com un element essencial en totes les assignatures de tots els perfils curriculars de la UPC.
- Reforçar l'autoestima dels alumnes de la UPC sobre les pròpies capacitats per articular solucions de proximitat en el camí de la sostenibilitat i de la transició energètica.

1.2.3 Anticipar la recerca

La recerca bàsica té per objecte avançar en el coneixement mentre que, la recerca aplicada, té per objecte el desenvolupament de les condicions per a la seva aplicació. La universitat en general està fortament compromesa amb les activitats de recerca i, les universitats politècniques com la UPC, ho estan especialment amb les de recerca aplicada.

Les escoles i facultats de la Universitat Politècnica de Catalunya (amb els departaments, centres i grups de recerca afins) són competents en coneixements i tecnologies que incideixen directament en el nou model energètic. En efecte: l'escola d'agricultura de Castelldefels es relaciona amb l'alimentació; les dues escoles d'arquitectura i la de tecnologies de la construcció, amb l'habitabilitat; les cinc escoles d'enginyeria industrial i la de camins, amb l'accessibilitat física; les dues escoles de telecomunicacions i la facultat d'informàtica, amb l'accessibilitat virtual i l'ús cada cop més massiu de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC); i, el conjunt de centres de la UPC i, de forma especial, les escoles d'enginyeria es relacionen amb els processos tecnològics i amb el nou sistema energètic.

Cal reforçar aquest potencial de la UPC i posar-lo al servei de la societat que l'acull. En aquest sentit es proposen tres accions bàsiques:

Posar en comú el coneixement

Un dels valors del *procés de confluència i debat* que ha conduït al present document de bases ha estat posar de manifest el nombre, qualitat i interès de les iniciatives, treballs i línies de recerca que s'estan duent a terme en el si de la UPC en el camps de de l'energia i la sostenibilitat. Però també s'ha constatat que la major part d'aquests actuacions necessiten d'anàlisi més globals.

Per tal de seguir amb el procés de confluència i posada en comú, caldrà fer una revisió del document de bases cada 4 anys, a fi de renovar l'anàlisi i les línies de treball futures de la UPC en el temps.

Sota l'empara d'uns recursos energètics no renovables abundants i barats fins fa poc, la societat en general i la universitat en particular han tendit a concentrar l'atenció en nínxols d'interès particular a curt termini i han oblidat les visions més globals i a llarg termini.

Cal construir en el si de la UPC un coneixement compartit en la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic*. Un primer pas d'aquesta transició consisteix en la construcció col·lectiva d'una nova visió holística de la realitat i de les alternatives.

Reforçar les línies de recerca actual

Fruit de la reflexió col·lectiva, es posa de relleu aquelles recerques que ja es duen a terme en el si de la Universitat Politècnica de Catalunya i que estan alineades amb el projecte de *transició vers un nou model energètic*. Des del govern de la Universitat cal reconèixer aquestes iniciatives, divulgar-les i potenciar-les. Entre aquestes línies hi ha:

- Donar continuïtat al projecte de *transició vers un nou model energètic*
- Reforçar el paper del Campus d'Excel·lència de l'Energia en el si de la UPC
- Aprofitar les sinèrgies amb l'Institut de Sostenibilitat i el projecte europeu KIC Innoenergy
- Reforçar els grups que fan recerca alineada amb la *transició vers un nou model energètic*
- Reforçar els grups de recerca relacionats amb la generació de tecnologia de consum reduït o que cerquen la desmaterialització (reducció de processos costosos en recursos per altres de més lleugers)

Impulsar noves línies estratègiques

En un anàlisi holístic de la crisi actual i de les alternatives de futur, apareixen temes o tecnologies de gran importància estratègica sobre les que no hi ha ningú que treballi a la UPC.

Cal valorar aquestes mancances, analitzar el valor estratègic per a la UPC i l'entorn en el que està i, en cas de ser convenient, fomentar amb incentius i recursos la creació de grups que hi treballin.

Entre els temes estratègics on hi ha mancances es destaquen:

- Enginyeria de biosistemes més eficients en la captació i transformació d'energia.
- Estudis sobre l'evolució dels recursos i dels usos energètics
- Revisió dels processos tecnològics, especialment els industrials, per estalviar energia
- Recerques sobre emmagatzematge d'energia, especialment l'elèctrica
- Estudis territorials destinats a fixar criteris sobre ocupació d'espais per captar energia

1.2.4 Experimentar noves solucions

La universitat en general i la Universitat Politècnica de Catalunya en particular té una llarga experiència en experimentar solucions.

La *transició vers un nou model energètic* vol dir avançar vers una nova situació de la que se'n coneixen alguns aspectes i tecnologies (hidroelèctrica, eòlica, fotovoltaica, biomassa) però de la qual encara hi ha una experiència limitada sobre les conseqüències de la seva implementació tecnològica i social en un sistema energètic a gran escala:

- Com es comporten els nous sistemes renovables amb el pas del temps?
- Com caldrà gestionar la seva intermitència i aleatorietat?
- Com reaccionarà la població a aquests canvis?
- Quines tecnologies i comportaments socials emergiran amb més força?
- Quins processos alternatius, menys costosos a nivell energètic, es poden utilitzar?

En la Universitat Politècnica de Catalunya conflueixen la responsabilitat com a organisme finançat per recursos públics, una bona situació des d'un punt de vista tecnològic i social, i unes òptimes oportunitats de futur per intervenir de forma central a Catalunya en aquesta experimentació. I això, a través de dues grans línies d'acció:

Col·laboració amb l'entorn

És una de les línies que en els darrers temps emergeixen amb més força: la col·laboració amb el sistema productiu, amb els governs i administracions públiques i també amb el teixit associatiu i amb la ciutadania.

En aquesta col·laboració, la universitat hi aporta alguns dels seus valors específics: 1. La contínua revisió de les bases del coneixement; 2. El rigor metodològic en els seus treballs; 3. La connexió de la recerca amb la innovació; 4. I una mirada més integradora i a llarg termini.

En un moment de crisi sistèmica com l'actual, els valors específics que aporta la universitat poden ser claus en les propostes, seguiment i valoració de les experiències socials que indefectiblement caldrà anar fent per a la implementació del nou model energètic i social.

Experimentació en la seva pròpia realitat

La Universitat Politècnica de Catalunya és també una organització molt complexa amb 5 campus (3 a Barcelona, 1 a Terrassa i 1 a Castelldefels) localitzats en 8 municipis (Barcelona, Terrassa, Manresa, Vilanova i la Geltrú, Igualada, Sant Adrià del Besòs, Sant Cugat del Vallès i Castelldefels), 15 escoles i facultats, uns 60 edificis, uns 2.400 professors, uns 1.600 professionals dels serveis i uns 32.000 alumnes.

Per tant, la pròpia Universitat pot ser objecte d'experiències pilot en aspectes tals com:

- Potenciar el programa d'estalvi energètic que ja s'està duent en els edificis i fer un pas més experimentant noves solucions
- Aprofitar les teulades i altres espais per experimentar nous conceptes o nous sistemes per generar energies renovables, especialment la termosolar, fotovoltaica o eòlica
- Experimentar amb sistemes d'emmagatzematge d'energia. En concret, experiment-tar amb la instal·lació d'una planta pilot electricitat-hidrogen-electricitat en la pròpia universitat
- Repensar els espais oberts dels campus com a suport de sistemes per captar i emmagatzematge d'energia
- Treballar en la mobilitat sostenible dels seus 36.000 membres per accedir a les instal·lacions
- Fer noves experiències en les activitats de bars i restaurant, especialment en els envasos
- Fer un seguiment de la percepció del membres de la comunitat universitària respecte als canvis originats per les anteriors accions
- Reduir els processos costosos en energia i recursos per altres de més sostenibles

- Optimitzar i gestionar els recursos TIC per reduir-ne el consum.

Algunes d'aquestes experimentacions, viscudes directament per molts dels dirigents del futur i amb repercussions sobre les famílies, poden ser claus fer avançar el conjunt de la societat. Aquesta actuació feta des de l'experimentació de la UPC, pot extrapolar-se i propiciar la transferència tecnològica i de comportament amb la resta de les realitats de l'entorn.

1.2.5 Participar activament en el debat general

La Universitat Politècnica de Catalunya no és un actor menor en el sí de la societat catalana. Les seves manifestacions, i més si adquireixen un caràcter col·lectiu i institucional, poden esdevenir una referència per al conjunt de la societat i ser un estímul per a la transició energètica.

Per tant, la Universitat Politècnica de Catalunya vol participar activament en el debat general sobre el nou model energètic i les transformacions socials que comporta així com en l'elaboració de propostes per a dur a terme la transició energètica i social.

En aquest sentit, la UPC vol ser present i activa en:

- El Pacte Nacional per a la Transició Energètica de Catalunya i en tots els àmbits derivats on la seva veu i la seva intervenció sigui útil
- En les comissions i àmbits (col·legis professionals, organismes de normalització, reglaments i lleis) on s'elaborin i informin propostes relacionades amb la transició energètica
- En els fòrums de debat, en les conferències i en els mitjans de comunicació que tractin temes relacionats amb la *transició vers un nou model energètic* tant en l'àmbit nacional com internacional.

2. Alimentació i energia

Índex

2.1 Anàlisi de la situació i tendències

2.1.1 Cadena de subministrament alimentari

2.1.2 Alimentació, energia i emissions

2.1.3 Balanços alimentaris de la FAO

2.1.4 Producció primària d'aliments

2.1.5 Indústria alimentària i consum

2.1.6 Tractament i gestió dels efluents residuals

2.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

2.2.1 Estudis i anàlisi sobre alimentació

2.2.2 Sector agroalimentari, energia i recursos

2.2.3 Oportunitats en els efluents residuals

2.3 Línies de treball futures de la UPC

2.1 Anàlisi de la situació i tendències

Transformar i conservar els recursos alimentaris és un repte continu per produir aliments en quantitat suficient, de qualitat, amb seguretat, sostenibilitat i al menor cost. L'estratègia europea estableix com a àmbit prioritari d'actuació reorientar el sector productiu cap a un model econòmic més intel·ligent, més sostenible i més integrador.

Per afrontar aquest repte, és necessari treballar cap a un major coneixement científic i tecnològic. Sens dubte hi ha molta informació, però es necessita molta formació per la seva aplicació i per arribar a un millor coneixement per part de la societat.

L'alimentació és la funció més bàsica de les persones, tant en la construcció i renovació de la pròpia estructura biològica com en el subministrament de l'energia necessària per realitzar les funcions vitals. L'alimentació, a més de l'aigua, ha de contenir quantitats adequades de proteïnes, greixos, glúcids, vitamines i minerals. Els aliments que consumeix el gènere humà procedeixen, fonamentalment, de la matèria orgànica dels productors i consumidors primaris de la xarxa tròfica, vegetals i animals, respectivament.. L'energia que contenen procedeix de l'energia solar, capturada a través del procés de fotosíntesi realitzada pels vegetals. Els humans són omnívors (mengen productes tant vegetals com animals) i això els fa adaptables a moltes circumstàncies.

El flux d'energia basal d'un ésser humà adult mitjà (en repòs absolut) és d'uns 80 W (1,9 kWh/dia) i l'energia mitjana addicional corresponent a les diverses activitats quotidianes és d'uns 40 W més (1 kWh/dia): total, uns 120 W (2,9 kWh/dia, o 2.500 kcal/dia, quilocalories per dia). Aquest flux d'energia agregat per als 7.266 milions de persones que habitaven la Terra el 2014, dóna una energia en aliments de 7.640 TWh per any, unes 19,4 vegades menys a l'energia primària produïda pel sistema energètic antropogènic que va ser de 148.100 TWh per any.

Tota l'energia que fem servir, tant endosomàtica com exosomàtica ve o ha vingut del sol (llevat de la fusió nuclear). Els nous models energètics, de moment, han de fer més eficients la captació dels fluxos d'energia a través de l'ecosistema Terra.

2.1.1 Cadena de subministrament alimentari

Avui dia, la major part dels aliments s'obtenen a partir del conreu de plantes i la cria d'animals mentre que la recol·lecció i la caça són cada cop més marginals. A nivell mundial, l'aqüicultura ja aporta a partir del 2014 més de la meitat dels productes animals aquàtics (inclosos els pesquers) dedicats al consum directe. En la societat industrialitzada actual, la cadena de subministrament d'aliments (o sistema agro-alimentari) ha esdevingut molt complexa. El metabolisme complet inclou els sectors de producció primària

(agricultura, ramaderia, pesca i aqüicultura), la indústria de transformació alimentària, la distribució i el consum dels aliments i, encara, la gestió i el tractament dels efluents residuals (sòlids i líquids) la funció bàsica de la qual hauria de ser recuperar nutrients i energia per tancar els cicles. Aquesta cadena s'esquematitza a la figura 2.1.

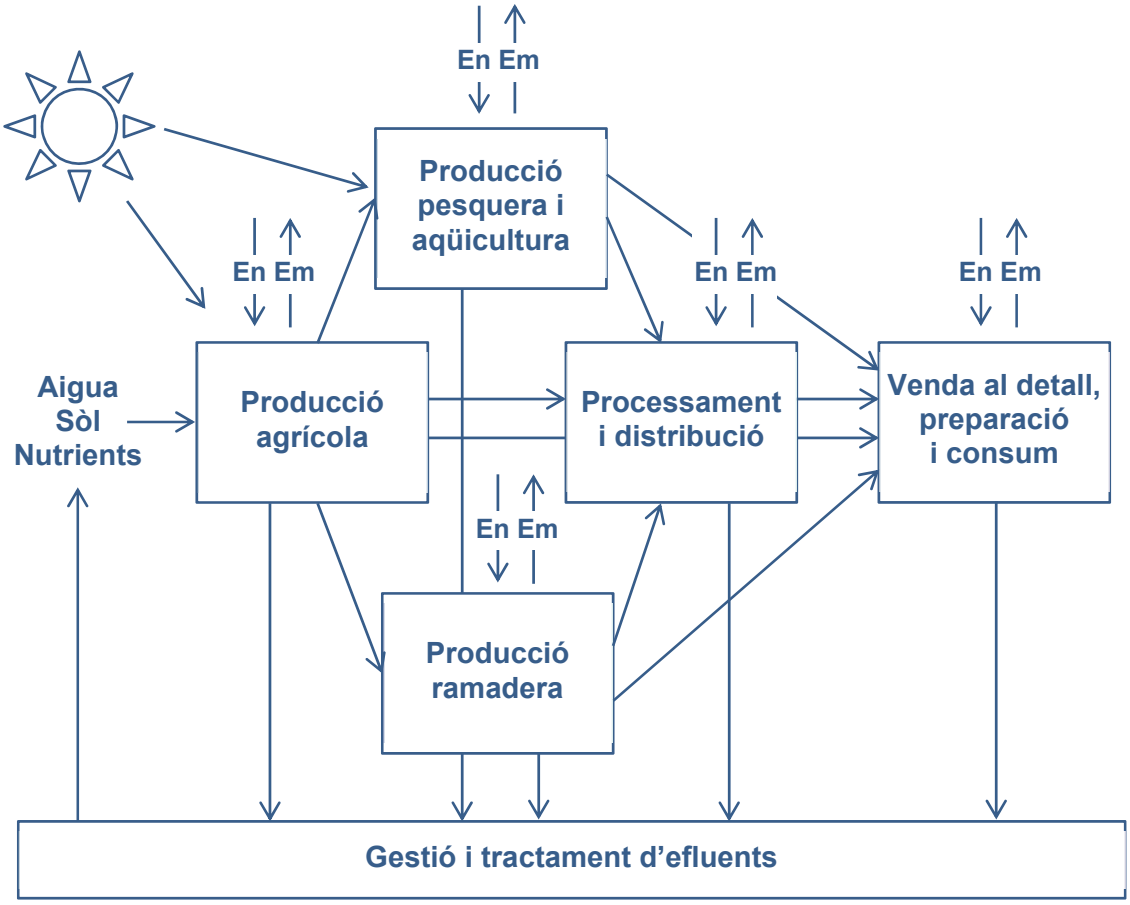


Figura 2.1 Esquema dels sectors d'activitat de la cadena d'alimentació humana (En = energia; Em = emissions). Elaboració: X. Flotats

L'estructura del complex alimentari de la figura 2.1 depèn de la distribució del consum. Mentre que en petits nuclis rurals les matèries primeres es produeixen en les rodalies i la distribució és relativament simple, en un context de grans ciutats (on, en l'actualitat viu més del 50% de la població mundial, i més del 70 % de l'europea), la complexitat de la cadena alimentària es fa evident i, en l'espai, es diferencien les zones rurals de gran producció alimentària i les zones urbanes d'alta densitat en el consum, amb un increment dels costos energètics per mantenir els fluxos, tant d'aliments com de transformació de residus.

La cadena de subministrament alimentari comprèn activitats que se situen en els tres grans sectors econòmics:

Activitats i productes primaris: agricultura, producció ramadera, producció pesquera i aqüicultura. L'agricultura proporciona els productes d'origen vegetal i la ramaderia, la pesca i l'aqüicultura proporcionen els productes d'origen animal.

Activitats secundàries: indústries de l'alimentació i begudes. Comprèn totes les transformacions, elaboracions i envasament de productes primaris en la gran varietat de productes alimentaris transformats (productes càrnics i derivats com els embotits, vins i caves, pa i rebosteria, pastes, sucs i begudes sense alcohol, olis i greixos, làctics i derivats, fruites i hortalisses, productes precuinats, entre moltes altres varietats) i tota la gran varietat de transformacions i envasats per a la conservació i distribució.

Activitats terciàries: activitats de venda al detall, conservació prop del consum, preparació i cocció dels aliments en les nombroses llars dels ciutadans i en tot el sector d'activitat de la restauració (bars i restaurants) i de càterings.

2.1.2. Alimentació, energia i emissions

A escala mundial el 2009, les activitats de la cadena de subministrament alimentari, sense comptar l'energia que incorporen els vegetals a partir de la radiació solar i la funció clorofíl·lica, consumia el 30 % de l'energia final del sistema energètic humà i generava el 20 % de l'emissió antròpica de gasos d'efecte hivernacle [FAO-2011a].

Cal destacar que els països desenvolupats (OCDE) utilitzen més de la meitat d'aquesta energia (13.890 TWh/any, 52,6 %) amb tan sols el 18,1 % de la població mentre que las resta de països (No-OCDE), amb el 81,9% de la població, usen quasi la meitat restant d'energia (47,4 %). Això es tradueix en uns usos molt desiguals d'energia per càpita en la cadena de subministrament alimentari: 11.340 kWh/(hab·any) en els països OCDE i tan sols 2.260 kWh/(hab·any) en els països No-OCDE quan la mitjana mundial és de 3.900 kWh/(hab·any).

Els usos energètics mundials de la cadena d'alimentació humana es reparteixen com segueix (taula 2.1, [FAO-2011a]): la producció primària, el 21,9 %, la part més petita (agricultura, 12,9 %; ramaderia, 6,4 %; i la pesca i l'aqüicultura, 2,5 %); el processament de productes primaris el 43,3 %; i, la distribució, preparació i cocció dels aliments, el 34,9 % restant. Quan s'analitza aquest repartiment entre països OCDE i No-OCDE s'observa que en els primers destaca el processament i distribució (quasi la meitat de l'energia) mentre que, en els segons, destaca la preparació i cocció dels aliments. Les activitats primàries se situen entre 19,5 % (països No-OCDE) i 24,0 % (països OCDE). No es disposen d'aquestes dades per a EU28, ni per Espanya ni per Catalunya.

Taula 2.1 Usos energètics i emissions en la cadena de subministrament alimentari

2009	Energia						Emissions	
	MÓN		OCDE		No-OCDE		MÓN	
	TWh/a	%	TWh/a	%	TWh/a	%	$GtCO_{2eq}/a$	%
EF-TOTAL	88.460		37.600		50.860		49,00	
EF-alimentació	26.390		13.890		12.500		9,70	
% EP-alim./EP-total	29,8 %		36,9 %		24,6 %		19,8 %	
Producció primària	5.770	21,9 %	3.330	24,0 %	2.440	19,5 %	6,35	65,5 %
Agricultura	*3.410*	*12,9 %*	*1.600*	*11,5 %*	*1.810*	*15,5 %*	*2,76*	*28,5 %*
Ramaderia	*1.690*	*6,4 %*	*1.250*	*9,0 %*	*440*	*3,5 %*	*3,40*	*35,0 %*
Pesca i aqüicultura	*670*	*2,5 %*	*480*	*3,5 %*	*190*	*1,5 %*	*0,19*	*2,0 %*
Processat I distribució	11.420	43,3 %	6.670	48,0 %	4.750	38,0 %	1,65	17,0 %
VD, preparació, cocció	9.200	34,9 %	3.890	28,0 %	5.310	42,5 %	1,70	17,5 %
	kWh/ (hab·a)		kWh/ (hab·a)		kWh/ (hab·a)		tCO_{2eq}/ (hab·a)	
Per càpita	3.900		11.340		2.260		1,43	

EF = Energia final; Em = Emissions; VD = venda al detall; Gt = gigatones = milers de milions de tones; CO_{2eq} = altres gasos d'efecte hivernacle (metà, NO_x) traduïts a equivalent CO_2 . Fonts: [FAO-2011a], [IPCC-2015]

En relació a les emissions de gasos d'efecte hivernacle, les activitats de la cadena de subministrament alimentari són el 19,8 % i es concentren en les activitats primàries (65,5 %), amb predomini de la ramaderia, 35,0 %, i l'agricultura, 28,5 % i la resta, repartida en parts quasi iguals, als processos industrials i a la preparació i cocció d'aliments.

Segons IPCC, Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic [IPCC-2015], les emissions anuals de gasos d'efecte hivernacle antropogènic anual de CO_2 en milers de milions de tones equivalents són 49 $GtCO_{2eq}$ que es distribueixen com segueix: 31,8 $GtCO_{2eq}$ de CO_2 procedent de combustibles fòssils i processos industrials; 5,4 $GtCO_{2eq}$ de CO_2 per canvis d'usos del sòl; 11,8 $GtCO_{2eq}$ de metà, NO_x i gasos fluorats. Les activitats d'agricultura i ramaderia emeten o causen una bona part d'aquests darrers gasos.

Al seu torn, les activitats de la cadena de subministrament alimentari, a més de consumir el 30 % de l'energia dels sistemes humans i de generar el 20% dels gasos d'efecte hivernacle, utilitzen la major part dels sòls transformats per l'home (aproximadament el 10 % de les terres emergides per a cultius i el 20 % per a praderies), explota la major part de les pesqueries dels oceans, mars, llacs i rius, i utilitza més del 70 % de l'aigua dolça.

2.1.3. Balanços alimentaris de la FAO

Des de fa diversos decennis, la FAO estableix els balanços alimentaris dels països i de diversos àmbits geogràfics agregats [FAO-2016]. La figura 2.2 mostra l'esquema d'un balanç alimentari.

La primera part parteix de les produccions primàries (agrícoles: cereals, arrels i tubèrculs, verdures, fruites i altres; ramaderes: carn, llet, ous; pesca i aqüicultura: peixos, crustacis, algues); sumant-hi les importacions/exportacions i els canvis d'estocs, s'obté els subministrament alimentari, allò que consumeix el país o agregat. Després, el subministrament es reparteix entre els diferents destins: les reserves per a llavors, els farratges i pinsos per a alimentació animal, les pèrdues per elaborar aliments derivats i per altres causes, els usos no alimentaris (tabac, fibres, catxú, biocombustibles) i la part pròpiament destinada a alimentació humana (figura 2.2).

La segona part parteix del proveïment d'aliments i avalua la seva aportació a les funcions vitals; concretament en aportació calòrica (kcal/(hab·d)), quilocalories per habitant i dia), l'aportació en proteïnes (g/(hab·d)), grams per habitant i dia) i en greixos (g/(hab·d)).

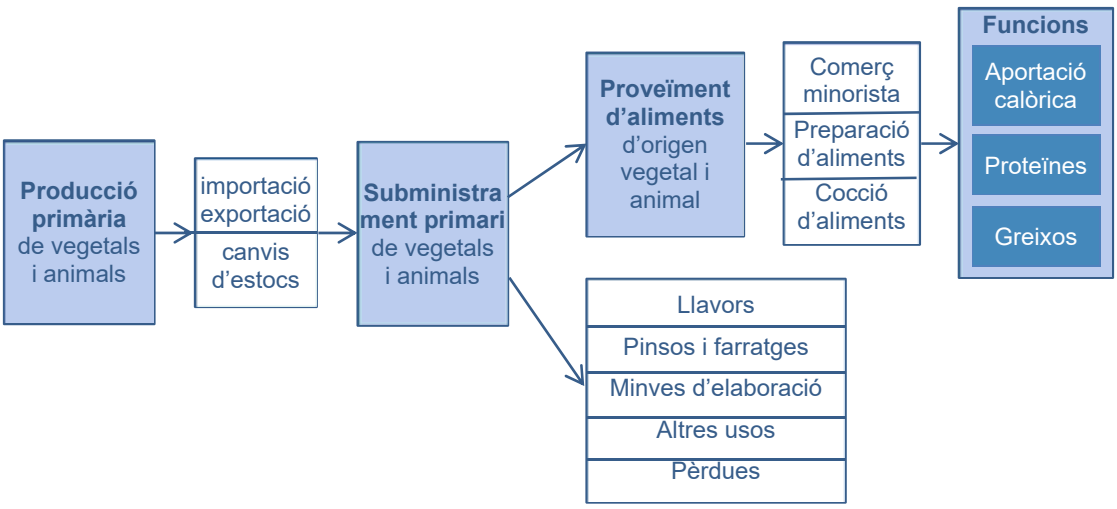


Figura 2.2 Esquema dels balanços alimentaris de la FAO

Primera part dels balanços alimentaris

La producció primària del món, base de l'alimentació humana (taula 2.2), era el 2011 de 12.531 Tg/a (tera grams o milions de tones per any; o 1.820 kg per habitant i any) dels quals 11.197 (89,4 %) eren d'origen vegetal i 1.334 d'origen animal.

El seu destí era: 33,6 % a farratge i pinsos; 17,0 % a minves en la fabricació de productes elaborats; 12,4 % a llavors i pèrdues; i el 37,9 % restant (4.727 Tg/a, 686 kg/(hab·a)) a l'alimentació humana pròpiament dita. El 86,7 % dels productes d'origen animal acaben

transformats en aliments humans mentre que tan sols el 32,1 % dels productes d'origen vegetal s'hi acaben transformant.

Respecte a 1961 (50 anys abans), la producció primària mundial s'ha multiplicat per 3,13 i el proveïment d'aliments per 3,12 quan la població ho ha fet per 2,25. En conseqüència, el proveïment d'aliments per càpita augmenta 36,8 % i passa de 495 a 686 kg/(hab·any). Així com en el subministrament primari la proporció de productes vegetals s'acosta al 90 %, en el proveïment alimentari és d'aproximadament 75 % sense que s'hagin produït variacions significatives des de 1961. El 2011, tan sols el 37,9 % del subministrament primari mundial arriba a proveïment alimentari; en el vegetal la proporció és més baixa (32,1 %) i, en l'animal, molt més alta (86,7%).

Taula 2.2 Món: de la producció i subministrament primari al proveïment d'aliments

Món FAO: balanços alimentaris	Producció primària		Balanç primari	Subministrament primari		Pinso i farratge	Altres[1]	Proveïm. Aliments
	Tg/a	%	Tg/a	Tg/a	%	Tg/a	Tg/a	Tg/a
1961 (Població: 3.056,2 milions d'habitants)								
Total productes	4.009	100,0%	-25	3.984	100,0%	1.449	1.022	1.513
% subministrament primari	100,6%		-0,6%	100,0%		36,4%	25,7%	38,0%
Productes vegetals	3.515	87,7%	-19	3.496	87,8%	1.346	996	1.153
% subministrament primari	100,5%		-0,5%	100,0%		38,5%	28,5%	33,0%
Productes animals	494	12,3%	-6	488	12,2%	103	25	360
% subministrament primari	101,2%		-1,2%	100,0%		21,1%	5,1%	73,8%
2011 (Població 6.887,3 milions d'habitants, increment 125,4 %)								
Total productes	12.531	100,0%	-56	12.475	100,0%	4.088	3.668	4.727
% subministrament primari	100,4%		-0,4%	100,0%		32,8%	29,4%	37,9%
Productes vegetals	11.197	89,4%	-56	11.141	89,3%	3.982	3.595	3.571
% subministrament primari	100,5%		-0,5%	100,0%		35,7%	32,3%	32,1%
Productes animals	1.334	10,6%	0	1.334	10,7%	106	73	1.156
% subministrament primari	100,0%		0,0%	100,0%		7,9%	5,5%	86,7%

Tg/a = tera grams per any = milions de tones per any; [1] En els balanços alimentaris de FAOSTAT, és la suma dels apartats de pinsos, llavors, malbaratataments, elaboració i altres usos als quals s'hi ha sumat els farratges. Font: [Faostat-2016]

A la taula 2.3 es mostren les xifres d'Espanya, un exemple de país desenvolupat que ha transformat profundament la seva cadena de subministrament alimentari en els darrers 50 anys:

Taula 2.3 Espanya: de la producció i subministrament primari al proveïment d'aliments

Món FAO: balanços alimentaris	Producció primària		Balanç primari	Subministrament primari		Pinso i farratge	Altres[1]	Proveïm. Aliments
	Tg/a	%	Tg/a	Tg/a	%	Tg/a	Tg/a	Tg/a
1961 (Població: 30,74 milions d'habitants)								
Total productes	61,8	100,0%	-0,3	61,5	100,0%	24,5	13,8	23,2
% subministrament primari	100,5%		-0,5%	100,0%		39,8%	22,4%	37,7%
Productes vegetals	56,2	90,9%	-0,5	55,8	90,7%	23,3	13,7	18,9
% subministrament primari	100,7%		-0,9%	100,0%		41,8%	24,6%	33,9%
Productes animals	5,6	9,1%	0,1	5,7	9,3%	1,2	0,2	4,4
% subministrament primari	98,2%		1,8%	100,0%		21,1%	3,5%	77,2%
2011 (Població 46,51 milions d'habitants, increment 51,3 %)								
Total productes	126,1	100,0%	3,9	130	100,0%	58,7	30,7	40,7
% subministrament primari	97,0%		3,0%	100,0%		45,2%	23,6%	31,3%
Productes vegetals	109,9	87,2%	1,3	111,2	85,5%	56,4	29,8	25,0
% subministrament primari	98,8%		1,2%	100,0%		50,7%	26,8%	22,5%
Productes animals	16,1	12,8%	2,7	18,8	14,5%	2,4	0,9	15,7
% subministrament primari	85,6%		14,4%	100,0%		12,8%	4,8%	83,5%

Tg/a = tera grams per any = milions de tones per any; [1] En els balanços alimentaris de FAOSTAT, és la suma dels apartats de pinsos, llavors, malbarataments, elaboració i altres usos als quals s'hi ha sumat els farratges. Font: [Faostat-2016]

Entre 1961 i 2011, la producció primària alimentària d'Espanya es duplica (factor de 2,04), el subministrament primari creix més (factor de 2,11), el creixement dels proveïment d'aliments és més moderat (factor 1,75) mentre que la població tan sols creix el 50 % (factor 1,51). Aquestes dades posen de manifest dues tendències: 1) En créixer més el subministrament que la producció primària, Espanya passa de ser un país lleugerament exportador a lleugerament importador, en termes generals; 2) La cadena de proveïment alimentària s'ha fet menys eficient; el 1961, el 37,7 % del subministrament (el 33,8 % dels productes vegetals) arribava a proveïment d'aliments quan el 2011 només ho feia el 31,3 % (tan sols el 22,5 % dels productes vegetals); 3) La proporció d'aliments d'origen animal duplica en aquests 50 anys i passa de 18,8 % el 1961 a 38,5 % el 2011.

Segona part dels balanços alimentaris

El 2011, el proveïment mundial d'aliments proporcionava 2.867 kcal/(hab·dia) d'aportació calòrica mitjana, 80,2 g/(hab·d) de proteïnes i 82,9 g/(hab·d) de greixos, quantitats més que suficients per a una alimentació adequada (taula 2.4). El problema de la fam no és tant de producció com de distribució i, també, d'excessiva inclinació d'alguns països vers els productes d'origen animal.

A escala mundial el 2011 (taula 2.4), el 75,5 % de la massa d'aliments són d'origen vegetal i, el 24,5 %, d'origen animal. Tot i que no figura a la taula 2.4, entre els productes d'origen

vegetal, els cereals (21,5 % del total d'aliments) proporcionen el 45,2 % de l'energia i el 39,8 % de les proteïnes; els olis i cultius oleaginosos (2,7 % del total) proporcionen el 43,3 % dels greixos mentre que les hortalisses són el 19,8 % i les fruites el 10,8 %. Entre els segons, la carn i les vísceres (6,9 % del total) proporcionen el 19,2 % de les proteïnes i el 31,0 % dels greixos mentre que la llet (13,1 % del total) proporciona el 10,2 % de les proteïnes i el 9,2 % dels greixos.

Taula 2.4 Món: del proveïment d'aliments a funcions vitals (energia, proteïnes i greixos)

Món FAO: balanços alimentaris	Proveïment d'aliments			Energia		Proteïnes		Greixos	
	Tg/a	kg/ (hab·any)	% total	kcal/ (hab·dia)	% total	g/ (hab·dia)	% total	g/ (hab·dia)	% total
1961 (Població: 3.056,2 milions d'habitants)									
Total aliments	1.513	495,2	100,0 %	2.196	100,0%	61,7	100,0 %	47,5	100,0%
Productes vegetals	1.153	377,3	76,2 %	1.857	84,6 %	41,9	67,9 %	22,8	48,0 %
Productes animals	360	117,9	23,8 %	339	15,4 %	19,8	32,1 %	24,7	52,0 %
2011 (Població 6.887,3 milions d'habitants, increment 125,4 %)									
Total aliments	4.727	686,3	100,0 %	2.867	100,0 %	80,2	100,0 %	82,9	100,0%
Increm. 1961-2011	212,4 %	38,6 %		30,6 %		30,0 %		74,5 %	
Productes vegetals	3.571	518,5	75,5 %	2.359	82,3 %	48,5	60,5 %	45,9	55,4 %
Productes animals	1.156	167,8	24,5 %	508	17,7 %	31,7	39,5 %	37,0	44,6 %

Tg/a = tera grams per any = milions de tones per any. Font: [Faostat-2016]

La proporció d'aliments d'origen animal en la dieta està fortament relacionada amb l'eficàcia del sistema alimentari: per exemple, als EUA arriba tan sols a aliment el 22 % del subministrament primari (el 14 % de la producció d'origen vegetal), mentre que, a l'Índia hi arriba el 41 %. També pot incidir en aspectes de salut.

Taula 2.5 Espanya: del proveïment d'aliments a funcions vitals (energia, proteïnes i greixos)

Espanya FAO: balanços alimentaris	Proveïment d'aliments			Energia		Proteïnes		Greixos	
	Tg/a	kg/ (hab·any)	% total	kcal/ (hab·dia)	% total	g/ (hab·dia)	% total	g/ (hab·dia)	% total
1961 (Població: 30,74 milions d'habitants)									
Total aliments	23,22	755,3	100,0%	2.633	100,0%	79,0	100,0 %	67,8	100,0%
Productes vegetals	18,86	613,4	81,2 %	2.278	86,5 %	52,7	66,7 %	45,6	67,3 %
Productes animals	4,36	141,9	18,8 %	355	13,5 %	26,3	33,3 %	22,2	32,7 %
2011 (Població 46,51 milions d'habitants, increment 51,3 %)									
Total aliments	40,74	875,9	100,0%	3.186	100,0%	103,0	100,0%	160,4	100,0%
Increm. 1961-2011	75,5 %	16,0 %		21,0%		30,4 %		136,6%	
Productes vegetals	25,05	538,5	61,5 %	2.354	73,9 %	37,9	36,8 %	105,2	65,6 %
Prod. animals	15,69	337,4	38,5 %	832	26,1 %	65,1	63,2 %	55,2	34,4 %

Tg/a = tera grams per any = milions de tones per any. Font: [Faostat-2016]

Com ja s'ha dit, la proporció d'aliments d'origen animal a Espanya s'ha més que duplicat en 50 anys, de 18,8 % a 38,5 % (no molt lluny dels EUA, 41,7 %, on ja disminueix). El

2011, el proveïment espanyol d'aliments proporcionava valors més alts que la mitjana mundial: 3.168 kcal/(hab·dia) en aportació calòrica, 103,0 g/(hab·d) de proteïnes i 160,4 g/(hab·d) de greixos; aquest darrer valor és el doble de la mitjana mundial i 2,37 vegades el que tenia el 1961 (taula 2.5).

Catalunya, pel fet de no ser un estat, no apareix com a tal a Faostat i, per tant, no disposa de balanços alimentaris publicats.

2.1.4 Producció primària

Fins a principis del segle XX la producció agrària depenia exclusivament de la fertilitat natural dels sòls i de la seva millora mitjançant l'aplicació de les dejeccions dels animals de granja, l'ús de guano o de nitrats d'origen mineral. Amb el desenvolupament del procés Haber-Bosch per a la producció d'amoníac (NH_3), a partir del nitrogen atmosfèric i de l'hidrogen obtingut del gas natural, amb un consum energètic mig actual de 31 MJ/kg NH_3, es va possibilitar la producció sintètica de fertilitzants nitrogenats, la revolució verda des dels anys 60 (que ajunta la millora de les tecnologies de producció i la millora dels genotips de les plantes cultivades) i multiplicar la productivitat dels cultius per 4 entre 1990 i 2000. El 2010, Smil [Smil-2011] estimava una producció mundial de 100 Tg/any (milions de tones per any) de N per fertilitzants nitrogenats, mitjançant el procés Haber-Bosch, uns 4.200 TWh/any, més del 99% de la producció total de fertilitzants nitrogenats químics.

Les pèrdues de fertilitzants nitrogenats per volatilització, lixiviació, escorrentia o erosió del sòl fan baixar la seva eficiència al 38-45% [Oenema-2009]. En països amb un important pes de la proteïna animal a la dieta alimentària, la transformació de nitrogen vegetal en proteïna animal fa baixar l'eficiència global del nitrogen en el sistema alimentari per sota del 15% [Smil, 2011]. Totes aquestes ineficiències es tradueixen en una important alliberament de nitrogen a l'atmosfera, a les aigües superficials i a les aigües subterrànies, tant en els processos de fertilització química com de dejeccions ramaderes, de fangs de depuradora o d'altres transformats d'efluents residuals, líquids i sòlids, de la indústria alimentària o dels residus municipals.

Un altre nutrient bàsic per a la producció d'aliments és el fòsfor. Aquest és un mineral no renovable amb una producció anual de l'ordre de 15-20 Tg P/any en el període 2000-2010, amb les principals reserves, limitades, localitzades al Marroc (antic Sahara Espanyol). Al ritme actual de consum s'estima una baixada en la taxa de producció cap als anys 2030-2040, amb augment del cost de producció, i un esgotament en 100-150 anys [Foged-2012]. A part del problema geopolític que pugui representar dependre d'unes reserves molt localitzades, l'ús d'aquest nutrient també es caracteritza per la seva eficiència com a fertilitzant i les pèrdues al llarg de la cadena alimentària però, també, en "reserves" addicionals a partir de les dejeccions ramaderes i d'altres efluents residuals.

Producció agrícola i energia

La FAO [FAO-2009] estima que per l'any 2050 caldrà haver augmentat la producció d'aliments en un 75%, per fer front a l'augment de població i assegurar la nutrició, la qualitat i la seguretat alimentària de tota la població mundial. Els reptes que la FAO proposa són aconseguir aquest objectiu amb més eficiència y menys recursos que els actuals: menys terra agrícola per càpita, menys consum d'aigua per hectàrea, menys consum de fertilitzants, menys consum de productes fitosanitaris i menys consum d'energia, tot reduint l'impacte ambiental de la producció d'aliments, amb més seguretat (sanitat) i fent front alhora al canvi climàtic.

A aquests reptes cal afegir, a nivell energètic, el fer compatible la producció d'aliments i la producció de biocombustibles amb uns sòls limitats. Per fer front a aquests reptes hi ha de jugar un paper important la biotecnologia tant en els seus vessants de millora genètica clàssica com en els mes recents de la transgènia o l'edició de ADN. Es cert que entre alguns sectors de la població l'enginyeria dels sistemes biològics crea reticències sovint per desinformació. La Universitat Politècnica de Catalunya hauria de contribuir que aquest debat es realitzés sobre una base científica sòlida i no sobre veritats més o menys revelades.

La millora de la producció agrària en els darrers 50 anys ha implicat un augment considerable del consum d'energia que es distribueix aproximadament en un 60% per la producció de fertilitzants inorgànics, un 20% en l'ús de la maquinària i un 15% en l'obtenció d'aigua per a regadiu, com a partides més importants [Pimentel-2008a]. En els cultius de secà, el tercer consum d'energia en ordre d'importància és per fabricar els pesticides.

Els principis bàsics per reduir els consums energètics de l'agricultura i tendir a sistemes agraris sostenibles (SAS) són: a) augmentar la matèria orgànica del sòl per reduir-ne l'erosió, millorar la fertilitat, augmentar la capacitat de retenció d'aigua i reduir els requeriments de fertilitzants minerals; b) millorar genèticament l'eficiència de les plantes cultivades tant en la captació com en la transformació de l'energia i dels nutrients, especialment en entorns amb baixos inputs, c) tendir a sistemes agrícoles més complexos, i organitzar els sistemes de producció (seqüència de cultius, distribució de cultius en l'espai, diversitat biològica dins del cultiu) per augmentar la resiliència i disminuir l'energia que hem d'introduir en el sistema (incloent la que hi afegim en forma de productes fitosanitaris).

Dos pilars importants de la millora ambiental són augmentar la diversitat biològica per millorar la resiliència i disminuir el consum de productes fitosanitaris. A tal fi les eines agronòmiques dirigides a conservar el sòl, l'aigua i els nutrients i les tecnològiques per desenvolupar l'agricultura de precisió són essencials per reduir els inputs i l'energia necessària per produir aliments [Cañameras-2010]. Unes tècniques agronòmiques adequades poden reduir fins a un 53 % dels consums d'energia en la producció agrària [Pimentel-2008b].

Pel que fa a la enginyeria de biosistemes, destinada a obtenir organismes més eficients energèticament, les tècniques d'edició d'ADN entre les quals ja s'ha popularitzat CRISPER ([Hsu-2014], [Bortesi-2015]) molt probablement ajudaran a disminuir les reticències de la societat sobre la utilització de genotips obtinguts per modificació dirigida del ADN.

L'agricultura de precisió, que utilitza tecnologies per optimitzar la gestió de les explotacions segons les necessitats (GPS, imatges de satèl·lit, sensors, SIG, etc.), permeten optimitzar l'ús de recursos per millorar l'eficiència i adaptar les operacions a les particularitats. Per exemple, amb l'ús de tècniques de guiatge de la maquinària via satèl·lit per l'adobat o realitzar tractaments fitosanitaris, l'ús de sembradores de precisió, sensors d'humitat per a reg diferencial segons les característiques del sòl i èpoques de conreu, entre d'altres, es pot reduir un mínim del 15% d'energia. En els propers anys, el repte energètic comportarà el desenvolupament de tècniques que millorin l'eficiència de l'agricultura, ja sigui per produir més aliments, o per reduir el malbaratament de recursos naturals, com el sòl, l'aigua o l'energia, i això en qualsevol model de producció, ja sigui productivista i intensiu, o distribuït.

Producció animal i energia

La producció ramadera aporta productes ben diversos a l'alimentació: làctics, ous, carns amb diferents qualitats de proteïna i greix, entre d'altres. El bestiar contribueix amb el 40 % del valor de la producció agrícola mundial i sosté els mitjans de vida i la seguretat alimentària de gairebé 1.300 milions de persones.

La ramaderia és la responsable de la major part de l'ús mundial de terres: les pastures i terres de cultiu dedicades a la producció d'aliments per al bestiar representen gairebé el 80 per cent de totes les terres agrícoles. Els cultius farratgers se sembren en un terç de totes les terres conreades, mentre que la superfície total de terra ocupada per pastures equival al 26 per cent de la superfície terrestre lliure de gel [FAO-2017].

Mentre que la producció ramadera extensiva està limitada majoritàriament per la producció de pastures en un territori determinat i, per tant, manté un equilibri entre capacitat productiva de pastures i sotabosc i la capacitat productiva de carn i derivats, amb un component energètic d'intensitat baixa, la producció intensiva de bestiar, sobretot porcí i aviram, crea un desequilibri amb conseqüències ambientals i energètiques.

Per exemple, la producció porcina intensiva a Europa es localitza en zones properes a ports marítims; Dinamarca, nord d'Alemanya, Holanda i Bèlgica (port de Rotterdam), Bretanya francesa, Catalunya (ports de Tarragona i Barcelona). Això està motivat pel fet que aquests països no produeixen ni soja ni cereals en quantitats suficients per alimentar el bestiar que s'engreixa, de manera que aquestes matèries primeres s'importen de zones d'alta producció (USA, Sud-Amèrica, Sud-Est asiàtic).

Per contra, la producció intensiva d'aquest bestiar i la seva transformació en productes elaborats requereix de coneixements avançats de genètica, alimentació i tecnologia per mantenir el animals en les condicions idònies i pel processament posterior que aporta valor afegit i un pes apreciable a les economies dels països productors.

Així, doncs, a Catalunya el sector ramader aporta el 63,6% de la producció final agrària, amb un pes del sector porcí del 55,5%, que és netament exportador, del sector aviram i ous del 20,6% i del sector boví i de llet del 18,9%. Sense el model de ramaderia intensiva, la producció de proteïna animal estaria limitada a la capacitat dels sòls agraris per produir simultàniament aliment humà d'origen vegetal i pinso pel bestiar i obligaria a la importació de carn en cas de mantenir-se la demanda.

El consum energètic dels sectors intensius de producció porcina i aviram té tres components: a) l'energia per a la producció agrària de components pels pinsos en països llunyans i per al seu transport; b) l'energia per mantenir les condicions ambientals idònies de reproducció i creixement del bestiar a les naus de les granges; i c) l'energia esmerçada en gestionar els excrements dels animals de les granges. En el segon component, la calefacció és la partida més important, amb unes necessitats que poden arribar a 0,85 MWh/any per truja, en el cas del sector porcí.

Entre els reptes per reduir el consum energètic a les naus de bestiar hi ha: les millores en el disseny de les naus amb captació solar passiva, l'ús d'altres energies renovables, el control de la renovació d'aire o l'adopció de bescanviadors de calor. De tota manera, el gran repte serà reduir la dependència de les importacions de matèries primeres vegetals per a la producció de pinso i el consum energètic associat a aquesta producció agrària llunyana.

Les principals implicacions de caràcter ambiental de la producció ramadera intensiva són degudes al transport intercontinental de matèries primeres riques en nutrients (nitrogen i fòsfor). El bestiar porcí fixa de l'ordre d'un terç d'aquest nitrogen en forma de proteïna animal, i allibera la resta en els purins de forma relativament diluïda. Pel reciclatge d'aquest nitrogen com fertilitzant s'hauria de retornar a les zones agràries d'on procedeix, en altres continents, la qual cosa seria possible amb un elevat cost energètic per a la seva concentració. El repte de futur de la producció intensiva de bestiar és resoldre el problema que crea aquest desequilibri en la distribució intercontinental de nutrients. El sector del tractament d'efluents residuals pot aportar solucions tecnològiques per millorar la situació, però es requerirà d'actuacions del sector ramader per optimitzar les eficiències de transformació, millorar el disseny de les naus per fer-les més eficients, reduir consums de productes llunyans i solucionar el problema de desequilibris que la demanda de productes càrnics produeix.

Producció pesquera i aqüícola

L'any 2008, el cost de la despesa energètica de la flota pesquera de la Unió Europea va ser aproximadament del 24 % del total [Anderson-2010]. El cost del carburant respecte

als ingressos del sector presenta diferències molt notables, des del 6,3 % a les Illes Feroès al 24.6 % per Lituània, amb valors per Espanya del 12,4 % [Muir-2015].

Els costos energètics depenen en gran mesura de les arts utilitzades i del tipus de peix. La pesca amb xarxes costanera (sardina) i la de ròssec mar endins (rap) tenen els costos extrems (0,175 i 2,547, tones de carburant per tona de peix capturat respectivament), en consonància amb el seu rendiment comercial. Amb un canvi de l'art de pesca, hi pot haver reduccions notables en el consum d'energia per a una mateixa espècie que, en el bacallà, pot baixar fins al 80% o, per peixos plans, fins al 92% [NSF-2017].

Entre les accions que, segons els estudis actuals, poden afavorir reduccions significatives del consum energètic en el sector pesquer hi ha: canviar les arts de pesca per arts més sostenibles; canviar mètodes de pesca i afavorir demandes de consum d'espècies de proximitat; pescar més a prop de la costa i modernitzar els equipaments i els dissenys dels vaixells.

El consum energètic en l'aqüicultura depèn molt tant de l'espècie de peixos que es produeix com del tipus de cria que es faci però, en la majoria dels casos, de cultius intensius el del pinso explica del 75 al 95% del total, mentre que el del carburant no arriba al 10% [Muir-2015]. El cost energètic del pinso junt amb el de la depuració de les aigües (cost sovint no comptabilitzat) es poden reduir si els residus d'un nivell tròfic (producció d'una espècie de peixos) es consideren com recursos per a un altre nivell tròfic. O sigui, la producció combinada d'organismes diferents, o sistemes multi-tròfics integrats d'aqüicultura (IMTA: *integrated multi trophic aquaculture*).

En definitiva, entre les accions que tenen un efecte sensible en la reducció del consum energètic del sector de l'aqüicultura hi ha: millorar la taxa de conversió d'aliments, diversificar les matèries primeres per la producció de pinsos, disminuir la concentració de residus en el medi per reduir la mortalitat i/o aprofitar aquests residus com aliments d'altres espècies.

2.1.5. Indústria alimentària i energia

La indústria alimentària utilitza matèries primeres procedents de l'agricultura, la ramaderia, la pesca o l'aqüicultura. L'aigua hi intervé sovint com a ingredient i també en els processos de calefacció, de refrigeració i de neteja de les instal·lacions (sovint fa servir més aigua en els seus processos que matèries primeres o ingredients); altres elements de suport son l'aire (automatització pneumàtica) i certs gasos (nitrogen, oxigen i CO_2 fonamentalment). La indústria alimentària també és una gran productora d'aigües residuals.

Els processos de fabricació d'aliments es poden descompondre en operacions de naturalesa física, fisicoquímica o bioquímica que s'apliquen a les primeres matèries gràcies amb el suport d'elements com l'aigua i l'energia. La indústria alimentària és un

dels sectors industrials més consumidors d'energia a causa de l'elevat volum de producte processat, però no per la intensitat d'energia (diverses fonts estimen els costos de l'energia entre un 3 i 5 % del total).

A Espanya la indústria alimentària és el primer sector industrial en valor afegit (15,3 %) i el segon, després del metall, en consum d'energia final a la indústria (17,2 %); a Catalunya, la indústria alimentària, molt diversificada, és també el primer subsector industrial en valor afegir (11,3 %) i el segon, després del químic, en consum d'energia final (16,8 %) on l'electricitat és el 35,8 %. La major part de processos de la indústria agroalimentària tenen uns consums compresos entre 0,1 i 1 kWh per kg de producte.

La major part dels consums d'energia a la indústria alimentària es troben en les operacions de tractament tèrmic dels aliments (escaldat, pasteurització, esterilització; aproximadament 29 %), en l'aplicació del fred (refrigeració i congelació; s'estima un 16 %) i en els processos d'eliminació d'aigua (evaporació i deshidratació). També poden ser importants en determinades indústries els processos d'extrusió, cocció, fritures o fornejats; en els cereals, les molturacions i, en fluids, les fermentacions, destil·lacions, barreges, bombeig i agitacions. També poden ser destacables els consums en separacions mecàniques (filtracions), en la neteja d'equips i, com en qualsevol altre indústria, en els serveis (enllumenat, aire condicionat ó calefacció).

Altres aspectes de gran incidència relacionats amb l'energia i la indústria agroalimentària són l'envasat, amb els impactes ambientals que genera, i els requeriments posteriors de transport i emmagatzematge del producte fins al consum, especialment pel que fa a la cadena de fred. En aquest sentit, convé analitzar les decisions de la indústria agroalimentària en el context del cicle de vida complet dels productes, des de la producció primària fins al consum.

La proporció d'habitants a les ciutats augmenta (a escala mundial ja s'ha sobrepassat el 50 %) i això fa que, globalment, augmenta la distància entre producció i consum d'aliments. Aquest fet implica més despesa d'energia en transport (en algunes societats desenvolupades en el marc d'una economia globalitzada, el transport d'aliments ja és més del 10 % del transport global); però, aquesta tendència també es pot veure compensada per un increment de consum de productes de proximitat i de temporada.

La producció d'aliments encara té un potencial d'estalvi energètic notable. Per exemple, els tractaments de baixes temperatures i tecnologies més eficients en el processament d'aliments, suposen una oportunitat d'estalvi d'energia en substitució de processos a altes temperatures. L'anàlisi integral de tot el procés productiu (inclosos els usos d'aigua, energia i gestió dels residus) ha de permetre trobar sinèrgies i oportunitats d'estalvi i també de reorganització de la relació entre producció, transformació i consum.

2.1.6 Gestió i tractament dels efluents residuals

Tots els subsectors d'activitat que apareixen a la figura 2.1 i totes les etapes de la cadena alimentària produeixen residus orgànics, ja siguin sòlids o líquids (aigües residuals) que tenen el seu origen en la biomassa primària generada a partir de la fotosíntesi (energia i CO_2 atmosfèric) i de la fixació de macronutrients i micronutrients del sòl.

Els tipus de residu que es produeix en més quantitat són:

a) Restes de cultius (subproductes amb valor agronòmic i energètic)

b) Purins, fems i gallinasses

c) Residus de la industria alimentària (càrnica, d'olis, de fruita).

d) Fracció orgànica de residus municipals i aigües residuals domèstiques

Aquests efluents residuals donen lloc a multitud de problemes si no es gestiones correctament:

1) Contaminació atmosfèrica: emissions de CH_4, N_2O, NH_3, COV
2) Contaminació d'aigües: nitrats, fosfats, matèria orgànica, compostos xenobiòtics
3) Pèrdua de matèria orgànica, deteriorament i pèrdua fertilitat dels sòls, erosió
4) Majors consums d'energia (necessitat de restituir els nutrients)
5) Problemes sanitaris.

La matèria, com l'energia, no es crea ni es destrueix, es transforma. Per tant, la matèria orgànica sobrant o no útil (els residus) té un valor energètic i alhora agronòmic. En un context d'economia circular s'ha de tendir a maximitzar les eficiències de tot el complex alimentari i a recuperar els nutrients i micronutrients de tots els efluents residuals, així com la seva energia. Independentment del sistema productiu (intensiu o distribuït) cal maximitzar les eficiències en l'ús dels nutrients i d'altres factors de producció per evitar fenòmens de contaminació i pèrdua de recursos.

En aquest context, el tractament d'efluents residuals apareix com estratègic per a la sostenibilitat del sistema. En aquest sector caldria modificar la nomenclatura i objectius, passant del concepte "tractament", que s'identifica com a mètode per reduir l'impacte ambiental, al concepte de "processat", que s'identifica com a mètode per obtenir un producte final amb utilitat i valor econòmic, adoptant l'estratègia tecnològica apropiada. És, doncs, un nou sector productiu amb els objectius de produir energia, recuperar macronutrients i micronutrients i reduir la dependència de combustibles i matèries primeres fòssils.

La *transició vers un nou model energètic* amb un canvi de paradigma productiu pot implicar l'aparició de multitud de paradoxes, com la d'invertir en instal·lacions destinades a la màxima recuperació de recursos dels residus mentre paral·lelament s'inverteix en campanyes de reducció en la producció de residus. Per tant, a més de la recerca científica

i tecnològica per fer possible un canvi de paradigma en la consideració i l'ús dels residus i aigües residuals com recursos, cal formació per gestionar la incertesa i avançar de forma coordinada.

A Europa es produeixen 1.400 Tg (milions de tones) de dejeccions a l'any, de les quals es processa un 7,8% (Foged-2012b]. La força motriu per a l'adopció de sistemes de tractament és la pressió sobre els ramaders per evitar la contaminació de les aigües per nitrats. Avui dia, es van tancant a Europa antics sistemes d'eliminació biològica de nitrogen per substituir-los per sistemes de recuperació de nutrients amb l'objectiu de substituir fertilitzants minerals o exportar-los a llargues distàncies.

Una tecnologia clau en aquests processos de recuperació és la digestió anaeròbia que, a més de transformar la matèria orgànica en CH_4 i reduir les males olors, mineralitza el material i el fa més adient per processos fisicoquímics diversos de recuperació de nitrogen o fòsfor. El concepte també és aplicable a plantes depuradores d'aigües residuals, on enlloc de transformar matèria orgànica en CO_2 per via biològica aeròbia, transferint-hi O_2, amb el conseqüent consum energètic, és possible també transformar-la en CH_4 i recuperar nutrients. Aquest és un nou paradigma, en el que les plantes depuradores consumidores d'energia es transformin en fàbriques de producció energètica, de nutrients i d'altres productes de valor afegit.

Les diferències en la composició i en els potencials de producció de CH_4 dels efluents residuals orgànics justifiquen la necessitat de la codigestió anaeròbia, és a dir, la digestió anaeròbia conjunta de substrats de diferents orígens, amb els objectius de: 1) complementarietat en la composició, per obtenir perfils del procés més eficaços; 2) unificar metodologies de gestió; 3) esmorteir variacions temporals en composició i producció; 4) reduir costos d'inversió i explotació. Aquest concepte, que s'aplica a Dinamarca des de mitjans anys 80, suporta la necessitat de cotractament i cogestió de residus dels diferents sectors productors del complex agroalimentari, i crea sinèrgies per a l'ajuda mútua amb l'objectiu general d'afavorir el tancament del cercle complet.

El sector de la gestió i el tractament dels efluents residuals orgànics és clau per ajudar a l'economia circular, recuperar de forma indirecta energia solar capturada en forma de compostos orgànics, per reciclar nutrients, per mantenir i millorar la qualitat dels sòl i, per tant, és un sector que requereix de molta recerca i informació, a les quals la Universitat Politècnica de Catalunya té l'obligació de contribuir-hi.

2.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), com a universitat tècnica de referència d'un país europeu desenvolupat, té alhora la responsabilitat i també les oportunitats d'intervenir activament i de promoure els canvis que impliquen la transició energètica dels recursos fòssils a energies renovables en els diferents àmbits d'activitat.

Els estudis d'agricultura tenen una llarga tradició a Barcelona quan, el 1911, la Diputació de Barcelona crea l'Escola Superior d'Agricultura amb el doble objectiu de formar bons agricultors de base científica i pràctica i d'esdevenir un centre d'investigació. Després de diverses vicissituds, el 1976 l'escola s'adscriu a la UPC i a partir de 2005 les activitats es traslladen al Campus del Baix Llobregat a Castelldefels.

El segon capítol del document de bases *transició vers un nou model energètic* de la UPC es dedica a *alimentació i energia*, un objectiu bàsic per fer possible qualsevol altra activitat humana. Avui dia, les activitats que donen suport a l'alimentació humana (agricultura, ramaderia, pesca, aqüicultura, indústria alimentària, distribució i consum i, també la gestió i, indirectament, el tractament dels efluents residuals) tenen una forta dependència dels combustibles fòssils i, per tant, aniran a remolc de la seva crisi.

Per un desenvolupament sostenible i harmònic de la societat cal que el sistema alimentari també ho sigui. Un dels reptes més importants per facilitar la innovació i la creació de nous productes i processos i per desenvolupar la base industrial i tecnològica sostenible del sector agroalimentari és aplicar tecnologies facilitadores (KET) en els processos productius.

Avui dia, la indústria alimentària necessita l'aportació de coneixements, tècniques, equips i especialistes d'altres àmbits com ara l'electrònica, les tecnologies de la informació i la comunicació, la fotònica, la nanotecnologia o la robòtica. L'èxit de la transformació del sector depèn, en gran mesura, del ritme amb què aquests coneixements es posin al seu servei.

En conseqüència, la UPC creu que ha de potenciar o impulsar les següents accions:

2.2.1 Estudis i anàlisi sobre alimentació

Una de les necessitats més bàsiques de les persones és l'alimentació. I és un fet que en un món cada dia més urbà, la gran majoria dels recursos alimentaris han de provenir de fora de les ciutats i de distàncies cada cop més grans.

Històricament, el proveïment alimentari a l'Occident europeu ha experimentat dos grans models: en el primer, que va durar des de la baixa edat mitjana fins el segle XVIII, el

proveïment de les ciutats i viles estava en mans dels governs locals que regulaven els comerç alimentari i combinaven la protecció i els preus justos; en el segon, que es configura a partir del segle XIX amb la introducció del liberalisme econòmic i la construcció dels estats, s'instaura el mercat lliure i els poders locals veuen reduïda la seva capacitat d'intervenció [Renom-2016].

Avui dia, amb la globalització i, fins fa poc els baixos preus dels carburants, alguns dels principals aliments s'han convertit en *commodities* (blat, arròs, sucre, soja) i, fins i tot productes peribles de de baix valor afegit (hortalisses i fruites comunes) es comercialitzen entre continents. Les ciutats creixen independentment de les capacitats de producció agrícola dels territoris circumdants amb uns costos de transport, emmagatzematge i transformació de residus cada dia més grans.

Una de les informacions més rellevants de la FAO són els balanços alimentaris que, per a un país determinat, permeten correlacionar la producció amb el subministrament dels principals productes vegetals i animals, analitzar els usos de cada un d'ells en l'alimentació humana, l'alimentació animal, altres usos i pèrdues, així com conèixer la contribució de cada un dels aliments (vegetals i animals) en el subministrament d'energia (calories), proteïnes i greixos a les persones.

Des d'un punt de vista productiu, Catalunya s'ha especialitzat en determinats sectors alimentaris (la vinya i el vi, la fruita fresca, la indústria càrnica del porc i la indústria alimentària en general) però, pel fet de no ser un estat (FAO) i perquè no hi ha altres instàncies administratives que ho realitzin. no disposa d'estudis del balanç alimentari de la seva població.

Les dades del balanç alimentari són una base imprescindible per:

- Elaborar polítiques de proveïment alimentari, especialment important en una població com la catalana amb una producció primària d'aliments globalment deficitària i en una etapa de transició energètica que trastocarà profundament els equilibris actuals
- Correlacionar la salut de la població amb els hàbits alimentaris. En aquest sentit cal assenyalar que la població espanyola (de la que Catalunya en forma part) ha passat d'ingerir 68 grams de greixos al dia el 1961 a 160 grams al dia el 2011, amb un augment del 137 % (en el conjunt del món aquest augment ha estat del 75%).

2.2.2 Sector agroalimentari, recursos i energia

Agricultura

L'agricultura és una activitat que consumeix una gran quantitat de recursos. Els nous enfocaments per optimitzar l´ús de l'energia han d'actuar tant a nivell dels organismes vius que cultivem com a nivell de l'entorn en el qual aquests es desenvolupen, i també en la interacció d'aquests dos factors.

Organismes vius. Les varietats millorades genèticament que majoritàriament utilitzem a Catalunya (pràcticament el 100% en hortalisses i cereals) han estat aconseguides pensant en un entorn de gran inversió energètica. Hem de començar a revisar aquest paradigma i construir, emprant tota la capacitat de l'enginyeria de sistemes vius, plantes que aprofitin millor l'energia i que no necessitin una intervenció externa tant elevada com la que actualment emprem (el cas més extrem és el cultiu protegit en hivernacles on podem sotmetre a les plantes a condicions ben diferents de les que hi ha a l'exterior, a canvi, això si, d'invertir molta energia en el sistema).

Sòl agrícola. L'agricultura és de molt, l'activitat humana que usa més superfície. Prenent els estàndards mundials de superfície agrícola per càpita (0,22 hectàrees per habitant el 2011), ja molt baixos respecte a èpoques preindustrials gràcies als inputs consumidors de fòssils (fertilitzants, pesticides, reg, mecanització intensa), la superfície necessària per cobrir l'alimentació de la població de Catalunya (7,5 milions d'habitants) és d'uns 1.650.000 ha, lleugerament superior al 50 % del territori del país (3.210.000 ha), quan les terres agrícoles actualment en servei són tan sols 780.000 ha (prop del 25 % del territori).

Aigua. Tot i la gran població i la importància del sector industrial de Catalunya, l'agricultura absorbeix el 69,6 % de l'aigua (93,7 % en la conca de l'Ebre).

Fertilitzants i productes fitosanitaris. Tot i l'actual tendència a la moderació, el creixement de l'ús d'aquests inputs en els darrers decennis ha estat enorme i, a més d'imposar càrregues econòmiques als agricultors i de crear dependència, té repercussions negatives importants en la contaminació dels sòls i de les aigües subterrànies i un efecte directe en el consum d'energia per a la seva producció. Això no obstant, sobre el paper hi ha el compromís dels països CE de reduir el consum de productes fitosanitaris (directiva 2009/128 CE d'ús sostenible de fitosanitaris).

Ramaderia, pesca i aqüicultura

Catalunya és una gran productora de productes animals (28 % del total). A més, la indústria que hi ha al darrera, especialment dels derivats de carn porcina, és especialment important.

El model de producció animal intensiva se sustenta en la importació de recursos i una energia barata que afavoreix el transport intercontinental de matèries primeres, creant un desequilibri en la distribució de nutrients. Per contra, és una indústria que aporta valor

afegit. Aquesta contradicció requereix d'estudis que orientin sobre quina evolució del sector s'ha de promoure en el marc de la transició energètica.

La ramaderia requereix grans consums de farratges, de pinsos i d'altres recursos (molts d'ells amb una forta dependència dels combustibles fòssils) alhora que origina gran quantitat d'efluents residuals (sòlids, líquids i gasosos) que tenen grans impactes al medi ambient, especialment en la contaminació de sòls i d'aigües subterrànies, així com també en el canvi climàtic.

Tot i que la pesca o l'aqüicultura tenen un pes menor, són sectors que continuaran vius per abastir d'altres tipus de greixos i, per tant la UPC hi ha de tenir una presència, tant en els aspectes de formació com de recerca tecnològica per optimitzar els consums i produccions.

Indústria alimentària

La indústria alimentària (transformació de productes primaris vegetals i animals en productes alimentaris elaborats) de Catalunya és el primer sector industrial en valor econòmic (21 %).

Tot i que els costos de l'energia pesen poc en relació als costos globals del sector (<3 %), constitueix un dels sectors que usen més energia: segons l'enquesta ECESI (ICAEN, Generalitat de Catalunya), el sector usa el 16,8 % de l'energia de tot el sector industrial, de la qual el 35,8 % és en forma d'electricitat i el 64,2 % restant en diferents formes d'energia tèrmica.

La major part de processos tèrmics de la indústria alimentària són de baixa i mitja temperatura. Per tant, poden ser abastits fàcilment per mitjà de tecnologies termosolars amb captadors de placa plana (baixa temperatura), captadors termosolars concentradors (mitja temperatura) i per diferents tecnologies de bomba de calor (baixes i mitges temperatures).

En general, en el pas de recursos fòssils (combustibles) a nous recursos energètics renovables (normalment en forma d'electricitat) hi ha un marge molt gran de millora energètica. Alhora, l'aigua és un recurs escàs i fràgil a Catalunya i els escenaris de futur són menys aigua, més irregular i més demanda. Si es té en compte que la balança comercial agroalimentària és clarament deficitària cal tenir present la important dependència d'aquest recurs en forma d'aigua virtual.

La revisió dels processos pot aportar millores substancials també en l'estalvi de recursos primaris vegetals i animals respecte a la producció obtinguda (disminució de minves; o aprofitament de residus per a altres usos: economia circular).

2.2.3 Oportunitats en els efluents residuals

Els residus orgànics i els compostos orgànics i nutrients de les aigües residuals de tots els sectors d'activitat del complex agroalimentari, des de l'agrícola o pesquer fins al de consum, domèstic o altra, tenen el seu origen en l'energia solar capturada mitjançant fotosíntesi, en el CO_2 atmosfèric, l'aigua i els nutrients del sòl, que cal restituir. Tenen, doncs, un contingut energètic i contenen nutrients no renovables.

Són recursos. I, en conseqüència, el sector econòmic que els gestiona i tracta ha de tenir un enfocament d'indústria productiva que els transformi en nous productes amb valor en el mercat. Això implica un canvi de paradigma sobre el concepte de residu o d'aigua residual; ja no és allò que cal eliminar o tractar per reduir el seu impacte ambiental, sinó allò que cal transformar per millorar el balanç energètic global i reduir importacions de matèries primeres, com el nitrogen i el fòsfor. Aquesta és la nova visió que es va imposant als països occidentals, i que requereix dels nous enginyers una base científica i tècnica sòlida, així com un visió global de la problemàtica i integral de les solucions.

En un context d'economia circular, hom es podria plantejar que cada subsector d'activitat recicli o transformi els seus efluents residuals, però les propietats diferents de cada un d'ells no sempre fan possible aquest objectiu. La complementarietat i les sinèrgies obtingudes de la cogestió o el cotractament poden permetre instal·lacions més eficients, i més tenint en compte que l'objectiu comú és tancar el cicle dels nutrients, així com recuperar el contingut energètic dels compostos orgànics. Aquest nou paradigma implica la col·laboració entre els diferents sectors, la qual cosa obliga a nous esquemes de treball i a una planificació a mig i llarg termini.

La Universitat té un paper important a jugar en aquest canvi de paradigma, a través d'impulsar la investigació i el desenvolupament de noves solucions tècniques i organitzatives, i de formar a tècnics amb una visió integral i integradora, i amb capacitat de gestionar la incertesa d'un entorn i unes demandes canviants.

2.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball futures que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit de la Alimentació i Energia.

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:

- La qualitat del sòl, l'aigua i l'atmosfera
- Fertilitzants i productes fitosanitaris
- Tècniques d'agricultura de precisió
- Vectors energètics renovables
- Sistemes agrícoles locals
- Impacte de la ramaderia intensiva
- Sistemes de climatització i il·luminació dels estables
- Eficiència energètica a la pesca
- Pesca i aqüicultura responsables i sostenibles
- Economia circular dels processos productius
- Matèria orgànica sobrant.

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Afavorir la incorporació de les KET's (Tecnologies clau facilitadores) de la indústria 4.0 al sector agroalimentari, tant en la producció primària i la indústria transformadora com en la distribució i el canal HORECA (hostaleria, restauració i càtering).

II. En allò que pugui aportar la UPC, incorporar la tecnologia de biosistemes, tot potenciant l'enginyeria dels sistemes vius (biotecnologia, millora genètica) per tal d'obtenir plantes més eficients en la captació i transformació d'energia (incloent els processos de captació i transformació de nutrients).

III. Balanços alimentaris. Impulsar la recerca a la UPC sobre alimentació en la perspectiva de servei bàsic i sota nous conceptes integradors presidits per la transició energètica. Oferir serveis per a l'elaboració dels balanços alimentaris de Catalunya.

IV. Reducció del malbaratament. Treballar en tots els aspectes implicats en el procés de malbaratament d'aliments (sistemes de producció, sistemes de conservació, envasat, etc.) per aconseguir la reducció dels elevats percentatges d'aliments que es produeixen i no es consumeixen.

3. Habitabilitat i energia

Índex

3.1 Anàlisi de la situació i tendències

3.1.1 El concepte d'habitabilitat

3.1.2 Habitabilitat i energia

3.1.3 L'evolució entre habitabilitat i energia

3.1.4 Crisi energètica i habitabilitat

3.1.5 La necessitat d'una nova habitabilitat

3.1.6 Reptes de la nova habitabilitat

3.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

3.2.1 L'habitabilitat com a eix vertebrador

3.2.2 L'eficiència en la producció i el manteniment de l'habitabilitat

3.2.3 Nova relació de la ciutat amb el medi

3.3 Línies de treball futures de la UPC

3.1 Anàlisi de la situació i tendències

3.1.1 El concepte d'habitabilitat

L'habitabilitat és un bé que cobreix una necessitat bàsica com és l'aixopluc de les activitats humanes, produint les condicions socialment adequades per realitzar-les. Unes condicions que abasten des d'aspectes dimensionals, a qüestions ambientals (confort tèrmic, lumínic, acústic, qualitat de l'aire), de seguretat (d'ús, i davant d'incendis, sismes, inundacions i altres episodis catastròfics), així com una organització dels espais adients per realitzar-les en les condicions adequades d'intimitat en relació als altres.

El primer lloc on aquesta habitabilitat s'expressa és en l'habitatge, aixoplugant la llar per possibilitar la satisfacció de les necessitats més bàsiques (dormir i descansar, conservar i preparar els aliments, rentar-se i desfer-se dels residus, guardar amb seguretat les pertinences personals, mantenir les relacions dintre de la llar i amb altres, etc.)

Però una vida socialment acceptable implica avui l'accés a un seguit de serveis (educatius, culturals, assistencials, etc.) i d'àmbits de treball (oficines, tallers, fàbriques) que configuren una habitabilitat a una escala més gran que l'habitatge, a una escala urbana que recull i ordena aquests equipaments en una estructura que, alhora, és reflex de la relació de la societat amb el medi a través de les infraestructures de mobilitat (de persones, de materials, d'aigua, d'energia) que l'organitzen i que determinen l'espai urbà. Una relació de la societat amb el medi -un metabolisme social- que té una expressió clara en la forma del territori, i en la percepció social d'aquesta forma: en el paisatge.

Així, edificis -d'habitatges, de serveis, de treball- i espai urbà són els components que determinen l'habitabilitat, recolzats per les infraestructures que la connecten al paisatge.

3.1.2 L'Habitabilitat i l'energia

Com qualsevol activitat que modifica l'entorn, l'habitabilitat està lligada a l'ús d'energia, a l'acceleració de la degradació d'energies disponibles en el medi. Bàsicament, hi ha dues fases en les quals l'habitabilitat degrada energia: en la constitució, i en el seu manteniment.

L'aixopluc que configura l'habitabilitat es basa en la construcció d'edificis i espais, organitzats de forma que es determinen les condicions dimensionals, de seguretat i, en bona mesura, les ambientals. Aquest procés de construcció demana materials que han de ser produïts a través de processos que empren energia.

A l'actualitat, edificar un metre quadrat habitable implica l'ús d'entre dues i tres tones de materials, i l'energia necessària per fabricar aquests materials suposa entre 4.000 i 6.000

MJ, aproximadament l'energia que produeix la combustió d'entre 100 i 150 litres de benzina. Així, un habitatge de 100 m^2, per fabricar els seus materials, demanda l'energia que usa un automòbil estàndard en recórrer entre 150.000 i 225.000 km.

I, s'hi afegeixen les emissions de gasos d'efecte hivernacle que suposa la fabricació dels materials d'aquest habitatge de 100 m^2 útils. És més, incorporant les emissions (i l'energia) dels materials necessaris per construir els m^2 no habitables -garatge, espais comuns, etc.-, no estarà per sota de les 50 tones de CO_2. Al 2007, just abans de la crisi, en ple 'boom' de la construcció, la fabricació de materials de construcció per bastir edificis a l'Estat Espanyol va suposar quasi un 10 % de les seves emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH). Cal afegir a aquestes xifres l'energia necessària per construir les infraestructures que aporten els fluxos que permeten l'habitabilitat, així com els de la construcció de l'espai públic. Una xifra menor, però en absolut menyspreable a escala macroeconòmica.

Però el manteniment de l'habitabilitat dins els espais construïts també demana l'ús d'energia. En part, per mantenir les condicions ambientals necessàries, en climatització i il·luminació. En l'altre part, per sostenir les activitats que s'aixopluguen fornint els equips que utilitzen (cocció, electrodomèstics, comunicació, etc.). A les nostres llars, el repartiment entre l'energia necessària per procurar l'habitabilitat i la que permet el desenvolupament de les activitats està, aproximadament, en una proporció del 60 % respecte al 40 %. I el total de l'energia emprada està, a casa nostra, al voltant dels 45.000 MJ anuals en un habitatge mig. Això vol dir, l'equivalent a més de 1.000 litres de benzina anuals. Com un auto que recorre 18.000 km cada any.

I són xifres que cal mirar també en l'àmbit macro-econòmic: un terç de l'energia final en el nostre país és usada a edificis (sense comptar, és clar, els industrials). Això és, el manteniment de l'habitabilitat i de les activitats que aixopluga demanden una tercera part de l'ús social de l'energia. El nostre model d'habitabilitat té una forta dependència de l'energia, i suposa una part considerable de l'energia emprada socialment.

Per mitjà dels balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia [IEA-2017] es pot establir la intensitat de l'ús d'energia final a diferents àmbits territorials (món, països OCDE, països No-OCDE, EU28, Espanya i Catalunya). Els usos energètics d'Espanya i Catalunya se situen prop de la mitjana de la Unió Europea del 28 estats. Tanmateix, sorprèn la baixa proporció dels usos energètics en l'habitatge (16,6 % a Espanya i 13,1 % a Catalunya, front el 24,3 % europeu) i els elevats usos energètics en transport (48,4 % i 49,9 % a Espanya i Catalunya, i 36,3 % a Europa). El primer aspecte està fonamentalment relacionat amb el clima més temperat i la menor necessitat de calefacció (Catalunya, en la seva gran majoria de clima mediterrani temperat, té uns usos residencials lleugerament inferiors als del conjunt d'Espanya). El segon aspecte indica un ús excessiu del transport, especialment el privat.

El projecte SECH-SPAHOUSEC realitzat per IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético, Gobierno de España), [IDAE-2011] permet analitzar la distribució de la despesa d'energia a les llars, com s'indica en la taula 3.1.

La climatització -ara, encara calefacció- absorbeix el 50 % dels usos energètics. És un consum a l'alça, ja que reflecteix el creixement progressiu de la climatització domèstica, però que s'ha ressentit de la crisi econòmica, que l'ha fet retrocedir. La segona despesa en importància és l'aigua calenta sanitària (prop d'una cinquena part), un consum també a l'alça quan les condicions econòmiques ho permeten, però que ara ha de cobrir una fracció molt significativa -al voltant de la meitat- amb energia solar. Mentre el consum en il·luminació va de baixa, impulsat per la millora de l'eficiència de les làmpades, els electrodomèstics -malgrat la millora progressiva de la seva eficiència- empenyen l'augment del consum a causa de l'increment del tipus i quantitat d'aquests equipaments domèstics.

Figura 3.1 Usos energètics a les llars espanyoles (kWh/(habitatge i any)

Conceptes	Global				Blocs		Unifamiliar	
	Total	Combin.	Electric.	%	Total	Combin.	Total	Combin.
TOTAL	**9.924**	**6.419**	**3.487**	100,0 %	**7.545**	**4.189**	**15.516**	**11.714**
Calefacció i aire condic.	4.744	4.395	338	47,8 %	2.506	2.167	10.023	9.685
Aigua calenta sanitària	1.877	1.611	260	18,9 %	1.958	1.722	1.664	1.345
Il·luminació	410		410	4,1 %	397		440	
Alimentació	1.705	413	1.292	17,2 %	1.520	299	2.146	684
Cuina i forns	*915*	*413*	*502*		*793*	*299*	*1.206*	*684*
Frigorífics i congelad.	*790*		*790*		*727*		*940*	
Neteja	458		458	4,6 %	435		512	
Rentadores, assec.	*328*		*327*		*315*		*356*	
Rentavaixelles	*131*		*131*		*120*		*156*	
Aparells	730		729	7,4 %	729		730	
Stand-by	*231*		*231*		*237*		*216*	
TV	*263*		*263*		*249*		*295*	
Ordinadors i altres	*236*		*236*		*243*		*220*	

Font: projecte SECH-SPAHOUSEC [IDAE-2011]

3.1.3 L'evolució entre habitabilitat i energia

Això no ha estat sempre així. Les condicions socialment acceptables que determinen l'habitabilitat han anat acomodant-se a les possibilitats que permetia l'accés a l'energia i, alhora, generant models que depenen més d'ella a mesura que aquell accés es va anar assegurant.

Així, avui considerem un problema social inacceptable situacions que ara qualifiquem de *pobresa energètica* que no eren sinó consuetudinàries no fa gaires decennis: els augments de renda de les llars des de finals dels anys setanta del segle passat fins a l'esclat de la crisi del 2008, van permetre l'adopció sistemàtica als habitatges de

sistemes de calefacció (a primers dels anys 80, encara es considerava la calefacció com a 'un luxe' als habitatges de promoció pública), i fins i tot, més d'un 50 % de les llars disposen avui d'aparells d'aire condicionat a alguna de les peces de l'habitatge.

Però aquesta energia cada cop més accessible (des de finals dels anys 70 fins al nou segle, van coincidir preus minvants de l'energia i rendes creixents a les llars) també va fer que l'eficiència en l'ús de l'energia no tingués gaire rellevància en construir els edificis i, en conseqüència, bona part del nostre parc d'edificis (el 32 %, construït entre 1980 i 2007) no ha estat dissenyat ni construït pensant en l'eficiència energètica com una demanda a considerar.

Com tampoc l'ha tinguda en la major part dels edificis construïts als anys cinquanta, seixanta i primers setanta, molts d'ells bastits per la urgència de procurar habitatge urbà a una població que havia vingut del camp en unes condicions econòmiques precàries, i que es va resoldre amb uns barris també precaris, tant en serveis com en qualitat dels habitatges, que avui configuren la perifèria de les nostres ciutats.

I uns centres urbans que han patit la seva decadència com a models de ciutat enfront de les noves exigències i que, entre d'altres coses, han perdut tant les condicions de confort admeses tradicionalment -però mai enunciades com a tals- com les estratègies per aconseguir-les, i els elements infraestructurals que li procuraven els recursos per produir i mantenir l'habitabilitat. De fet, ha estat el creixement continuat de la producció propi de la revolució industrial -que alimenta un increment també continuat del consum, allò que anomenem progrés- el que ha fet que l'oferta d'habitabilitat dels centres urbans tradicionals hagi resultat insuficient, i les llars que han pogut seguir el progrés econòmic les hagin abandonat per les noves ofertes de barris capaces de suportar un metabolisme social modern.

D'aquesta manera, la ciutat existent i el parc construït que tenim requereix un consum energètic considerable per proveir l'habitabilitat socialment demandada.

3.1.4 La crisi energètica i l'habitabilitat

La doble crisi de l'energia -de recursos i de residus- obliga a la societat ha fer un ineludible canvi de dieta energètica vers les energies renovables. És un canvi urgent. I un canvi en el qual l'edificació té un paper clau.

Per una banda, perquè de continuar amb *business as usual* (amb el progrés esperable de les polítiques actuals de millora d'eficiència energètica) per fer front a la demanda d'habitabilitat que el creixement de la població -i, esperem, de les seves rendes- de 7.200 milions d'habitants a 9.600 en 2050, totes les emissions acceptables aquell any per assegurar un augment de temperatura no superior a dos graus, les emetran els edificis. Val a dir, l'habitabilitat exigirà totes les emissions possibles, fent impossible l'assoliment de la principal fita contra el canvi climàtic.

D'altra banda, perquè el canvi de model energètic suposa tant una descentralització de la producció com una marcada preeminència de l'energia elèctrica. Ambdues condicions lligades a l'ús de renovables, i amb molta relació amb l'entorn construït -edificis i espais urbans- tant per la seva dispersió com pel tipus de fonts energètiques que empren, i per la importància del seu consum: el 2010, el 23 % de l'energia primària es va acabar dedicant al consum d'energia final als edificis, un percentatge que difícilment davallarà en el futur. I perquè, de forma directa o indirecta, l'edificació ja va generar el 2010 més del 18 % de les emissions de GEH.

És per aquesta necessitat d'un ràpid canvi de model que s'estan produint exigències noves, radicals i urgents, que afecten tant als edificis com a les ciutats.

A Europa, la Directiva d'eficiència energètica de 2010 [UE-2010] estableix l'estàndard nZEB (*near Zero Energy Building*, edifici de consum d'energia quasi nul) com un edifici d'alta eficiència energètica amb un consum molt baix, i alimentat per fonts renovables. I aquest estàndard és obligatori per tota l'edificació nova a partir de 2020. I la Directiva de 2012 [UE-2012] exigeix una estratègia viable per transformar el parc edificat vers l'eficiència energètica, tenint com a referència el nZEB.

Igualment, es desenvolupen noves formes de captació, transformació i distribució energètica, on l'escala urbana (l'escala de barri) pren una importància central, i on cal incloure els consums de la mobilitat (de passatgers, de mercaderies) i dels serveis urbans. Unes noves formes en què les renovables *on site*, ubicades en els mateixos edificis i barris, són determinants en un model on producció i consum hauran de tenir una estructura molt diferent a l'actual. Cal no oblidar que, per exemple, els treballs realitzats a CMES (Ramon Sans [Sans-2014], Eduard Furró [Furró-2016]) indiquen que a Catalunya, les necessitats de superfície per suportar un model energètic 100 % renovable es podrien situar entre 40.000 hectàrees (el primer autor) i 66.000 hectàrees (el segon autor), quan la superfície artificialitzada a Catalunya és d'unes 215.000 hectàrees [Idescat-2017].

D'altra banda, les estratègies de mitigació dels efectes del canvi climàtic també generen demandes sobre l'edificació i la ciutat. L'interès de la UE per les anomenades *infraestructures verdes* com un instrument de defensa i millora de la biodiversitat, ha pres un nou caire amb la necessitat d'incloure els espais urbans i productius i, d'altra banda, per la possibilitat d'usar aquestes infraestructures com elements que procuren serveis urbans, generant una nova relació entre la ciutat i el territori. En el nostre metabolisme social actual, el territori forneix de recursos la ciutat i n'assumeix els residus, però ara es fa consumint capital natural i degradant els processos que governen la seva matriu biofísica (pendent, sòl, substrat, flora, fauna, clima), el que fa minvar progressivament la seva capacitat de renovar-se i produir bens i serveis socialment útils.

3.1.5 La necessitat d'una nova habitabilitat

Al repte global de la transició de model energètic cal afegir els reptes particulars als que s'enfronta l'habitabilitat a casa nostra. La nova transició demogràfica que es va iniciar a casa nostra a finals de la dècada dels 70 del segle passat, amb una disminució de la base de la piràmide de població que ha significat la fi d'un secular procés de creixement de la població, marca una estabilització de la població que només ha estat alterada per l'arribada d'immigració. I aquesta transició demogràfica suposa un canvi en l'exigència social d'habitabilitat.

En primer lloc, perquè el creixement demogràfic impulsava un sector de l'edificació dedicat essencialment a la construcció d'edificis per aixoplugar-lo, en el marc d'una ciutat també en creixement continu. Al nostre entorn, l'estabilització de la població implica que el creixement del parc construït ja no és una exigència funcional (ja tenim una mitja de menys de tres persones per habitatge) i que ja no seran necessaris els ritmes de nova construcció de temps enrere.

En segon lloc, perquè el canvi de model poblacional fa que els perfils de les llars siguin molt diferents dels tradicionals, dels que han definit les necessitats d'habitabilitat fins avui. D'una part, l'envelliment de la població, produït per la millora de les condicions de vida, que ha fet que les necessitats dels ocupants dels habitatges siguin diferents, en especial les qüestions relacionades amb l'accessibilitat física (en altres parts del document de bases es parla d'accessibilitat virtual) i la seguretat d'ús. D'altra part, per la dispersió de models de llars, allunyades ja majoritàriament de la llar familiar en fase de criança que ha modelat els nostres habitatges, llars diferents que demanden noves relacions entre els seus membres, i la possibilitat que aquestes relacions tinguin cabuda i adequada expressió en ells. I, també, l'evolució pròpia de la vida urbana i de les activitats domèstiques i socials, amb noves demandes, noves exigències que es suporten en nous equips, en noves possibilitats de comunicació i de gestió de la informació.

En tercer lloc, perquè la transició cap a un nou model energètic forma part d'un canvi necessari de paradigma de la nostra relació amb el medi, un canvi que ha de transformar el metabolisme de la nostra societat, de noves formes de producció i de consum que no es basin en la sistemàtica destrucció del capital natural. I això implica un canvi de relació amb el territori, de sistemes d'infraestructures diferents, que faran del paisatge (l'ocupació, planificació i percepció social del territori) l'eix central del debat social en tant que és la síntesi dels processos que el configuren.

Es per això que necessitem una nova habitabilitat que sigui capaç d'enfrontar-se al repte de la transició energètica i, alhora, als reptes socials que té plantejats la nostra societat. Una nova habitabilitat necessàriament basada en el reconeixement del parc existent, de la ciutat existent, com el seu suport. En què la ciutat hi te un paper essencial com a

escala d'intervenció i que crearà un paisatge nou com a resultat de les seves noves infraestructures.

3.1.6 Reptes de la nova habitabilitat

Com hem d'encabir les demandes de la nova habitabilitat en els edificis existents? Com hem d'adequar funcionalment el parc construït? Com l'hem d'interpretar? Com l'hem de rehabitar per aixoplugar les noves llars i adequar-lo a les necessitats de la població? Amb quines estratègies? I com replantejar les demandes de seguretat, de servei, de confort de la nova habitabilitat? Com assolir el nZEB? Com hem d'interpretar el suport existent per fer-ho? Com podem rehabilitar el parc existent? Amb quins conceptes? Amb quines tecnologies?

I amb quins materials hem de bastir aquesta nova habitabilitat? Com han de ser aquests materials que han de reduir la intensitat energètica de l'habitabilitat i, alhora, configurar un nou paisatge en generar una relació nova amb el territori que els proveeix? Com hem d'entendre i tractar els materials que formen part de la ciutat construïda, dels edificis existents sobre els que hem de projectar aquesta nova habitabilitat?

I en quina ciutat? Quines són les claus per regenerar la ciutat, per interpretar-hi un model de vida sostenible amb un nou model energètic i que cal establir sobre models urbans basats en altres metabolismes socials, amb altres relacions amb el medi, expressades en les infraestructures que les suporten i en la forma urbana que han generat? Com han de ser les estratègies i els instruments d'un urbanisme regeneratiu?

Com podem crear les infraestructures de la nova habitabilitat que han de re-connectar-nos amb el territori? Quines oportunitats es presenten al creuar les infraestructures de la biodiversitat amb les demandes d'un model urbà sostenibilista, d'un nou metabolisme social? Quins instruments per crear el nou paisatge que necessitem (*in situ* i, també, *in visu*)?

3.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

Aquestes demandes no han de tenir per nosaltres una resposta inseparable del rol de la Universitat. Estatutàriament, la UPC ha de donar suport al progrés de la societat catalana en els seus àmbits d'expertesa. El repte de la transició de model energètic és profund, transformador, i té especial incidència en els àmbits de la enginyeria i de l'edificació, que són propis de la UPC. És per això que és pertinent i necessari la participació i el lideratge de la nostra universitat en aquesta transició, donant suport des de les seves activitats a què en resulti una eina de progrés social, econòmic i cultural.

I és per això que cal que la resposta a les qüestions enunciades tingui desenvolu-pament en els tres vessants en les que la nostra universitat té responsabilitats: la formació, la recerca i la transferència de tecnologia:

3.2.1 L'habitabilitat com a eix vertebrador

La universitat hauria de participar activament en aprofundir en el coneixement de les realitats i tendències sobre l'habitabilitat, crear noves visions, i transmetre-les en la formació dels estudiants com a trama bàsica del seu aprenentatge, així com fomentar la recerca i el rol actiu de la Universitat en el debat social.

3.2.2 L'eficiència en la producció i el manteniment de l'habitabilitat

Un camp de treball fàcilment reconeixible és la generació de visió, coneixements, bones pràctiques i desenvolupaments tecnològics relacionats amb l'estalvi de recursos en la generació i manteniment de l'habitabilitat, i que tinguin com a primer i inevitable objectiu el repte del nZEB (edificis de consum energètic quasi zero).

3.2.3 Nova relació de la ciutat amb el medi

La necessitat de produir els serveis que la ciutat precisa, a través de processos que no disminueixin la capacitat productiva del territori, implica fomentar l'harmonia entre la ciutat i els processos, entre altres formes mitjançant la recuperació del coneixement integrat en la forma urbana de les ciutats tradicionals, així com les noves infraes-tructures verdes' que promou la UE.

3.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball futures que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit de la Habitabilitat i Energia.

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:

- Demanda de l'habitabilitat vs necessitats/comportaments
- Incidència, fluxos i transformació del metabolisme urbà, material i social i els recursos implicats
- Ordenació del territori en la matriu biofísica
- Tecnologies d'intervenció, rehabilitació i construcció
- Sistemes passius d'eficiència energètica
- Sistemes de climatització d'aigua calenta sanitària
- Nou model de *prosumidor* (productor-consumidor)
- Processos de participació i implicació ciutadana
- Intervenció sobre ciutat construïda

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Impulsar una visió de l'habitabilitat com a necessitat a satisfer per l'arquitectura, l'edificació i la ciutat, i la seva incidència sobre el territori i el paisatge, una visió que ha de permetre interpretar tant l'actualitat com els models heretats del passat.

II. Treballar per l'eficiència i els usos adequats d'energia i d'altres recursos en relació a la utilització dels edificis i dels espais urbanitzats (climatització, il·luminació, demandes de les activitats, sistemes de comunicació i de seguretat, manteniment, etc.) i, en especial, treballar pel repte del nZEB, de l'edifici de consum d'energia quasi nul·la.

III. Desenvolupar nous models infraestructurals de serveis (model hídric, energètic, de mobilitat) compatibles amb la TME, que continguin infraestructures verdes de connexió amb el territori, i que aportin la trama necessària per a la transformació de la ciutat existent.

4. Accessibilitat, mobilitat i energia

Índex

4.1 Anàlisi de la situació i tendències

4.1.1 El valor de l'accessibilitat (física i virtual)

4.1.2 Accessibilitat i assentaments urbans

4.1.3 Mobilitat, transport i energia

4.1.4 Modes de transport de passatgers i mercaderies

4.1.5 Fabricació i parc de vehicles de motor

4.1.6 Canvi de vectors energètics en la mobilitat

4.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

4.2.1 Realitzar estudis sobre mobilitat

4.2.2 Recerques sobre alimentació d'energia

4.2.3 Recerques sobre vehicles i infraestructures

4.2.4 Recerques sobre planificació i gestió del transport

4.2.5 Sinèrgies entre l'accessibilitat física i la virtual

4.3 Línies de treball futures de la UPC

4.1 Anàlisi de la situació i tendències

4.1.1 El valor de l'accessibilitat (física i virtual)

Després de l'alimentació i l'habitabilitat, el valor més important que les societats avançades proporcionen per al desenvolupament de les persones és l'accessibilitat (en un sentit ample, física i virtual) als llocs, als béns, als serveis, a la informació i al coneixement com a condició bàsica de la seva participació i inclusió social.

En una llarga etapa de la història, l'única forma d'accessibilitat per als humans ha estat la física (movent les persones i les coses) però, des de ja fa més d'un segle amb el desenvolupament de la telegrafia i el telèfon, més endavant, de la ràdio i la televisió i, ja en les darreres dècades, de les noves tecnologies de la informació i la comunicació (o tecnologies TIC) relacionades amb internet i la telefonia mòbil, l'accessibilitat virtual ha esdevingut cada cop més determinant.

L'anàlisi conjunt de l'accessibilitat (física i virtual) té avui dia un doble interès: en primer lloc, perquè el canvi de paradigma energètic impacta de ple sobre les bases de l'accessibilitat física (mobilitat i transport) alhora que té una incidència creixent en l'accessibilitat virtual (telecomunicacions, internet, telefonia mòbil); i, en segon lloc, perquè l'accessibilitat virtual (tant en la informació i la comunicació com en la capacitat d'operar a distància) s'ha imbricat de forma intensa amb l'accessibilitat física, de vegades col·laborant-hi, d'altres competint-hi i d'altres substituint-la.

La mobilitat és l'activitat de moure persones i mercaderies d'un lloc a un altre que descansa en els mitjans tècnics del transport (vectors energètics, vehicles, infraestructures, formes organitzatives i de gestió). Cal no confondre l'accessibilitat física (que és un valor) amb la mobilitat (que és l'activitat) i el transport (que és el mitjà), de manera que es podria aconseguir una millor accessibilitat amb una mobilitat i uns mitjans més reduïts però més adequats. Una argumentació anàloga s'estableix en relació a l'accessibilitat virtual (que és el valor), els fluxos d'informació (que són l'activitat) i els sistemes de comunicació (que són els mitjans).

En definitiva, el canvi de paradigma energètic porta a reflexionar (en positiu) sobre els valors de l'accessibilitat en sentit global a través de millorar les formes de combinar l'accessibilitat física i l'accessibilitat virtual i de desenvolupar els mitjans per a fer-ho possible. Alhora, cal trobar solucions per a uns sistemes (especialment el transport) fins ara basats en unes fonts energètiques finites i contaminants (els derivats del petroli) que caldrà anar abandonant progressivament vers fonts energètiques renovables i netes.

4.1.2 Accessibilitat i assentaments humans

L'augment de població i la complexitat creixent de les nostres societats ha fet augmentar els requeriments d'accessibilitat en els llocs i moments adequats. La mobilitat és l'activitat que fa possible que les persones i les mercaderies es desplacin per mitjà del transport en aquelles activitats que requereixin la presència física mentre que, els fluxos d'informació, fan possible la interacció a distància per mitjà de les tecnologies de la informació i la comunicació en aquelles activitats que no requereixen la presència física.

La mobilitat en les àrees urbanes i metropolitanes, on l'automòbil privat (especialment en els països desenvolupats) i els vehicles comercials lleugers tenen un pes fonamental, és la responsable d'una part molt substancial del consum energètic de la societat així com de les emissions de gasos d'efecte hivernacle i dels impactes locals sobre la salut. La mobilitat a llarga distància també té una gran incidència en els usos energètics i els impactes ambientals. L'avió és decisiu en el transport de passatgers a grans distàncies i el tren d'alta velocitat es consolida en distàncies mitjanes mentre que el vaixell és el mitjà predominant en el transport de mercaderies seguit a molta distància pel ferrocarril i el transport de carretera amb camions pesants.

Per tant, cal plantejar la mobilitat en la perspectiva de la sostenibilitat i des d'un punt de vista holístic que comprèn elements tecnològics i no tecnològics i les seves interaccions on les ciutats presenten dinàmiques que cal estudiar de forma específica. La mobilitat s'ha fet tan complexa i absorbeix una part tan important dels nostres recursos que cal anar més enllà d'un simple canvi de tecnologies: més enllà d'un simple canvi de motoritzacions dels vehicles (de tèrmic a elèctrics), cal revisar també el concepte de mobilitat basat en el vehicle personal. La tecnologia és avui dia una condició necessària però no suficient i cal obrir-se a noves perspectives.

Cercar aquestes condicions suficients ens condueix a estudiar les interaccions entre els assentaments urbans, les activitats humanes, els usos del territori, l'accessibilitat física i virtual i tots ells amb l'energia. La captura d'aquestes interaccions complexes requereix de models integrats que permetis l'avaluació de les polítiques orientades als objectius de la sostenibilitat. En altres paraules, una característica clau de la qualitat d'una societat serà el grau d'accessibilitat de les seves ciutats i altres assentaments del territori en el marc de la sostenibilitat.

4.1.3 Mobilitat, transport i energia

La disponibilitat d'energia barata i abundant de les darreres dècades en base a les energies fòssils (i, especialment, el petroli) ha possibilitat la globalització de l'economia i ha fomentat els viatges cada cop més freqüents i més llargs de les persones i la dependència creixent de productes i serveis consumits a gran distància d'on s'han produït. Molts dels processos productius han estat segmentats i distribuïts arreu del món de manera que requereixen un gran moviment de mercaderies per al seu desenvolupament i això ha fet que el transport hagi esdevingut clau.

A escala mundial, però, es perceben els primers límits en l'ús del petroli i dels seus derivats, fet que obliga a reconsiderar de forma global la mobilitat i la transició vers fonts d'energia renovable. El 2014, considerant tan sols els vectors energètics que impulsen els vehicles, en el món es destinava el 30,6 % dels usos energètics finals al transport (39,9 % en els països OCDE i 24,3 % en els països No-OCDE); si també es considera l'energia per fabricar i mantenir els vehicles i les infraestructures, aquest percentatge es pot incrementar en més de 10 punts.

La taula 4.1 mostra, per a l'any 2014, el consum d'energia per càpita final (descomptats els usos no-energètics) i el consum d'energia per càpita en el transport per al món, els països OCDE, els països No-OCDE, l'Europa dels 28 (EU28), Espanya i Catalunya. Es constata que Catalunya té un dels consums en energia final més elevats del seu entorn (23.140 kWh per habitant i any) i que encara són més elevats els consums en el transport (11.540 kWh per habitant i anys), quasi la meitat de la seva despesa energètica i més elevats que a Espanya i Europa.

Taula 4.1 Pes de l'energia dedicada al transport (en valors per càpita)

Fonts: [IEA-2016]		Món	OCDE	No-OCDE	EU28	Espanya	Catalunya
Energia final (EF)	kWh/(hab·a)	13.760	31.530	9.990	24.910	21.360	23.140
Energia transport	kWh/(hab·a)	4.205	12.590	2.425	9.045	9.815	11.540
Relació ET/EF	%	30,6 %	39,9 %	24,3 %	36,3 %	46,0 %	49,9 %

4.1.4 Modes de transport de passatgers i mercaderies

La taula 4.2 proporciona un resum del transport de passatgers i de mercaderies en el món i la seva relació amb els usos d'energia i les emissions de gasos d'efecte hivernacle per a l'any 2014. També hi ha una referència a l'any 2000. Les dades provenen fonamentalment d'estimacions fetes en base el Mobility Model (MoMo) impulsat per l'Agència Internacional de l'Energia IEA ([Park-2015], [Cazzola-2016], [Teter-2016]).

Taula 4.2 Activitat, energia i emissions en el transport de passatgers i mercaderies

Passatgers									
	2000	2014							
	Activitat	Activitat				Energia		Emissions	
	Món Gpkm	Món Gpkm	Món %	OCDE Gpkm	No-OCDE Gpkm	Món TWh	Món MJ/pkm	Món $TgCO_2$	Món gCO_2/pkm
Total	29.500	48.600	100,0 %	19.500	29.100	19.170	1,40	4.820	100
Automòbil	13.500	24.300	50,0 %	72,5 %	35,0 %	65,2 %	1,85	64,5 %	130
Bus	9.500	13.200	27,2 %	9,5 %	39,0 %	10,9 %	0,60	11,5 %	45
Avió	3.000	4.600	9,5 %	14,5 %	6,0 %	15,9 %	2,40	16,3 %	170
2-3 rodes	1.500	3.300	6,8 %	0,5 %	11,0 %	6,5 %	1,35	6,5 %	95
Ferrocarril	2.000	3.200	6,6 %	3,0 %	9,0 %	1,4 %	0,30	1,2 %	20
Mhab	6.128	7.244		1.264	5.980				
pkm/hab	4.810	6.710		15.430	4.870				
kWh/hab		2.650		7.540	1.610				
$kgCO_2$/hab		670		1.900	410				

Mercaderies									
	2000	2014							
	Activitat	Activitat				Energia		Emissions	
	Món Gtkm	Món Gtkm	Món %	OCDE Gtkm	No-OCDE Gtkm	Món TWh	Món MJ/tkm	Món $TgCO_2$	Món gCO_2/tkm
Total	70.100	110.700	100,0 %	45.000	65.700	11.390	0,36	3.000	27
Vaixell	51.000	84.300	76,2 %	75,2 %	76,8 %	30,1 %	0,14	30,7 %	11
Camió	5.500	10.700	9,7 %	13,8 %	6,8 %	56,5 %	2,08	55,0 %	154
Ferrocarril	10.500	10.100	9,1 %	8,0 %	9,9 %	5,0 %	0,35	7,7 %	23
Altres[1]	3.100	5.600	5,1 %	3,0 %	6,5 %	8,4 %	0,59	6,7 %	35
Mhab	6.128	7.245		1.265	5.980				
pkm/hab	11.440	15.280		35.570	10.990				
kWh/hab		1.570		4.340	990				
kgCO2/hab		410		1.140	260				

[1] *Entre d'altres, inclou el transport en oleoductes i gasoductes. Fonts: [Park-2015], [Cazzona-2016], [Teter-2016]*

S'observa que des del 2000 al 2014, l'activitat de transports de passatgers ha augmentat el 64,7 % (de 29.500 a 48.600 Gpkm; milers de milions de passatgers per quilòmetre), i l'activitat de transports de mercaderies ha augmentat 57,9 % (de 70.100 a 110.700 Gtkm; milers de milions de tones per quilòmetre) quan la població mundial ha augmentat el 18,2 % (un augment ja molt gran en 14 anys). Per tant, malgrat la crisi del 2008, el transport mundial està en una fase explosiva.

El 2014, diàriament cada ciutadà del món va recórrer 18,4 pkm amb mitjans motoritzats i el sistema econòmic va moure per a ell 41,9 tkm de mercaderies. En els països de l'OCDE, aquestes xifres s'elevaven a 42,3 pkm i 97,5 tkm i, en els països No-OCDE, eren de 13,3 pkm i 30,1 tkm. No tots els modes de transport són igualment eficients, ni es produeix el mateix repartiment modal en els països OCDE i No-OCDE.

En la mobilitat de persones, els ciutadans dels països de l'OCDE usen prioritàriament l'automòbil i l'avió (en conjunt, 87,0 % dels desplaçaments en pkm), els modes més àvids d'energia (1,85 i 2,40 MJ/pkm, respectivament) i això comporta el 96,1 % de la despesa energètica i el 95,9 % de les emissions del transport; els altres modes (bus, motocicleta i

ferrocarril) sumen el 13,0 % dels pkm i tan sols usen el 3,9 % de l'energia i generen el 4,1 % de les emissions.

En els països No-OCDE, l'automòbil i l'avió sumen menys de la meitat dels desplaçaments (41,0 % en pkm) però també comporten la despesa de 65,5 % de l'energia i generen el 66,0 % de les emissions; els modes restants sumen el 59,0 % dels pkm i tan sols usen el 34,5 % de l'energia i generen el 34,0 % de les emissions. Això fa que el consum mitjà d'energia en els països de l'OCDE sigui d'1,75 MJ/pkm mentre que, en els països No-OCDE, baixi a 1,20 MJ/pkm, per sobre i per sota de la mitja mundial de 1,42 MJ/pkm.

En el transport de mercaderies domina el vaixell (76,2 % de tkm, tones-quilòmetre transportades,) i, a molta distància, venen el camió (9,7 %) i el ferrocarril (9,1 %), alhora que les diferències entre països de l'OCDE i No-OCDE no són tan acusades. El transport per vaixell requereix molt poca energia (0,14 MJ/tkm), el del ferrocarril més del doble (0,35 MJ/tkm) i, el transport per carretera més de deu cops (2,08 MJ/tkm); així, doncs, el camió que tan sols transporta el 9,7 % de les tkm usa el 56,5 % de l'energia del transport de mercaderies quan el vaixell, que transporta el 76,2 % de tkm, tan sols usa el 30,1 % de l'energia.

Malgrat que l'activitat del transport de passatgers (48.600 Gpkm) és menor que la del transport de mercaderies (110.700 Gtkm), l'energia utilitzada en el primer (19.170 TWh) és sensiblement superior a la utilitzada en el segon (11.290 TWh); o sigui, a escala mundial, transportar un pkm requereix una energia i genera unes emissions (1,42 MJ/pkm, 100 gCO2eq/pkm) unes 4 vegades superiors a transportar una tkm (0,36 MJ/pkm, 27 gCO2eq/pkm).

Transport urbà i no urbà

La taula 4.3 proporciona el repartiment, en termes d'energia consumida (TWh per any), entre el transport urbà i no urbà on s'observa un cert equilibri (12.860 i 17.700 TWh per any).

Taula 4.3 Repartiment entre transport urbà i no urbà (TWh/a)

[Teter-2016]	Total MÓN		Urbà		No-urbà	
Total	30.560	100,0 %	12.860	100,0 %	17.700	100,0 %
% (urbà/no-urbà)	100,0 %		42,1 %		57,9 %	
Passatgers	19.170	62,7 %	10.480	81,5 %	8.690	49,1 %
Mercaderies	11.390	37,3 %	2.380	18,5 %	9.010	50,9 %

En l'àmbit urbà domina el transport de passatgers (81,5 %) mentre que, en l'àmbit no urbà, el transport de passatgers i de mercaderies estan relativament equilibrats (49,1 % passatgers i 50,9 % mercaderies).

4.1.5 Fabricació i parc de vehicles de motor

Els impactes de la fabricació d'automòbils i del creixement del parc de vehicles, especialment a les ciutats, porten a reflexionar sobre la possibilitat de seguir amb el model actual de mobilitat individual. La taula 4.4 sobre l'evolució de la fabricació i del parc s'ha establert en base a les dades facilitades per OICA (Organització Internacional de Constructors d'Automòbils [OICA-2017]).

La fabricació de cada nou automòbil comporta un ús important de materials a més d'una energia grisa (o energia invertida en els materials i processos) d'uns 100 GJ que equival a la que requereix el propi vehicle per desplaçar-se uns 50.000 km. Després, si recorre uns 200.000 km, consumirà uns 400 GJ de carburants; alhora, aquest vehicle sol circular menys d'1 hora al dia i està aturat les 23 hores restants. Són recursos molt mal aprofitats.

Taula 4.4 Evolució de la producció i el parc de vehicles de motor

		MÓN	OCDE	No-OCDE	EUA	Xina	EU28	Espanya	Catalunya
Producció	2000	59,1	50,6	8,5	12,8	2,1	19,0	3,03	0,62
	2016	95,0	51,3	43,7	12,2	28,1	18,4	2,88	0,55
augment	%	60,6 %	1,3 %	415 %	-4,7 %	1.260 %	-3,1 %	-4,8 %	-11,3 %
Parc VM	2005	892	657	235	238	32	263	25,2	4,57
	2014	1.236	741	495	258	142	291	27,2	4,97
augment	%	38,6%	12,8%	110%	8,6%	351%	10,9%	7,8%	8,7%
VM/10^3hab	2014	170	585	83	810	105	574	585	670

VM = Vehicles de motor (inclou tots els de 4 o més rodes). Fonts: [OICA-2017]; Catalunya, [Idescat-2017a]

La producció mundial de vehicles de motor (sense motocicletes) creix el 60,6 % des de l'any 2000 al 2016 i, malgrat la recessió momentània després de la crisi de 2008, passa de 59,1 a 95,0 Mu/a (milions d'unitats per any); però mentre la producció dels països de l'OCDE creix tan sols l'1,3 % (de 50,6 a 51,2 Mu/a), la dels països No-OCDE ho fa en un 375 % (de 8,5 a 43,7 Mu/a): La Xina, ara líder, passa de 2,07 a 28,1 Mu/a entre 2000 i 2016 [OICA-2017].

Per altre costat, entre 2005 i 2014, el parc mundial de vehicles de motor creix el 38,6 % i passa de 892 a 1.236 Mu; però mentre en els països de l'OCDE creix un 12,8 % (de 657 a 741 Mu), en els països No-OCDE més que duplica (110,4 %; de 235 a 495 Mu). El parc de vehicles de la Xina més que quadruplica(de 31,6 a 142,4 Mu) i se situa en tercer lloc després del de la Unió Europea EU28 (291 Mu) i el dels EUA (258 Mu) [OICA-2017]. I la quasi totalitat d'aquests vehicles encara requereixen carburants derivats del petroli per funcionar.

4.1.6 Canvi de vectors energètics en la transport

Avui dia, la gran majoria de l'energia final (92,4 %) que mou els sistemes de transport del món prové de combustibles derivats del petroli (gasolina, gasoil, querosè, fueloil i GLP) que tenen com a avantatge la seva gran densitat màssica i volumètrica però presenten el greu inconvenient d'uns impactes ambientals molt nocius i cada cop menys assumibles tant a escala local (contaminació a les ciutats) com a l'escala planetària (canvi climàtic). Alhora, 64,5 % de l'energia final del petroli es destina al transport que és el recurs fòssil més proper a exhaurir-se.

Una de les dificultats més grans de la Transició Energètica serà articular l'alternativa al petroli per assegurar la mobilitat: en la major part de modes de transport (vehicles de carretera, vaixells, avions) cal disposar d'un vector energètic alternatiu, acumulable i de densitat massiva i volumètrica adequades per proporcionar la potència i l'abast per satisfer la mobilitat d'avui dia. Afortunadament, hi ha energies renovables amb potencial per satisfer aquests requeriments.

Tot sembla indicar que l'alternativa renovable als sistemes de transport es basarà en motoritzacions elèctriques alimentades per algun dels sistemes següents:

a) Bateries elèctriques, especialment en el transport en àmbits urbans. Les bateries solen tenir excel·lents rendiments (de l'ordre de 80 % entre càrrega i descàrrega) però, tot i els progressos dels darrers anys, tenen dos inconvenients: són pesades (en un automòbil convencional, cada quilòmetre d'abast requereix uns 2 kg de bateria) i cares (per cada quilòmetre d'abast costa entre 60 i 80 €).

b) Hidrogen de fonts renovables i pila de combustible, especialment en el transport pesant i a llarga distància. L'hidrogen permet situar suficient energia en el vehicle per a trajectes llargs, però amb una massa i un volum (incloent el dipòsit) superiors als dels derivats del petroli i l'inconvenient d'un rendiment baix de la transformació electricitat-hidrogen-electricitat (de l'ordre del 35 %). Avui dia, la tecnologia de l'hidrogen renovable encara no és comercialment operativa però la Comissió Europea i el Centre Comú de Recerca (JRC, Joint Research Centre) n'estan impulsant el seu desenvolupament a Europa ([FCH-2014], [FCH-2015]).

c) Cable i tròlei, en les principals vies fèrries i, possiblement, en carreteres de gran trànsit. El rendiment pot ser relativament elevat però, les fluctuacions de la demanda poden requerir emmagatzematge (amb la corresponent pèrdua de rendiment) en un sistema elèctric renovable. Avui dia s'està assajant electrificar carreteres amb doble tròlei per a vehicles pesants.

Atès que els motors elèctrics tenen un rendiment molt més alt (de 80 a 95 %) que els motors tèrmics (de 20 a 35 %), i malgrat les pèrdues en els sistemes d'emmagatze-matge, l'energia necessària per a una mateixa mobilitat resulta ser menor.

Els biocarburants obtinguts de cultius no poden ser la solució del transport: si tots els cultius del món es transformessin en biocarburants, s'obtindria aproximadament el 30 % del petroli que avui dia s'extreu de sota terra i no tindríem alimentació humana [Riba-2011]. En tot cas, un cert nombre limitat de vehicles (agrícoles, obres públiques, vaixells, avions) podran funcionar amb motors tèrmics alimentats amb biocarburants procedents de cultius o de residus orgànics.

El principal consum del transport és en el vector energètic (combustible, electricitat, hidrogen) que impulsa els vehicles; però també cal tenir en compte la producció del vector energètic, la construcció i manteniment dels vehicles (automòbils, camions, trens, vaixells, avions) i de les infraestructures (carreteres, vies fèrries, ports i canals, aeroports, oleoductes i gasoductes) així com la gestió del sistema. Quan es considera el conjunt de tots els components del transport, l'ús global d'energia es pot situar entre un 30 i un 60 % superior al del vector energètic, depenent del mode de transport. El transport absorbeix, doncs, una part molt significativa de l'energia final que, per al conjunt del món, pot sobrepassar el 40 %, en els països de l'OCDE, el 50 % i, en països com Espanya i Catalunya, el 60 %.

Cal la conscienciació de la ciutadana sobre els efectes en les nostres vides del progressiu exhauriment dels combustibles fòssils i, en particular, del petroli. La nova accessibilitat requereix repensar i recuperar la proximitat en moltes de les activitats presencials i substituir, quan sigui adequat, l'accessibilitat física (mobilitat i transport) per l'accessibilitat virtual (informació i actuació remota). S'han d'establir noves sinèrgies entre l'accessibilitat física i l'accessibilitat virtual a través d'una mirada holística.

4.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) té competències destacades en aquestes camp activitats. En l'accessibilitat física tracta de vehicles, infraestructures i organització i gestió tant del transport de persones com el de mercaderies; i en l'accessibilitat virtual tracta d'emissors-receptors i xarxes de comunicació, ordinadors i servidors, programes i aplicacions informàtiques, i organització i gestió de la comunicació. Alhora, com a universitat tècnica de referència en un país desenvolupat, té la responsabilitat (i també l'oportunitat) d'intervenir activament i de promoure els canvis necessaris per la transició *vers un nou model energètic*.

Les activitats de la Universitat Politècnica de Catalunya i dels seus membres en educació, recerca, col·laboració exterior i participació en el debat general en el camp de l'accessibilitat es podria centrar en les següents àrees:

4.2.1 Realitzar estudis sobre mobilitat

Pilotar la transició energètica en la mobilitat de les persones i de les mercaderies requereix un coneixement adequat i precís de la realitat, de les necessitats i desitjos de la població i de com evolucionen. Cal seguir i avaluar de forma permanent les necessitats de mobilitat de les persones en funció del tipus de poblament, les diferents activitats (treball, ensenyament, compres, serveis, relacions familiars i socials, lleure); i també analitzar les necessitats de mobilitat de mercaderies (productes primaris, aprovisionament de les empreses, els subministraments d'aigua i electricitat) i, de manera especial, la distribució en el "darrer quilòmetre".

Alhora, convé adoptar un punt de vista global que integri tots els elements del transport: no tan sols els vectors energètics que mouen els vehicles o impulsen els fluids en les conduccions, sinó també la producció d'aquests vectors, la fabricació i manteniment dels vehicles i de la construcció, manteniment i operació de les infraestructures; i, també, incorporar a l'anàlisi la incidència de les formes d'organització i de gestió d'aquestes activitats.

4.2.2 Recerques sobre alimentació d'energia

En la perspectiva de la transició energètica, la major part d'estudis conclouen que la futura tracció dels vehicles (fora d'algunes aplicacions especials) serà elèctrica, i l'alimentació s'establirà en base a les tecnologies següents: a) Bateries; b) Hidrogen i pila de combustible; c) Cable i tròlei. A escala mundial, el sistema més madur és l'alimentació per bateries: els vehicles elèctrics i els híbrids endollables ja sumaven 1,26

milió d'unitats l'any 2015 [IEA-2016b] (d'un parc global d'uns 1.280 milions d'unitats). També es va estenent la xarxa de punts de recàrrega.

Bateries

En la mobilitat en zones urbanes el vehicle elèctric amb bateria té el seu màxim potencial: velocitats baixes amb parades freqüents, distàncies curtes, menor requeriment de bateria (menys massa i menor cost) i recàrregues freqüents (en algun cas, recàrregues ràpides, o biberonatge). La motocicleta elèctrica i, sobretot, la bicicleta elèctrica (assistida) poden ser opcions molt interessants en la configuració de la mobilitat urbana del futur.

Els vehicles elèctrics actuals amb bateria de li-ió (normalment de 20 a 25 kWh) solen recórrer entre 100 i 150 km amb una càrrega completa, però poc a poc s'està millorant l'abast. En un dècada la densitat d'energia ha augmentat de 75 a 275 kWh/L i el preu ha disminuït de 1.000 a 250 US$/kWh; altres problemes on cal millorar aquesta tecnologia són el temps de recàrrega, la seva durabilitat i, en un futur immediat, la seva fi de vida.

Hidrogen i pila de combustible

En el transport pesant i a llarga distància (camions, ferrocarrils no electrificats, vaixells i, eventualment, avions) el vector energètic que sembla més adequat és l'hidrogen obtingut de fonts renovables (avui dia, quasi tot l'hidrogen s'obté per reformat amb vapor del gas natural), o combustibles derivats. Això vol dir desenvolupar a gran escala tecnologies de producció d'hidrogen renovable a partir de la hidròlisi de l'aigua, de la transformació de residus agrícoles, o de la producció fotocatalítica d'hidrogen directament a partir de la llum solar. També cal impulsar les piles de combustible.

Sense el desenvolupament de la tecnologia de l'hidrogen, la transició energètica en el transport difícilment anirà més enllà del 50 %. L'associació europea *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCH-JU) està impulsant la recerca i el desenvolupament de la producció de l'hidrogen per hidròlisi [FCH-2014] i les piles de combustible [FCH-2015]. La UPC té en aquest tema una important responsabilitat i també l'oportunitat d'iniciar un projecte pilot en relació a l'hidrogen que s'avanci i prepari la seva futura implantació més massiva com a part essencial de la transició energètica en la mobilitat.

Alimentació elèctrica amb tròlei

Avui dia es comencen a fer les primeres proves en l'electrificació de carreteres, en especial en les grans vies de comunicació. És una opció que val la pena explorar i que té l'interessant antecedent dels ferrocarrils electrificats. El rendiment del sistema és més elevat que la pila de combustible.

Biocarburants

En vehicles que operen fora de les carreteres i que requereixen grans potències (tractors agrícoles, maquinària d'obres públiques, de treballs en boscos i, eventualment, vaixells de pesca o avions) es pot pensar en una producció limitada de

biocarburants a partir de restes de cultius i d'animals o de residus urbans, sempre que no posi en qüestió l'alimentació humana.

Per tant, les línies de treball de la UPC en aquest camp poden ser:

4.2.3 Recerques sobre vehicles i infraestructures

La *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit del transport també incidirà en els vehicles i les infraestructures, com s'analitza a continuació.

Transport urbà

El vehicle privat, amb el 15 % de l'activitat del transport, origina el 40 % de la despesa energètica i de les emissions (en els països de l'OCDE aquests percentatges s'eleven al 50 % i 65 %, respectivament). Per tant, en la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic*, convé canviar aquest estat de coses. Una de les formes per incidir-hi és fomentant el transport col·lectiu allà on sigui factible o impulsant fórmules de vehicle compartit. Però, d'acord amb aquests aspectes socials de la mobilitat, també convé canviar el concepte dels vehicles.

Molts dels automòbils actuals es conceben per a usos que normalment no són efectius (fora de carretera, distàncies llargues, conducció esportiva o velocitats legalment prohibides); per tant, incorporen característiques que en condicionen la dimensió, el pes, el cost i el consum. Atès que els primers passos de la transició energètica es farà en la mobilitat a les ciutats, convé començar a redefinir el vehicle elèctric urbà amb bateries.

La mateixa reflexió es pot aplicar al transport de mercaderies, especialment en la distribució (o "darrer quilòmetre"; més del 20 % d'aquest transport), que és el més costós des del punt de vista energètic i que també caldrà basar en vehicles elèctrics de bateries.

Transport pesant i a llarga distància

El transport de mercaderies de càrregues pesants i a llargues distàncies demana embarcar una potència i una energia superiors a les que poden proporcionar les bateries i caldrà abordar la transició energètica en una segona fase. Des de la seva capacitat d'anticipació, la universitat cal que posi a punt sistemes alternatius on es fomenti el ferrocarril (el més eficient des del punt de vista energètic) i, on no sigui possible, poden tenir un paper clau els vehicles elèctrics alimentats per hidrogen i pila de combustible.

Transformació de les infraestructures

Les infraestructures són els elements dels sistemes de mobilitat que requereixen les inversions més grans (tot i que s'amortitzen en molts anys) i que presenten més dificultat en ser adaptades o transformades. És per això que cal estudiar detingudament com adaptar les infraestructures actuals a les futures necessitats de la mobilitat en la perspectiva de la transició energètica.

Un element clau per fomentar el transport col·lectiu i la distribució de mercaderies (on es poden obtenir més beneficis des del punt de vista energètic) és resoldre adequadament els punts nodals (de transferència o de canvi de mode en els sistemes de mobilitat) a partir d'un disseny acurat de les infraestructures amb participació de la ciutadania.

4.2.4 Recerques sobre planificació i gestió del transport

La planificació i la gestió dels sistemes de transport és un punt de vista integrador de tots els elements que fan possible l'accessibilitat física de les persones i de les mercaderies.

El vehicle privat és un element de llibertat però el seu nombre excessiu ha esdevingut un dels principals problemes d'avui dia on la circulació i l'aparcament condicionen la vida de les ciutats. L'enorme parc d'automòbils privats (907 milions al món el 2014, 22 milions a Espanya i 3,3 milions a Catalunya) requereix un ús excessiu de recursos i d'energia.

Des de la perspectiva de la transició energètica, aquestes xifres donen arguments per reflexionar sobre altres formes de gestionar la mobilitat: vehicles petits, flotes de vehicles compartits, combinació de taxi amb el bus, sistemes coordinats de distribució de mercaderies. Cal parar esment en el temps i el cost que comporta per als ciutadans la gestió i el manteniment del vehicle privat i que pot ser de l'ordre del seu temps de funcionament.

L'altre tema en què s'ha de fer un gran esforç és en el foment i l'eficiència del transport col·lectiu de passatgers com a servei públic. En aquest sentit cal centrar l'atenció en dos aspectes: fer atractiu aquestes formes de transport per als ciutadans i augmentar i, també equilibrar, els factors d'ocupació (malgrat les aglomeracions a les hores punta, el factor d'ocupació global en el transport col·lectiu sol estar entre el 15 i el 30 % de la seva capacitat).

La planificació i la gestió del transport de mercaderies passa desapercebut per al gran públic però afecta a una part essencial de la mobilitat. En termes generals, cal fomentar el transport intermodal i augmentar els factors de càrrega (no té sentit moure vehicles buits). És especialment important millorar el transport del "darrer quilòmetre".

4.2.5 Sinèrgies entre l'accessibilitat física i la virtual

L'accessibilitat virtual, els fluxos d'informació i els sistemes de comunicació, malgrat la incidència creixent en tots els aspectes de la vida, no disposa d'estudis comparables als de l'accessibilitat física, la mobilitat i el transport. S'ha avançat molt en les tecnologies però cal fer un esforç molt més gran en els estudis socials i ambientals i socials.

Les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC), quan es relacionen amb altres activitats (i de manera especial amb l'accessibilitat física) tenen una doble incidència en relació als recursos energètics i a les emissions de gasos d'efecte hivernacle:

a) Per un costat, com totes les activitats humanes, les TIC requereix materials (sovint, elements molt escassos a la Terra) i energia que, segons l'informe [GeSI-2012] es relaciona amb 1,3 GtCO2e, el 2,3 % de les emissions globals el 2020

b) I, per altre costat, les TIC tenen un potencial de desmaterialització d'altres activitats humanes i de disminució de l'ús d'energia que, segons l'informe [GeSI-2012], es relacionen amb 9,1 GtCO2e, el 16,5 % de les emissions globals el 2020. D'aquesta disminució d'emissions induïdes per les TIC, 1,9 GtCO2e corresponen a millores en el transport.

Aquest és un aspecte que juga ja un paper important en la millora de l'accessibilitat utilitzant uns recursos més reduïts. Ja hi ha grups universitaris treballant en aquests aspectes però, emmarcats en el concepte general d'accessibilitat, poden adquirir potencialitats molt més grans. Per tant, sembla de gran interès aprofundir en aquesta línia de coneixement.

Alguns dels aspectes que podria potenciar la UPC serien:

4.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit de l'Accessibilitat, Mobilitat i Energia.

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:

- Concepte mobilitat com a servei bàsic sota nous conceptes integradors.
- Anàlisi i estudi d'infraestructures existents (electrificació carreteres, entre d'altres).
- Planificació i gestió del transport col·lectiu passatgers i del de mercaderies (punts nodals, factors de càrrega, "darrer kilòmetre", etc.)
- Formes innovadores de transport.

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Oferir al Govern de Catalunya (i a altres administracions) la capacitat per realitzar (o participar) en l'anàlisi i seguiment continu de l'evolució de la mobilitat.
II. Desenvolupar nous conceptes de vehicles elèctrics urbans de bateries (bicicleta, motocicleta, automòbil, furgoneta) i impulsar les tecnologies de suport.
III. Impulsar la recerca i el desenvolupament de l'hidrogen com a vector energètic. Fer de la pròpia UPC una planta pilot d'experimentació: producció d'hidrogen a partir d'electricitat renovable; emmagatzematge i sistemes de recàrrega; vehicles amb pila de combustible
IV. Promoure estudis sobre les circumstàncies en què són més convenients l'accessibilitat física, l'accessibilitat virtual o la cooperació entre elles i desenvolupar-ne noves formes. Detectar les barreres en les diferents formes d'accessibilitat.

5. Informació, comunicació i energia

Índex

5.1 Anàlisi de la situació i tendències

5.1.1 La informació, la comunicació i l'energia

5.1.2 Fabricació dels dispositius TIC

5.1.3 Gran difusió d'aparells d'usuari

5.1.4 Xarxes de comunicació omnipresents

5.1.5 Els centres de dades

5.1.6 Les TIC i el cost d'oportunitat

5.1.6 Resum en relació a les TIC i l'energia

5.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

5.2.1 Contribucions de la UPC en recerca i docència

5.2.2 Desenvolupament de tecnologies TIC

5.2.3 Usos i gestió de les tecnologies TIC

5.2.4 Les TIC i l'accessibilitat

5.3 Línies de treball futures de la UPC

5.1 Anàlisi de la situació i tendències

5.1.1 La informació, la comunicació i l'energia

Les tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC) han esdevingut imprescindibles en els nostres dies, fins al punt que ni ens adonem que ens acompanyen. Des que ens aixequem al matí estem envoltats d'aparells connectats que capten dades, les processen, les transmeten i actuen. Els sistemes TIC d'alta complexitat gestionen els transports públics mentre que les persones que els utilitzen consulten les darreres notícies, responen el correu electrònic o mantenen una conversa a través d'una pantalla de mòbil. Els portàtils s'han fet habituals a les escoles, els expedients mèdics electrònics permeten un major seguiment de la salut dels pacients, l'accés als serveis bancaris ja només requereix recordar un número de 4 o 6 xifres o apropar una targeta a un terminal, i la difusió de la cultura es fa en xarxes socials.

Les TIC estan totalment implantades a la nostra realitat i conceptes com els de ciutat intel·ligent (*smart city*), Internet de les coses (IoT, *Internet of things*), comerç electrònic (*e-commerce*) o reproducció en temps real (*streaming*) atrauen l'atenció dels mons de l'economia i la política i per tant de la tecnologia.

Un càlcul del 2012 estimava que l'energia elèctrica destinada a sistemes TIC era d'uns 900 TWh, el 4.6 % de l'electricitat mundial, amb un creixement anual de 7 %, el doble del creixement anual del consum elèctric mundial (3,4 %) [Lannoo-2013]. Això indica que el consum energètic dels sistemes TIC adquireix un pes creixent en consonància amb l'ús cada vegada més estès d'aquestes tecnologies. De fet les TIC són responsables del 8 al 10 % del consum europeu d'electricitat i del 4 % de les seves emissions de CO_2 [ICTfottprint-EU-2017].

Es considera que el primer computador capaç d'emmagatzemar i executar un programa va ser Univac 1101, que va veure la llum el 1950. Des de llavors, més o menys cada 15 anys s'ha produït una revolució que ha canviat no només el món de la informàtica, sinó també els negocis i la pròpia societat. El 1965 apareixen els primers ordinadors corporatius (anomenats *mainframes*), de manera que les empreses comencen a informatitzar-se, fent una feina que abans era impossible (o simplement massa costosa). Aquests ordinadors només estaven a l'abast de les grans corporacions (bancs, asseguradores, multinacionals). El 1980 apareix el primer ordinador personal (PC, *personal computer*), que apropa la informàtica tant al petit negoci com a les llars. El 1995 neix Internet, amb tota la revolució que acaba significant. El 2010, i de manera menys coneguda per al gran públic, es fa un altre pas amb l'aparició dels grans centres de dades (*Data Centers*) que, amb la seva potència de càlcul, possibiliten una progressiva transformació de la societat. Conceptes com ara dades massives (*big data*), mineria de

dades (*data mining*), xarxes socials (*social Networks*) o informàtica verda (*green computing*) estan a l'ordre del dia.

L'economista i sociòleg Jeremy Rifkin, en el seu llibre *La societat del cost marginal zero* [Rifkin-2014], defensa que "Les grans transformacions econòmiques que s'han produït al llarg de la història s'han basat en el descobriment de noves formes d'energia i nous mitjans de comunicació". I continua: "Al segle XIX, la impremta a vapor i el telègraf van ser els mitjans de comunicació que van permetre connectar i gestionar un complex sistema ferroviari i fabril, basat en el carbó, que connectava àrees urbanes densament poblades dins dels mercats nacionals. Al segle XX, la telefonia i, més endavant, la ràdio i la televisió, es van convertir en els mitjans de comunicació que van permetre connectar i gestionar una època i una societat de consum geogràficament més dispersa i marcada pel petroli, l'automòbil i les comunitats residencials suburbanes. I en el segle XXI, Internet s'està convertint en el mitjà de comunicació que permet gestionar unes energies renovables distribuïdes i uns sistemes de logística i de transport automatitzats en un procomú mundial cada vegada més interconnectat".

Per exemple, quan accedim virtualment a la compra d'un objecte des del nostre telèfon mòbil, intervenen centenars d'aparells: el terminal que tenim entre mans es connecta a través de la seva antena a un punt d'accés que transforma les ones electromagnètiques en un corrent elèctric que porta informació de qui som, on som i què volem; una multitud d'encaminadors (*routers*, en anglès) connectats entre ells van passant el nostre missatge d'un punt a un altre de la xarxa fins als servidors del proveïdor; els sistemes d'emmagatzematge, que contenen EB de memòria (exabytes = 10^{21} bytes), guarden una còpia i el procés de compra s'inicia amb intercanvis continus d'informació entre el nostre banc, el gestor de comandes, els serveis d'entrega de paquets. Per una sola transacció electrònica, milers de xips electrònics processen i intercanvien informació tot consumint energia en cada pas.

Així, doncs, quan s'analitza la relació de les tecnologies de la informació i la comunicació amb l'energia es constata que es tracta d'un problema d'alta complexitat: en efecte, estimar l'energia necessària per alimentar els bilions d'aparells que intervenen en la producció, emmagatzemament, transport, processat i mostra de dades, és realment complicat. Per tal de fer-ho correctament s'hauria de tenir en compte múltiples aspectes que s'analitzen en els apartats que es detallen en el present capítol [Mills-2013].

Per altra banda, també s'ha de tenir en compte el procés de destrucció-/desman-tellament del material electrònic i el disseny, tot tenint present el concepte d'economia circular (*cradle to grave* versus *cradle to cradle*), que també s'analitza a continuació.

5.1.2 Fabricació dels dispositius TIC

A diferència de molts altres productes i sistemes, un dels aspectes més destacades dels dispositius electrònics usats en la informació i les comunicacions és que l'energia necessària per a la seva fabricació (el que es coneix com energia grisa, o *embodied energy*) sol ser molt més gran que l'energia que aquests mateixos dispositius requereixen després durant el seu ús [Williams-2004].

Per exemple, per a una memòria de 2 MB (megabytes), el 80 % de l'energia es consumeix durant la fabricació mentre que tan sols un 20 % durant l'ús en els previsibles 4 anys de vida. Això es deu a què els sistemes d'escala micro a nano són inherentment de molt baixa entropia i, per tant, requereixen molta energia en la seva fabricació [Mobbs-2010]. No hi ha una solució tecnològica per a resoldre aquest problema, és un principi fonamental de la física; es pot millorar el procés de producció però no eliminar la gran quantitat d'energia necessària per a disminuir l'entropia.

En una estimació conservadora, considerant que l'energia grisa per fabricar un mòbil és de 0,25 GJ (gigajoules = 10^9 joule), que per fabricar una tablet és de 1,0 GJ i que per fabricar un portàtil és de 4.5 GJ, l'energia per a la producció anual d'aquests dispositius supera 1 EJ (exajoule = 10^{18} joules; o uns 2.800 GWh). A més, la majoria d'aquests aparells han estan fabricats als països asiàtics on l'electricitat prové majoritàriament de centrals de carbó i després són distribuïts per tot el món en vaixells operats amb petroli.

L'empresa Apple [Apple-2016] especifica que, de les tones de CO_2 que genera (principalment de consum elèctric), el 77 % són a causa de la fabricació dels productes, el 4 % del transport i només el 17 % pel propi ús i, això, malgrat que els seus centres de dades de Carolina del Nord, Nevada i Oregon funcionen al 100 % amb energies renovables.

5.1.3 Gran difusió d'aparells d'usuari

Existeix un parc enorme d'aparells d'usuari, des d'ordinadors personals (PC) i portàtils a telèfons intel·ligents (*smartphones*) i tauletes (*tablets*), passant per televisions intel·ligents (*smart TV*) i encaminadors (*routers*). L'any 2015, el número de telèfons mòbils ja va superar el número de persones al món, amb més de 7.300 milions d'unitats [Ditrendia-2015].

Cada dia apareixen nous aparells en el mercat per reemplaçar els existents, no només per obsolescència real o programada, sinó també per obsolescència estètica. El 2015 es van vendre més de 1.000 milions de telèfons mòbils, 230 milions de tauletes i 60 milions d'ordinadors portàtils [IEEE-2016]. La capacitat de bateria típica d'un telèfon intel·ligent actual se situa entre 2000 i 4000 mAh (miliampere hora). El seu consum depèn molt del mode d'ús, però una estimació conservadora és que la majoria d'usuaris usa cada dia el 60 % de la seva capacitat, que cal recarregar. Tan sols per a Espanya,

amb un parc d'uns 20 milions de mòbils, implica de l'ordre de 44 GWh anuals. A escala mundial, només els ordinadors personals (PC) i els monitors consumeixen el 40 % de l'energia de les tecnologies de la informació i comunicació i emeten el 0.8 % del CO_2 mundial.

5.1.4 Xarxes de comunicació omnipresents

Uns altres sistemes amb consums elèctrics considerables són les xarxes de comunicació omnipresents de banda ampla amb i sense fils.

L'Agència Internacional d'Energia estima per el 2014 que, tan sols el consum dels dispositius connectats en xarxa en mode d'espera (*standby*), va superar els 600 TWh [IEA-2014]. I encara falta que "esclati" el fenomen d'internet de les coses (IoT) que augura un món on tots els aparells estaran connectats. No és estrany, doncs, que els responsa-bles del G20 hagin acordat en la reunió de novembre de 2014 que una de les sis prioritats del seu *Energy Efficiency Action Plan* sigui l'atenció als aparells connectats a xarxa [G20-2014]. La potència típica dels encaminadors (*routers*) se situa entre 7 i 18 W [Mitchell-2016] [TPCDB-2017], i l'estimació del seu consum mundial arriba als 52 TWh anuals [Nokia-2012]. Aquests aparells, que són presents en el 80 % de les llars d'Espanya, en un percentatge molt gran estan contínuament connectats i consumeixen energia.

L'increment de la demanda de capacitat i de cobertura de la xarxa també implica un consum més gran d'energia per part dels proveïdors d'infraestructures i els operadors de les xarxes. El 2012, s'estima que els equips de xarxa dels operadors van consumir uns 260 TWh [Nokia-2012]. Aquest mateix any, els principals operadors reportaven increments anuals del consum energètic d'entre 15 i 35 %. La penetració de comunicacions mòbils es preveu que arribi al 100 % de la població mundial el 2020, i cada usuari s'estima que consumirà entre un 25 i 50 % més de dades cada any.

Aquestes dades sens dubte són avui en dia molt més grans degut a l'auge de la computació al núvol i a la proliferació de serveis basats en servidors remots, com assistents virtuals o aplicacions en dispositius mòbils que requereixen de servidors remots. S'estima un creixement d'internet de les coses (IoT) [EPRS-2016] que donarà lloc a un augment en el consum de dades fins a un creixement acumulat entre 2015 i 2020 del 27 % [Cisco-2016].

Els dispositius d'Internet de les coses (IoT), considerats individualment, consumeixen poca potència (entre μW, microwatt = 10^{-6} watt, i mW, miliwatts = 10^{-3} watt), però el previsible desplegament en milers de milions d'unitats en tot el mon farà que el seu consum global anual sigui de l'ordre dels GWh. Això sense comptar l'impacte en l'increment de dades que suposarà per als proveïdors de serveis de xarxa i de procés de dades, ni la problemàtica de gestionar milers de milions de bateries recarregables i el seu eventual reciclatge a la fi de la vida útil.

La majoria d'aparells electrònics es troben durant una part substancial del temps en estat de repòs (*standby*), esperant alguna interacció amb l'entorn. Això és especialment rellevant en sistemes com l'internet de les coses (IoT), però també ho és en telèfons intel·ligents, encaminadors (*routers*) i electrodomèstics com per exemple aparells de TV, de vídeo o de música. La contribució global d'aquest consum espuri és important, de l'ordre del 23 % de la factura domèstica d'energia en llars segons un estudi [NRDC-2015] del 2015 sobre llars del nord de Califòrnia. Les causes d'aquest consum són en part tecnològiques per les característiques dels circuits electrònics i en part per decisions de disseny que no tenen en compte de forma prioritària el consum energètic.

5.1.5 Els centres de dades

Els centres de dades mantenen la nostra informació accessible en tot moment i que són responsables de tanta emissió de gasos d'efectes hivernacle com l'aviació [GeSI-2012]. S'estima que un simple correu electrònic (*e-mail*) emet 4 g de CO_2 i 50 g si té un document adjunt [Berners-Lee-2010]. International Data Corporation [IDC-2017] estima que el 2020 hi haurà emmagatzemat al món 40 ZB d'informació (ZB, zettabyte = 10^{21} bytes), o 40.000 milions de discos durs d'1 TB (TB, terabyte = 10^9 bytes) cada un dels quals sol tenir una despesa energètica d'entre 4 i 8 W (0,5 W si està en mode *standby* o *sleep*).

Tot i que no es pot saber amb seguretat, es calcula que l'any 2016 hi havia al món més de 100 milions de servidors físics dels quals Microsoft i Google en tenen més d'un milió cada un d'ells. El 2013, els centres de dades instal·lats als EUA van consumir 91 TWh (un 2.2 % del total d'energia generada al país) i s'estima que el 2020 serà el 3.5 %. També s'ha valorat [IEEE-2016] que les xarxes de comunicació van consumir el 5 % de l'energia generada el 2012 i que arribaran al 10 % el 2020.

El consum elèctric residencial dels habitants de Catalunya el 2014 va ser de 1.280 KWh per habitant i any [Idescat-2017c]. Un centre de dades típic consumeix uns 50 MW, que equival al consum residencial de 375.000 catalans (5 % de la població). De fet el super-computador MareNostrum instal·lat a la UPC té un consum pic de 28 kW [BSC-2017].

5.1.6 Les TIC i el cost d'oportunitat

El consum energètic ve determinat no només per limitacions físiques en la tecnologia TIC, sinó de manera molt important per decisions de disseny d'accés a recursos, és a dir, de software [Singh-2015] [Zhang-2014]. Lamentablement, la majoria de professió-nals de la programació desconeixen quin és l'impacte del software en el consum d'energia [Pang-2016]. Aquest impacte ve no nomes per la pròpia operació i algoritmes utilitzats amb la interacció del sistema operatiu, sinó també per decisions de més alt nivell, com la freqüència d'accés a recursos de xarxa o d'actualitzacions del propi programari, la qual

cosa causa un consum no només en el propi dispositiu que s'està actualitzant, sinó també en tots els elements de la xarxa involucrats.

Tanmateix, l'extensió d'aquestes tecnologies no significa que augmenti el consum d'energia i la contaminació global. El 2008, GeSI (Global e-Sustainability Initiative) va impulsar el primer gran informe que analitza les capacitats de les TIC per contribuir a crear una economia de baix carboni i a promoure la sostenibilitat des d'un punt de vista holístic [GeSI-2008]: inclou tant els impactes en el propi sector de les TIC com la seva incidència beneficiosa en altres sectors. El 2012 va seguir l'informe SMARTer-2020 [GeSI-2012] i, el 2015, l'informe SMARTer-2030 [GeSI-2015].

L'informe SMART-2020 [GeSI-2008] estima que les TIC passaran d'emetre 0,5 $GtCO_{2e}$ (milers de milions de tones de CO_2 equivalent) el 2002 sobre un total de 40,0 a emetre'n 1,43 $GtCO_{2e}$ el 2020 sobre una estimació de 51,9; tanmateix, també indica que les TIC tenen un potencial de reducció en altres sectors de 7,8 $GtCO_{2e}$, 5,5 vegades superior al que genera. El nou informe SMARTer-2020 [GeSI-2012] redueix les emissions de les TIC a 1,27 $GtCO_{2e}$ el 2020 i augmenta el potencial de reducció en altres sectors fins a 9,1 $GtCO_{2e}$ (7,2 vegades). Cal fer esment que els percentatges d'emissions de CO_{2e} del sector són indicadors de consum energètic.

El tercer informe, SMARTer-2030 [GeSI-2015] rebaixa les emissions de les TIC a 1,25 $GtCO_{2e}$ el 2030 alhora que estima, a través del desplegament de solucions TIC aplicades al conjunt de l'economia, un potencial de reducció en altres sectors de 12,1 $GtCO_{2e}$ (9,7 vegades), o sigui una reducció del 20 % de les emissions mundials de CO2e. Segons l'informe, les TIC podrien desvincular eficaçment el creixement econòmic del creixement de les emissions i generar una economia anual d'uns 9.000 milions d'€ (11.000 milions de US$).

Analitzar aquests "balanços energètics" és també una tasca molt complexa que requereix d'una metodologia que encara s'ha d'establir i consensuar, tal com s'assenyala en congressos científics com la International Conference on ICT for Sustainability.

De fet, molts experts apunten que la major importància de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) recau en el seu cost d'oportunitat: les TIC permeten diverses opcions de reducció de consum energètic en altres disciplines. El document SMARTer 2030 [GeSI-2015] cita els següents: 1) Millora de la mobilitat i la logística i eliminació de desplaçaments innecessaris (reducció de 3,6 $GtCO_{2e}$ el 2020); 2) Fabricació centrada en el client i cadenes de subministraments circulars (reducció de 2,7 $GtCO_{2e}$); 3) Agricultura intel·ligent per augmentar la productivitat i reduir el malbaratament d'aliments (reducció de 2.0 $GtCO_{2e}$); 4) Edificis intel·ligents amb estalvis de consums (reducció de 2,0 $GtCO_{2e}$); 5) Integració de les energies renovables i millora de l'eficiència (reducció d'1,8 $GtCO_{2e}$).

5.1.7 Resum en relació a les TIC i l'energia

En resum, la informació de la relació entre les TIC i l'energia és encara escassa i queden moltes qüestions per contestar. Tanmateix, comencen a aparèixer estimacions i estudis que en fan veure la seva magnitud:

Els sistemes micro i nano són inherentment de molt baixa entropia i la seva fabricació requereix molta energia. Es pot millorar el procés de producció però no eliminar la gran quantitat d'energia necessària per a disminuir l'entropia (principi de la física) [Mobbs-2010].

El cost energètic més gran dels sistemes TIC i de l'accessibilitat virtual està, doncs, en la fabricació dels dispositius electrònics més que en el seu ús: en una memòria de 2 MB, el 80 % de l'energia es consumeix en la fabricació i el 20 % en el seu ús durant 4 anys de vida [Williams-2004].

La major part dels dispositius estan fabricats a l'Àsia on l'electricitat prové encara majoritàriament del carbó i, després, són distribuïts per tot el món en vaixells operats amb petroli.

El consum energètic dels centres de dades que sostenen l'accessibilitat virtual és responsable d'emissions de gasos d'efectes hivernacle equivalents als generats per l'aviació [GeSI-2012].

Cal fer una més anàlisi acurada de fins a quin punt Internet de les coses (IoT, *internet of things*) augmenta els usos de l'energia i les emissions de CO_{2e} o els disminueix.

Altres aspectes que incideixen fortament en els usos energètics i en les emissions de CO_{2e} associades a les TIC no depenen tant de les tecnologies com de les dinàmiques i dels comportaments socials. En aquest aspecte és especialment rellevant la inducció d'obsolescència prematura a causa del canvi tecnològic o de qüestions com ara les modes.

5.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

5.2.1 Contribucions de la UPC en recerca i docència

El consum d'energia ha estat i segueix essent un dels objectius principals en projectes de recerca i en els plans d'estudi de l'àrea de les tecnologies de la informació i la comunicació, especialment pel que es refereix a les capes físiques de les comunicacions. En són exemples, entre d'altres: l'eficiència en antenes, el disseny de baix consum de circuits integrats, o la captació d'energia (*energy harvesting*) per a sistemes d'internet de les coses (IoT).

Encara que tots aquests temes es tracten en els plans d'estudi, probablement és necessari un enfocament més global que permeti educar les i els professionals que han de liderar la indústria TIC en les problemàtiques mencionades anteriorment. Com s'ha mencionat, no són només aspectes purament tecnològics, sinó també decisions de disseny i de conscienciació els que poden tenir un impacte més gran en la reducció del consum energètic. En aquest sentit, són d'una gran importància continuar impulsant assignatures i seminaris transversals sobre sostenibilitat i ètica.

També resulta interessant integrar en els plans d'estudis activitats d'aprenentatge-servei. Per exemple, el programa UPC-Reutilitza involucra els estudiants en temes de TIC i sostenibilitat i s'orienta a allargar la vida dels ordinadors descatalogats en base a reparar-los, posar-los a punt i donar-los a entitats sense afany de lucre.

Des de fa molts anys, diversos grups de recerca de la UPC desenvolupen una activitat intensa en la fabricació de cèl·lules de silici cristal·lí, bàsicament amb l'objectiu de desenvolupar tècniques de fabricació més eficients (per disminuir els costos). Per exemple, la UPC s'ha especialitzat en cèl·lules de silici cristal.li anomenades *Interdigitated Back Contact Solar Cells* (IBCs solar cells), que es caracteritzen per tenir el dos contactes de la cèl·lula en la cara posterior, deixant la cara frontal lliure d'ombres [Savin-2015]. Es preveu que en un futur proper aquest tipus de cèl·lula tindrà un paper important dins el mercat fotovoltaic. Les eficiències aconseguides a la UPC en aquestes cèl·lules solars IBCs és del 22 %, utilitzant contactes posteriors fabricats amb tecnologia làser. La tecnologia làser permet simplificar el procés de fabricació de la cèl·lula solar.

També es desenvolupen [Silvestre-2016] al mateix departament algoritmes de supervisió automàtica de sistemes fotovoltaics que permeten la detecció de problemes en aquests sistemes de forma remota i pràcticament en temps real. La monitorització remota del sistemes utilitza nous protocols i estàndards de comunicacions que permeten l'avaluació dels principals paràmetres per tal d'identificar possibles errors presents en el sistema PV de forma ràpida i reduir així les pèrdues en l'energia generada.

A la UPC també s'estan desenvolupant arquitectures de processadors de baix consum (Barcelona Supercomputing Center, Departament d'Arquitectura de Computadors); de fet l'evolució dels processadors en els darrers anys ha estat marcada per l'increment de rendiment per wattamb noves propostes que permeten reduir el consum dels microprocessadors i les memòries. El projecte més emblemàtic en aquest sentit és el projecte europeu MontBlanc l'objectiu del qual és dissenyar la tecnologia que permeti construir un supercomputador capaç d'obtenir un rendiment d'1 exaflop amb un consum inferior a 20 MW.

A la UPC es desenvolupen també protocols d'encaminament que permetin millorar l'eficiència de la xarxa tot reduint el número de col·lisions, la quantitat de dades del protocol i, per tant, l'energia consumida [Vazquez-2015].

També es duen a terme altres temes de recerca relacionats amb l'energia i les TIC centrats en el disseny de dispositius electrònics ultra-baix consum, tant digitals com de comunicacions de ràdio-freqüència [Garcia-Leyva-2016], en circuits de captació d'energia (*energy harvesting*) [Nunes-2016] i sistemes en un xip de gestió d'energia (*on-chip energy management circuits*). De fet el processat d'energia d'alta eficiència es realitza gràcies a les tecnologies TIC.

A la UPC es treballa també en el disseny de dispositius i circuits que processen la potència elèctrica generada amb alta eficiència energètica amb els mateixos processos tecnològics similars als involucrats en circuits TIC. El control d'aquests circuits és fonamental, entre altres, per adaptar amb baixes pèrdues d'energia una producció d'origen renovable a un consum que pot anar des d'un satèl·lit de comunicacions a un vehicle elèctric, o la injecció a la xarxa de distribució.

En termes generals es proposa continuar i potencial aquestes línies de treball tot tenint en compte els àmbits transversals en els que s'inclouen les propostes (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures).

5.2.2 Desenvolupament de tecnologies TIC

El desenvolupament de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) tenen algunes característiques especials que cal ressenyar:

En primer lloc, són tecnologies clarament a l'alça que experimenten creixements més intensos que la resta de sectors i que, darrerament, estan penetrant la resta de sistemes i d'activitats a través de la mineria de dates (*data mining*), les dades massives (*big data*) i internet de les coses (IoT, *internet of things*). Per tant, la seva incidència en l'energia i el medi ambient és creixent.

En segon lloc, la major part dels consums energètics i dels impactes ambientals queden amagats ja que la seva incidència durant l'ús és molt menor que durant el procés de fabricació. Falten criteris i eines per establir anàlisi del cicle de vida significatius.

I, en tercer lloc, el fet que les tecnologies de la informació i la comunicació usin materials molt escassos i costosos (terres rares i els anomenats minerals de sang: cassiterita (estany), wolframita (tungstè), coltan (tàntal), i el mineral d'or [Global-Witness-2009], entre d'altres) en quantitats molt petites en cada dispositiu (si bé se'n fabriquen milions d'unitats), no ha permès prendre consciència de la importància de la gestió de la fi de vida dels aparells (evitar l'obsolescència, fomentar els segons usos, reciclar els materials escassos).

En aquest apartat s'enumeren millores en les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) que poden redundar en una més gran eficiència i uns impactes més baixos dels dispositius, tant digitals com analògics, tant en la seva fabricació com en el seu ús, i també quan estan en mode d'espera (*standby*).

5.2.3 Usos i gestió de les tecnologies TIC

En els seus usos, les tecnologies de la informació i de la comunicació (TIC) tenen una doble incidència contradictòria en relació als recursos que utilitzen i els impactes ambientals que generen, fet que fa encara més interessant impulsar estudis per a conèixer-ho:

a) Per un costat, com totes les activitats humanes, les TIC requereix d'uns recursos (sovint, matèries molt escasses a la Terra) i d'una energia (l'informe [GeSI-2008] estima en 1,4 $GtCO_{2e}$, el 2,8 % de les emissions globals el 2020) i, per tant, una proporció semblant d'energia

b) Però, per altre costat, les TIC tenen un potencial per desmaterialitzar les activitats humanes i disminuir indirectament les emissions (l'informe [GeSI-2008] l'estima en 7,8 $GtCO_{2e}$, el 15 % de les emissions globals el 2020) i, per tant, disminuir una proporció semblant d'energia.

Finalment, una gestió adequada de les TIC pot evitar moltes activitats supèrflues o inútils. La recerca sobre la seguretat de les TIC, tant pel que fa a errors tècnics i humans com a atacs exteriors, té un gran interès per assegurar l'eficiència global (i energètica) del sistema productiu.

En aquest segon apartat, s'enumeren formes d'ús i de gestió de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) que, tant per la seva incidència sobre els propis sistemes com en la seva interacció amb altres sistemes, redundin en uns resultats més adequats, tant des dels punts de vista social com tecnològic.

5.2.4 Les TIC i l'accessibilitat

Com s'indica a l'inici del capítol anterior (4. *Accessibilitat, mobilitat i energia*), l'accessibilitat als llocs, als béns, als serveis, a la informació i al coneixement, en un sentit ample (física, a través de la mobilitat i, virtual, per mitjà de les TIC) és un dels valors bàsics de la humanitat i, alhora, és una condició bàsica de la participació de les persones i col·lectius humans i la seva inclusió social.

Si bé en temps històrics l'accessibilitat es basava fonamentalment en la mobilitat, avui dia les tecnologies de la informació i la comunicació tenen una incidència creixent en l'accessibilitat global (física i virtual) en molts casos col·laborant amb l'accessibilitat física, en d'altres casos competint-hi i, en d'altres, substituint-la.

Tot i que, en part, redundant amb el darrer apartat del capítol anterior, es ressenyen com a línies de treball de la UPC en l'accessibilitat des de la perspectiva de les TIC:

- Estudiar i proposar solucions per optimitzar el conjunt de l'accessibilitat física i la virtual
- Impulsar formes d'accessibilitat virtual universal, a tots els sectors socials i a tots els territoris, a fi de fomentar la participació ciutadana i d'assegurar la inclusió social.

5.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la transició vers un nou model energètic en l'àmbit de la Informació, Comunicació i Energia.

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:

- Costos i impactes (directes i indirectes) del cicle de vida de les TIC
- Nous mètodes de reciclatge
- Optimització de protocols d'encaminament (*routers*)
- Nous mètodes basats en les TIC i baix impacte ecològic
- Compatibilitat energètica i ambiental
- Seguretat dels sistemes TIC

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Proposar nous mètodes, nous materials per optimitzar l'energia requerida per fabricar circuits integrats, recerca sobre nous materials per fabricar circuits electrònics que permetin reduir la necessitat de terres rares, materials altament contaminants i/o materials provinents de zones en conflicte. Desenvolupar i millorar les tècniques de captació d'energia (*energy harvesting*).

II. Analitzar el cost d'oportunitat que suposa la intervenció de les TIC's en els processos d'estalvi i eficiència energètica en els diferents sectors d'activitat i avaluar les conseqüències tant de les fallades tècniques i humanes com dels atacs exteriors sobre l'eficiència global (i energètica) del sistema productiu.

6. Processos tecnològics i energia

Índex

6.1 Anàlisi de la situació i tendències

6.1.1 Processos tecnològics i energia útil
6.1.2 Usos tèrmics, motrius i elèctrics en l'energia útil
6.1.3 Processos industrials amb grans usos energètics
6.1.4 Eficiència tècnica i usos adequats
6.1.5 Energia i materials
6.1.6 Els temps i els llocs dels processos
6.1.7 Processos tecnològics i energia tèrmica

6.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

6.2.1 Processos d'obtenció de materials
6.2.2 Nova visió sobre els residus i la fi de vida
6.2.3 Processos claus per al nou model energètic
6.2.4 Transició en els processos tecnològics

6.3 Línies de treball futures de la UPC

6.1 Anàlisi de la situació i tendències

6.1.1 Processos tecnològics i energia útil

Un procés tecnològic és una seqüència ordenada i entrellaçada de procediments que, a partir d'uns recursos d'energia i matèries (en combinació amb coneixements), té per objecte obtenir béns o serveis útils per a les persones i les col·lectivitats humanes. Des d'un punt de vista econòmic, els processos tecnològics s'agrupen en sectors d'activitat.

La taula 1.2 del capítol 1 (i la taula 6.1 d'aquest capítol) mostren el repartiment de l'energia final (TFC o *Total Final Consumption* dels balanços d'IEA, combustibles comercials i electricitat, exclosos els usos no energètics) lliurada als usuaris segons els diferents sectors d'activitat. A escala mundial, s'observa que el sector industrial concentra la major part d'energia final, a poca distància, se situa el sector del transport, i els sectors residencial i de serveis (exclòs el transport) segueixen a més distància mentre que, els sectors primaris i no especificats, tenen una incidència energètica molt més petita.

Però, el que interessa en darrera instància és l'energia útil, la que mou els processos i les màquines, la que impulsa els vehicles, la que escalfa els edificis, o la que activa les tecnologies de la informació i la comunicació. Entre l'energia final i l'energia útil hi ha noves transformacions i pèrdues, ara en els propis processos dels usuaris (gasos de combustió, línies i transformadors elèctrics i, molt especialment, els gasos d'escapament en els motors tèrmics dels vehicles) que fan que l'energia útil sigui significativament menor que l'energia final.

Una estimació de l'energia útil es pot obtenir en base a l'energia final dels balanços d'IEA aplicant uns rendiments mitjans del 80 % en els usos finals tèrmics i elèctrics i del 25 % en els usos finals de mobilitat (taula 6.1). Fent-ho així, s'obté per al 2014 una energia útil mundial de 59.910 TWh/a, 59,9 % de l'energia final i 40,4 % de la primària (quasi el 60 % de l'energia es queda pel camí).

Quan s'analitza el repartiment de l'energia útil del món entre els diferents sectors d'activitat, la industria queda en una posició destacada amb el 42,0 % (creix 10,0 punts percentuals respecte a l'energia final) seguida del sector residencial amb el 30,0 % (creix 6,1 punts) i també creix en el sector serveis, 11,5 % (augment de 2,8 punts); en canvi, l'energia útil del sector del transport es redueix a tan sols 12,9 % del total i perd 17,7 punts percentuals respecte a l'energia final.

Amb més o menys intensitat, aquestes relacions es donen en tots els àmbits territorials i es deuen al fet que la major part de les pèrdues d'energia en el transport es realitzen en els processos termodinàmics dels motors tèrmics en els vehicles dels usuaris. Això és una bona notícia per a la transició energètica en el transport (molt dependent del petroli)

ja que la mobilitat elèctrica requereix entre 3 i 4 vegades menys d'energia de la dels carburants actuals.

Taula 6.1 Energia útil estimada segons àmbits territorials i sectors d'activitat (2014)

		Món	OCDE	No-OCDE	EU28	Espanya	Catalunya
Població	10^6 habitants	7.265	1.270	5.995	505	46,8	7,5
	% món	100,0 %	17,5 %	82,5 %	6,9 %	0,64 %	0,10 %
En. Primària (EP)	**TWh/a**	**148.140**	**58.720**	**89.410**	**17.930**	**1.410**	**265**
Per càpita	kWh/(hab·a)	20.390	46.190	14.910	35.500	30.160	35.230
	% món	100,0 %	39,6 %	60,4 %	12,1 %	0,95 %	0,18 %
Energia final (EF)	**TWh/a**	**99.980**	**40.090**	**59.890**	**12.570**	**1.000**	**175**
Per càpita	kWh/(hab·a)	13.760	31.530	9.990	24.910	21.360	23.140
	% EP	67,5 %	68,3 %	67,0 %	70,1 %	70,8 %	65,8 %
	% món	100,0 %	40,1 %	59,9 %	12,6 %	1,00 %	0,17 %
Agricult., pesca	% EF	2,3 %	1,9 %	2,6 %	2,3 %	3,2 %	2,7 %
Indústria	% EF	32,0 %	23,5 %	37,7 %	23,6 %	22,4 %	23,7 %
Serveis	% EF	8,7 %	13,9 %	5,1 %	13,0 %	10,3 %	10,6 %
Transports	% EF	30,6 %	39,9 %	24,3 %	36,3 %	46,0 %	49,9 %
Residencial	% EF	24,9 %	20,0 %	28,2 %	24,3 %	17,1 %	13,1 %
No especificat	% EF	1,5 %	0,8 %	2,1 %	0,4 %	1,1 %	0,0 %
Energia útil (EU)	**TWh/a**	**59.910**	**22.610**	**37.300**	**7.310**	**528**	**89**
Per càpita	kWh/(hab·a)	8.250	17.810	6.220	14.480	11.280	11.850
	% EF	59,9 %	56,4 %	62,3 %	58,1 %	52,8 %	51,1 %
	% EP	40,4 %	38,5 %	41,7 %	40,8 %	37,4 %	33,6 %
	% món	100,0 %	37,7 %	62,3 %	12,2 %	0,88 %	0,17 %
Agricult., pesca	% EF	1,9 %	1,4 %	2,1 %	1,9 %	2,9 %	1,6 %
Indústria	% EF	42,0 %	32,5 %	47,7 %	31,7 %	33,4 %	36,7 %
Serveis	% EF	11,5 %	19,7 %	6,5 %	17,8 %	15,5 %	16,5 %
Transports	% EF	12,9 %	17,7 %	10,0 %	15,9 %	22,0 %	24,8 %
Residencial	% EF	30,0 %	27,7 %	31,3 %	32,2 %	24,8 %	20,3 %
No especificat	% EF	1,8 %	1,0 %	2,4 %	0,4 %	1,4 %	0,0 %

EP = Energia primària; EF = energia final; EU = energia útil. S'han exclòs els usos no energètics.
***Fonts**: Món, OCDE, No-OCDE, Unió Europea (EU28) i Espanya [IEA-2016]; Catalunya [Idescat-2017a]*

El 2014, la indústria consumia el 32,5 % de l'energia útil en els països OCDE, el 47,7 % en els països No-OCDE (convertits en la fàbrica del món), el 31,7 % a EU28, el 33,4 % a Espanya i el 36,7 % a Catalunya. El usos residencials en energia útil són el 27,7 % del total d'energia útil en els països OCDE (més baix pel major pes del transport), 31,2 % en els països No-OCDE, el 32,2 % a EU28, el 24,8 % a Espanya i el 20,3 % a Catalunya (valor molt baix probablement degut al clima temperat i a l'elevada incidència del transport). Els sectors industrial i residencial sumats usen el 72,0 % de l'energia útil a escala mundial (quasi 3/4 parts), el 60,2 % en els països OCDE, el 79,0 % en els països No-OCDE, el 63,9 % a la EU28, el 58,2 % a Espanya i el 57,0 % a Catalunya.

A Catalunya, la diferència de percentatges entre l'energia final i la útil és molt gran a causa del pes molt elevat del transport en el mix energètic: el percentatge d'energia útil en la indústria és 13,0 punts superior al de l'energia final i se situa en primer lloc (36,7 %),

els dels sectors residencial i de serveis són 7,2 i 5,9 punts superiors, respectiva-ment, mentre que el del transport és 25,1 punts més baix i se situa en el segon lloc (24,8 %). De vegades la ciutadania tendeix a assimilar els usos energètics globals amb els residencials, quan aquests en són una part minoritària.

A Europa (EU28), els usos d'energia útil per càpita disminueixen entre 1990 i 2014 de 16.570 a 14.470 kWh/(hab·a) dels quals els que s'usen a les llars baixen de 5.220 a 4.470 kWh/(hab·a); en canvi, a Espanya, els usos d'energia útil per càpita augmenten entre 1990 i 2009 de 9.530 a 12.280 kWh/(hab·a) i, els de les llars, de 2.060 a 3.050 kWh/(hab·a) però, com en la resta d'Europa, de 2009 a 2014 l'energia útil per càpita disminueix a 11.290 kWh/(hab·a) i, la de les llars, a 2.980 kWh/(hab·a).

Alhora, cal ressenyar un augment dels usos elèctrics i de mobilitat on els carburants són la part dels combustibles fòssils (fonamentalment derivats del petroli) usats en motors de combustió interna (taula 6.2). Això ha comportat que, entre 1990 i 2014, l'eficiència de les transformacions entre energia primària i energia útil en el món hagi disminuït de 43,2 % a 40,4 % degut als efectes molt dissipadors de la generació elèctrica i de la tracció de vehicles quan provenen de combustibles. En més o menys grau aquesta disminució ha tingut lloc a tots els àmbits territorials i, en concret a Catalunya, ha estat de 39,7 % el 2005 a 33,6 % el 2014 (en base a [Idescat-2017a]).

Taula 6.2 Evolució dels % d'electricitat i de carburants en l'energia final (2014)

Any	MÓN		OCDE		No-OCDE		EU28		Espanya		Catalunya	
	Electr.	Carbu.	Electr.	Carbu.	Electr.	Carbu.	Electr.	Carbu.	Electr.	Carbu.	Electr.	Carbu.
1990	14,4 %	29,2 %	18,8 %	37,7 %	9,8 %	20,6 %	17,9 %	32,7 %	18,2 %	45,5 %		
2005	18,0 %	32,3 %	22,0 %	40,7 %	14,2 %	24,2 %	19,8 %	35,6 %	19,9 %	47,0 %	22,1 %	48,1 %
2014	19,8 %	31,8 %	23,3 %	41,1 %	17,6 %	25,6 %	21,5 %	37,3 %	22,7 %	47,6 %	23,6 %	51,8 %

Els percentatges de carburants no coincideixen amb els del transport ja que també s'usen en els sectors de l'agricultura, la pesca i de no-especificats on s'hi comptabilitzen els exèrcits. Fonts: [IEA-2016], [Idescat-2017a]

6.1.2 Usos tèrmics, motrius i elèctrics en l'energia útil

A més d'analitzar els usos energètics en els tres nivells d'energia (primària, final i útil) en els diferents sectors d'activitat (indústria, serveis, residencial, transport i altres), també és bo de conèixer el repartiment de l'energia útil en termes d'usos tèrmics, de mobilitat i elèctrics (taula 6.3).

Taula 6.3 Repartiment de l'energia útil entre usos tèrmics, de mobilitat i elèctrics (2014)

	MÓN			OCDE			No-OCDE		
	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics
Total sect.	**60,4 %**	**13,5 %**	**26,1 %**	**49,1 %**	**18,3 %**	**32,6 %**	**67,2 %**	**10,6 %**	**22,1 %**
Sect. Prim.	33,2 %	17,3 %	49,5 %	20,9 %	25,4 %	53,7 %	37,3 %	14,7 %	48,0 %
Indústria	73,2 %	0,0 %	26,8 %	67,5 %	0,0 %	32,5 %	75,5 %	0,0 %	24,5 %
Serveis	49,1 %	0,0 %	51,1 %	47,0 %	0,0 %	53,0 %	52,8 %	0,0 %	47,2 %
Transport	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
Residencial	76,1 %	0,0 %	23,9 %	62,7 %	0,0 %	37,3 %	83,3 %	0,0 %	16,7 %
	EU28			Espanya			Catalunya		
	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics	Tèrmics	Mobilitat	Elèctrics
Total sect.	**54,6 %**	**16,5 %**	**29,0 %**	**43,3 %**	**22,9 %**	**33,8 %**	**37,9 %**	**26,0 %**	**36,1 %**
Sect. Prim.	47,3 %	26,8 %	25,9 %	42,4 %	22,3 %	35,4 %	3,6 %	75,4 %	20,9 %
Indústria	65,6 %	0,0 %	34,4 %	67,5 %	0,0 %	32,5 %	60,2 %	0,0 %	39,8 %
Serveis	50,5 %	0,0 %	49,5 %	31,4 %	0,0 %	68,6 %	24,6 %	0,0 %	75,4 %
Transport	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
Residencial	73,3 %	0,0 %	26,7 %	56,7 %	0,0 %	43,3 %	57,4 %	0,0 %	42,6 %

Percentatges sobre el total d'usos energètics de cada sector. Fonts: [IEA-2016], [Idescat-2017a]

Els primers es refereixen als usos explícitament tèrmics (calor obtinguda a través de la crema de combustibles, energia termosolar); els segons a l'energia que té per objecte impulsar els vehicles (carburants i la petita fracció de tracció elèctrica); i, els tercers, els usos que es canalitzen a través de l'electricitat (exclosa la tracció elèctrica) que són bàsicament: il·luminació, electrodomèstics (incloent també cuines, escalfadors d'aigua i calefaccions elèctriques), aparells electrònics, informàtics i de comunicació, accionaments de màquines, així com altres processos de la indústria o dels serveis que es basen en l'electricitat (escalfaments per resistència, forns d'inducció).

El 2014 a escala mundial, el 60,4 % dels usos d'energia útil són explícitament tèrmics, una mica més de la quarta part (el 26,1 %) es basen en l'electritzat i tan sols el 13,5 % són de mobilitat. Des de 1990, el percentatge d'usos elèctrics a escala mundial ha guanyat 7,8 punts i, el dels usos de mobilitat, 1,1 punts, percentatges que se sostrauen dels usos tèrmics. Els dos sectors d'activitat que usen més energia es decanten clarament pels usos tèrmics: el residencial (76,1 %) i l'industrial (73,2 %). El sector de serveis quasi reparteix els usos a parts igual (49,1 % tèrmic i 50,9 % elèctric) mentre que, en el transport, tots els usos són de mobilitat. Des de 1990, destaca el creixement percentual dels usos elèctrics en els serveis (increment de 13,2 punts), el sector residencial (8,1 punts) i la Indústria (5,4 punts).

Els percentatges d'usos elèctrics en els sectors de serveis, residencial i industrials dels països OCDE (53,0 %, 37,3 % i 32,5 %, respectivament) són més elevats que en els països No-OCDE (47,2 %, 16,7 % i 24,5 %, respectivament) on cal destacar la diferència de més de 20 punts en el sector residencial. Catalunya (més que Espanya i Europa) és un país amb percentatges d'usos elèctrics especialment elevats (75,4 % en els serveis,

42,6 % en el sector residencial i 39,8 % en la indústria), en part, gràcies al menor pes de les calefaccions.

6.1.3 Processos industrials amb grans usos energètics

La indústria és el sector que usa més energia útil i, per tant, convé especialment analitzar quins dels seus subsectors hi contribueix de forma més destacada . La taula 6.4 presenta l'ús de l'energia final i de l'energia útil en la indústria per a EU28 i Espanya [IEA-2016] i per a Catalunya [Idescat-2017a], així com el repartiment percentual de l'energia final entre els principals subsectors industrials per a EU28 i Espanya [Eurostat-2017] i per a Catalunya [ECESI-2011].

Taula 6.4 Usos d'energia final en la indústria i subsectors

Sector Industrial i subsectors	EU28 (2014)		Espanya (2014)		Catalunya (2011)	
	Energ. final TWh	Electricitat %	Energ. final TWh	Electricitat %	Energ. final TWh	Electricitat %
Indústria (energia final)[1]	**2.980**		**223,6**		**41,2**	
% energia final total	23,6 %		22,4 %		23,7 %	
Indústria (energia útil)[1]	**2.320**	33,5 %	**176,2**	32,9 %	**32,6**	37,8 %
% energia útil total	31,7 %		33,4 %		36,7 %	
Química i petroquímica	19,3 %	31,6 %	20,8 %	20,2 %	27,5 %	40,3 %
Vidre, ceràmica i ciment	12,6 %	18,0 %	16,6 %	15,5 %	19,6 %	14,2 %
Alimentació i tabac	10,4 %	36,7 %	10,7 %	46,7 %	16,8 %	35,8 %
Paper i arts plàstiques	11,0 %	29,7 %	8,9 %	30,1 %	10,1 %	32,9 %
Transformats metàl·lics	9,9 %	57,9 %	6,2 %	61,1 %	8,1 %	62,7 %
Siderúrgia i metal·lúrgia	23,1 %	26,2 %	19,7 %	50,6 %	7,4 %	51,1 %

[1] *En negreta es donen els valors dels usos energètics en TWh.*
Fonts: EU28 i Espanya, [IEA-2016] i [EUROSTAT-2016]; Catalunya, [Idescat-2017] i [ECESI-2011]

Els sis subsectors que concentren la major part del consum d'energia són (segons l'ordre de prioritat a Catalunya): química i petroquímica; vidre, ceràmica, ciment; paper i arts gràfiques; alimentació i tabac; transformats metàl·lics; i siderúrgia i metal·lúrgia. Sumen 86,4 % a Europa, 82,9 % a Espanya i 89,5 % a Catalunya. A excepte dels transformats metàl·lics (fora de Catalunya, el menys consumidor d'energia útil), els altres cinc subsectors corresponen a la fabricació de materials i on els usos elèctrics són una part minoritària, essent la resta usos tèrmics.

A Catalunya destaca la indústria química (27,5 %) seguida de la del vidre, ceràmica i ciment (19,6 %), mentre que a Espanya les dues primeres posicions quasi equilibrades són la indústria química i petroquímica (20,8 %) i la siderúrgia i metal·lúrgia (19,7 %) i a Europa, en posició invertida la siderúrgia i metal·lúrgia (23,1 %) i la química i petroquímica (19,3 %).

En els darrers anys, el pes de l'ús d'energia a la indústria en relació al conjunt dels sectors econòmics ha disminuït a Europa, Espanya i Catalunya en termes absoluts i relatius. En el seu si, alguns subsectors han pres més relleu i d'altres n'han perdut.

A Europa entre 1990 i 2014, guanyen pes en el consum d'energia final del sector indústria els subsectors de paper i arts gràfiques (+3,9 punts) i d'alimentació i tabac (+3,3 punts) i en perd el de siderúrgia i metal·lúrgia (-4,6 punts); a Espanya en el mateix període, en guanyen els de vidre, ceràmica i ciment (+4,9 punts, inclou el boom de la construcció) i d'alimentació i tabac (+3,6 punts) i en perd també el subsector de siderúrgia i metal·lúrgia (-8,1 punts). I, a Catalunya, en un període més curt (2000-2011, segons l'enquesta [ECESI-2011] de l'ICAEN, Institut Català de l'Energia de Catalunya), en guanyen els subsectors de química i petroquímica (+4,8 punts) i d'alimentació i tabac (+4,8 punts) i en perd el de vidre, ceràmica i ciment (-6,4 punts).

Tanmateix, hi ha un aspecte destacat de l'enquesta ECESI que cal posar de relleu: un nombre reduït d'empreses de Catalunya (i d'altres àmbits territorials) absorbeix la major part de l'energia final del sector industrial (les proporcions són semblants en l'energia útil). De les 42.580 empreses industrials que hi havia a Catalunya el 2011, 196 d'elles, cada una amb usos energètics globals superiors a 29.100 MWh per any (2,5 kTOE/a) utilitzen en conjunt el 71,6 % de l'energia industrial (i el 26,9 % de tota l'energia del país), amb un valor mitjà de 122.300 MWh cada una. De les 196 indústries, 53 són químiques (24,5 % de tota l'energia industrial), 6 cimenteres (10,7 %), 50 d'alimentació (10,1 %) i 19 papereres (7,7 %): o sigui, 128 indústries d'aquests 4 subsectors usen el 53,6 % de l'energia final industrial i de l'ordre del 19,3 % de tota l'energia útil de Catalunya.

Això fa pensar que un dels punts prioritaris de les accions per a la transició energètica serà impulsar la revisió dels processos tecnològics d'aquestes indústries per millorar-los.

6.1.4 Eficiència tècnica i usos adequats

En les activitats humanes, l'energia recorre uns itineraris amb dues parts ben definides: la primera va des de l'obtenció de l'energia primària fins a la seva transformació en energia útil; la segona és la utilització de l'energia útil fins a obtenir els béns i els serveis que necessitem i desitgem els humans.

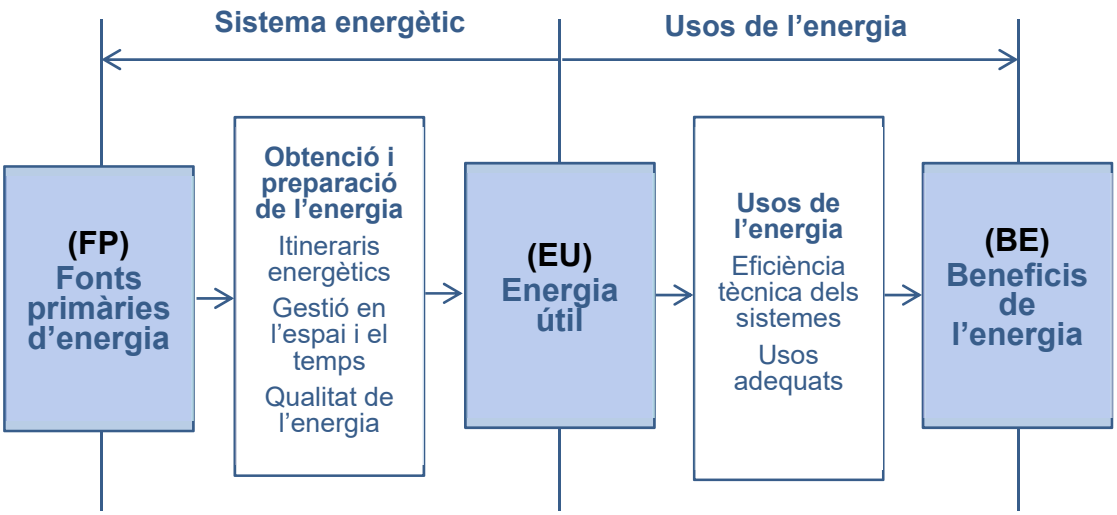


Figura 6.1 Sistema energètic i usos de l'energia

Primera part de l'itinerari: sistema energètic

En el context actual, una part essencial del sistema energètic està en mans d'un potent sector de l'energia (la major part, format per oligopolis relacionats amb recursos energètics no renovables) que realitza els primers passos fins als vectors energètics que configuren l'energia final (combustibles comercials i electricitat); però també completen aquestes transformacions una part important dels processos dels usuaris (especialment en el transport) fins a l'energia útil. Segons les dades de la taula 6.1, a escala mundial, el sector de l'energia dissipa un 32,5 % de l'energia primària i les transformacions en els processos dels usuaris fins a l'energia útil en dissipa un altre 27,1 %; en conjunt el 59,6 %.

En el sistema energètic del futur en base a fonts renovables i distribuïdes (termosolar, fotovoltaica, eòlica, hidràulica, biomassa), on una part substancial correspondrà a la captació per a usos propis (o autoconsum), tant de forma individual com col·lectiva, s'hauran d'establir nous objectius (entre ells l'emmagatzematge d'energia) i noves funcions empresarials.

Segona part de l'itinerari: eficiència tècnica i usos adequats

Si bé la migració del sistema energètic vers fonts renovables és imprescindible per a la transició energètica, la millora en els usos de l'energia a través de l'eficiència (relació entre els recursos empleats i els resultats obtinguts) en els processos tecnològics i l'eficàcia (capacitat de produir l'efecte volgut) o els usos adequats en les activitats humanes poden proporcionar efectes tant o més substancials que els primers (vegeu l'esquema de la transició energètica en la Figura 6.2).

Així, doncs, en l'àmbit de la utilització de l'energia hi ha dues vies de millora complementàries: a) Augmentar l'eficiència tècnica dels processos i artefactes (aspecte connectat a les millores tècniques); b) Promoure usos més adequats (aspecte connectat amb als comportaments socials i a les formes d'organització i de gestió). Sovint, els millors resultats s'obtenen amb la combinació de les dues línies. En general, en les societats desenvolupades es tendeix a oblidar que, sense un canvi de comportaments i de formes d'organització individual i col·lectiva, les millores d'eficiència tècnica són absorbides per la deriva vers usos cada cop menys adequats (efecte rebot, o paradoxa de Jevons).

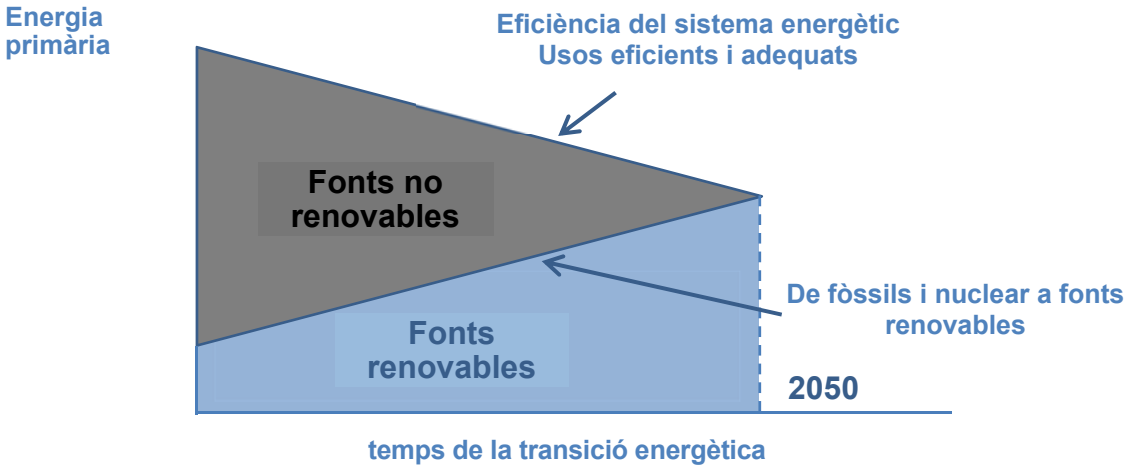


Figura 6.2 Esquema de l'evolució vers la transició energètica

Aquestes accions s'il·lustren amb dos exemples: en un sistema d'il·luminació, pot ser tant o més efectiu substituir làmpades incandescents per làmpades de baix consum (millor eficiència) i/o restringir l'ús de la il·luminació només quan se la necessita (millor eficàcia i usos més adequats), que simplement subministrar més electricitat, encara que sigui renovable; i, en mobilitat, també pot ser tant o més efectiu disminuir les resistències del vehicle (al rodolament, a la penetració a l'aire) (millor eficiència) i/o fomentar l'ús del transport col·lectiu en les ciutats (millor eficàcia i usos més adequats), que no pas centrar l'atenció en generar més energia per mantenir el sistema, encara que sigui renovable.

6.1.5 Energia i materials

La fabricació de productes consisteix en la transformació de matèries primeres en productes físics que responguin a les necessitats o als desitjos dels humans. La fabricació sol constar de nombroses operacions però, en molts casos (edificis, construc-cions, maquinària, vehicles, electrodomèstics, equips electrònics), es poden agrupar en dues

grans etapes: 1) La fabricació dels materials (metalls, ceràmiques, polímers, vidre, paper); 2) La conformació dels materials i el muntatge per donar lloc al producte pròpiament dit.

Diverses anàlisi de cicles de vida assenyalen que l'energia invertida en els materials dels artefactes físics sol ser la part determinant. Per exemple, la construcció d'un automòbil mitjà requereix de l'ordre de 100 GJ d'energia (equivalen a 27.800 kWh o a 3.100 litres de gasolina); d'aquesta energia, aproximadament el 80 % s'usa per obtenir els materials (acer, alumini, plàstics, cautxús, vidre) i el 20 % per la construcció pròpiament dita. O, un habitatge mitjà en un país desenvolupat requereix uns 500 GJ (uns 5 cops més que l'automòbil) i, en aquest cas, també l'obtenció dels materials (ciment, ceràmica, ferro, alumini, polímers, vidre) absorbeixen més de les 3/4 parts dels requeriments globals d'energia. Més extrem és la fabricació del material electrònic que pot ser diverses vegades l'energia que consumirà en el funcionament durant tota la seva vida.

Això concorda amb el fet que els sectors d'activitat que usen més energia són els relacionats amb la transformació de les matèries primeres en materials i els seus processos són els que cal revisar en primer lloc. També cal preguntar-se si els usos que fem dels materials són els més adequats des del punt de vista energètic i si no hauríem d'usar altres materials o solucions alternatives.

Per altre costat, la reutilització (per exemple, d'envasos de vidre) i el reciclatge (especialment dels metalls, paper i plàstic) tenen una gran incidència energètica. Molts dels materials, més enllà de la seva escassedat i dels impactes ambientals que originen els seus residus, són dipositaris de quantitats importants d'energia en la seva primera obtenció (*energia grisa*, *incorporada* o *embotida*). En canvi, el seu reciclatge sol requerir quantitats inferiors (en l'alumini, menys del 20 %; llençar una llauna d'alumini enlloc de reciclar-la vol dir perdre l'energia que faria moure un autobús 400 metres). La reutilització i el reciclatge, doncs, signifiquen estalvis energètics.

Tanmateix, cal ponderar la tendència actual de forçar la substitució de productes per altres menys consumidors, escurçant artificialment les seves vides (amb efectes anàlegs a l'obsolescència programada), considerant tan sols els consums energètics durant l'ús. L'energia invertida també compta, fet que és especialment important en sistemes com els electrònics.

6.1.6 Els temps i els llocs dels processos

Els combustibles fòssils i l'urani són finits i contaminants però, gràcies a la seva alta densitat d'energia i al fet de ser energies d'estoc, ens han acostumat a configurar els assentaments i les activitats humanes independentment de condicionants de lloc i de temps.

Les energies renovables són infinites a l'escala de temps humana i no contaminants, però el seu caràcter d'energies distribuïdes i de flux tornen a introduir (com abans de la Revolució Industrial) importants condicionaments territorials i de temps. És imprès-cindible desplegar sistemes d'emmagatzematge massius d'electricitat i de calor que, alhora, poden facilitaran una gestió energètica més semblant a l'actual. D'aquí la seva importància estratègica.

El fet d'acumular energia per utilitzar-la més endavant origina dissipacions molt més grans que no pas la utilització directa. Per a l'energia elèctrica, l'emmagatzematge en bateries i centrals hidràuliques reversibles és bastant eficient (entre 70 % i 80 %) però la quantitat emmagatzemada i el temps d'emmagatzematge són limitats en relació a les necessitats del sistema energètic d'un país; en canvi, l'emmagatzematge per mitjà de la seva transformació en hidrogen permet emmagatzemar quantitats d'energia molt més elevades i en temps molt més perllongats; el rendiment electricitat-hidrogen-electricitat és molt més baix (de l'ordre de 35 %) si bé permet també la possibilitat d'aprofitar el seu sobrant tèrmic (cogeneració).

En l'àmbit de la utilització de l'energia, una part important del problema es pot resoldre a través dels processos tecnològics d'utilització des d'una doble perspectiva: a) Situar els grans usuaris d'energia on hi ha les condicions més favorables per a la captació de les fonts d'energia renovable (salts d'aigua, superfícies solejades, vents constants, biomassa propera) ; b) Adequar la temporalitat de les activitats a la disponibilitat on-line d'energies renovables; per exemple, seria lògic que els grans usuaris d'energia procedissin a organitzar els seus sistemes productius per aprofitar l'energia solar de l'estiu, i reservessin les activitats de menys demanada energètica durant l'hivern.

Aquest és un camp encara per explorar i, tot i que els beneficis poden ser molt importants, té una gran incidència en els comportaments de les persones i les formes d'organització. A priori, és difícil de predir quines solucions seran més eficaces i donaran més bons resultats. Probablement la millor estratègia serà avançar en totes aquestes línies en paral·lel: emmagatzematge, localització d'activitats i adaptació temporal.

6.1.7 Energia tèrmica en el nou sistema renovable

Com s'ha vist en els punts 3 a 5, l'energia tèrmica és més de la meitat de l'energia útil destinada als processos tecnològics dels diferents camps d'activitats, amb una incidència especial en els sectors industrial i residencial. En els itineraris energètics actuals, el 92,5 % de l'energia passa per un estadi tèrmic i això facilita aquests usos, mentre que la mobilitat i una part molt important de l'electricitat s'obtenen majoritàriament d'energia tèrmica per mitja de transformacions que comporten dissipacions importants (a escala mundial, de mitja 66 % de pèrdues en la producció d'electricitat i 80 % de pèrdues en els motors tèrmics per moure els vehicles).

Amb la progressiva substitució dels combustibles fòssils per fonts d'energies renovables que s'obtenen directament en forma d'electricitat (hidràulica, eòlica, fotovoltaica), s'inverteix la situació de manera que, en el nou sistema energètic, una part important de la calor que requereixen els processos dels diferents sectors d'activitat s'haurà d'obtenir a partir de l'electricitat; una altra part, també significativa, provindrà dels sistemes termosolars (col·lectors plans i concentradors) i d'un aprofitament sostenible de la biomassa.

Cal distingir diverses aplicacions de l'energia tèrmica segons la temperatura: *a*) La calor a baixes temperatures fins a 60ºC (fonamentalment, la calefacció d'espais i l'aigua calenta sanitària i de processos de rentat i de neteja); *b*) Processos que requereixen calor a temperatures mitjanes, compreses entre 60ºC i de 250 a 300ºC (aigua molt calenta, vapor d'aigua, oli tèrmic, normalment en processos industrials); *c*) Processos d'altes temperatures, superiors a 250ºC (entre d'altres, processos metal·lúrgics, d'assecatge de minerals, d'obtenció de polímers, de ceràmica i de ciment).

La calor a baixa temperatura és pot obtenir: *a*1) Directament de la radiació solar (col·lectors termosolars plans, paret trombe) amb rendiments superiors al 75 % sobre la radiació incident; l'energia es pot mantenir un cert temps amb acumuladors tèrmics; totes elles són tecnologies de baixa complexitat i cost; *a*2) Per mitjà de bomba de calor (calefaccions i aigua calenta sanitària i aigua refrigerada): requereix energia elèctrica però el rendiment en energia tèrmica pot ser diverses vegades més gran (COP de 3 a 6; *Coefficient of Performance*).

La calor a temperatures mitjanes es pot obtenir: *b*1) De col·lectors termosolars concentradors (si no cal vapor, és millor utilitzar oli tèrmic per evitar circuits amb fluids sota pressió); *b*2) Amb bombes de calor específiques amb valors de COP elevats; *b*3) La combustió de l'hidrogen o de resistències elèctriques (depenent d'aquests recursos), amb rendiments propers a 1; *b*4) Quant a l'escalfament i cocció d'aliments s'han desenvolupat un conjunt de tecnologies específiques basades en l'electricitat (resistència, inducció, microones)

La calor a altes temperatures es pot obtenir per: *c*1) Escalfament amb resistències elèctriques o per inducció electromagnètica (diversos processos industrials); *c*2) Combustió d'hidrogen en càmeres a molt altes temperatures: l'obtenció de l'hidrogen per electròlisi, el seu emmagatzematge i la posterior combustió poden tenir un rendiment del 65 % respecte l'electricitat renovable.

En l'àmbit de l'energia tèrmica caldrà fer esforç addicional: si bé algunes de les tecnologies són conegudes i provades (col·lectors termosolars, climatització passiva d'edificis), d'altres tecnologies (bomba de calor, l'hidrogen com a combustible) permeten un recorregut molt important de millora en la seva implantació. La biomassa és un recurs energètic que es pot aplicar tant a baixa, com mitjana i alta temperatura, però el seu ús s'ha de supeditar a les necessitats d'una gestió adequada dels boscos i de l'agricultura.

6.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

L'especialització pròpia del món universitari dels darrers temps ha proporcionat una gran capacitat d'anàlisi i de coneixement sobre processos tecnològics concrets però, en ser suportats per una energia fins fa poc abundant i barata, en molt casos s'ha obviat una visió més àmplia que inclogui, entre altres, l'energia més enllà de la repercussió dels seus costos.

En la perspectiva de l'exhauriment dels recursos no renovables i del canvi climàtic, el punt de vista des dels processos tecnològics invita a l'exercici revisar els coneixements i a bastir una nova visió global que tingui en compte les nostres bases de subsistència.

La Universitat Politècnica de Catalunya i els seus membres tenen competències en la major part d'àmbits tecnològics (de forma especial, en el de l'energia) a través de les activitats d'educació, de recerca i de col·laboració exterior. Per tant, estan en les millors condicions per promoure una nova concepció dels processos tecnològics en la perspectiva de la sostenibilitat i de la *transició vers un nou model energètic*.

En termes generals es proposa, tot tenint en compte els àmbits transversals en els que s'inclouen les propostes (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures).

6.2.1 Processos d'obtenció de materials

Com s'ha pogut constatar, una de les activitats que més energia requereixen i que més impacten sobre els sistemes naturals és l'obtenció de materials.

En molts productes, com ara edificis i infraestructures o béns durables i maquinària, el repartiment de l'energia invertida en la seva producció (o energia grisa) recau en una part molt més gran en la que s'utilitza per obtenir els materials (ceràmiques, metalls, polímers) que no pas la que s'utilitza en la transformació d'aquests materials per configurar-los.

Per altre costat, les matèries bàsiques de les que s'obtenen els materials solen comportar activitats extractives de mineria subterrània o a cel obert amb forts impactes territorials i ambientals sobre els sòls, les aigües i l'atmosfera, però que solen quedar allunyades i ocultes de gran part de la ciutadania cada cop més concentrada en les ciutats.

Probablement, un dels casos més extrems són els sistemes electrònics que suporten les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) on en els requeriments d'energia en la seva fabricació solen ser molt superiors a l'energia consumida durant tota la seva vida, i alguns dels materials (terres rares, metalls preciosos, tungstè, tàntal) procedeixen d'extraccions mineres molt conflictives.

Un altre camp en el qual convé parar atenció és en la producció primària d'aliments. Les plantes cultivades capten l'energia de la irradiació solar i incorporen CO_2 de l'atmosfera i materials dels sòls en base a incidir en extensions de territori molt importants (uns 2.200 m^2 per persona). El treball de l'agricultor que, bàsicament, ha estat preparar les condicions i conduir el creixement de les plantes en benefici propi, avui dia s'ha industrialitzat amb la incorporació d'inputs artificials que forcen els cicles naturals per augmentar la productivitat.

La ramaderia, la pesca, l'aqüicultura i l'explotació dels boscos (per a fusta i per a biomassa) tenen característiques anàlogues a les de l'agricultura.

Tot això fa pensar que cal una revisió prioritària dels processos que condueixen a la producció de les matèries primeres.

6.2.2 Nova visió dels residus i la fi de vida

El model econòmic del desenvolupament creixent, suportat per l'energia abundant i barata dels combustibles fòssils, s'ha centrat en la producció de béns i ha oblidat on va a parar allò que no volem. I, un dels aspectes més conflictius a què ha conduït aquesta situació són els residus i els artefactes que han arribat a la fi de vida.

La vida ha estat possible sobre una Terra aïllada perquè els materials es reciclen: l'oxigen i el CO_2, l'aigua, el nitrogen i altres elements; en definitiva, la matèria orgànica morta (vegetals i animals) proporciona els materials de la nova matèria viva. Les plantes verdes tenen la missió de sintetitzar nova matèria viva a partir de la llum solar i nutrients que, al seu torn, alimenten animals vegetarians, carnívors on l'home es troba al vèrtex d'aquesta cadena tròfica.

L'actual crisi energètica i ambiental ens posa de manifest que en l'economia de cicles oberts que hem fomentat en els darrers decennis (extreure, produir i llançar) toca a la seva fi. Tant és així que la Comissió Europea ja ha endegat un paquet sobre economia circular amb la proposta de diverses directives [UE-2015].

La visió dels processos tecnològics des del punt de vista dels residus i de la fi de vida té un important caràcter revulsiu en la perspectiva de la *transició vers un nou model energètic*.

6.2.3 Processos claus per al nou model energètic

En les diferents camps d'activitats s'entreveuen determinades tecnologies que seran claus per a la *transició vers un nou model energètic*: algunes d'elles tecnologies ja són madures i d'altres es troben en diferents fases de desenvolupament. En tot cas, la seva implantació massiva requerirà una important etapa d'experimentació social: la

constatació de la seva acceptació per part de la població, i ajustos en aspectes tècnics i en les formes d'ús.

6.2.4 Transició en els processos tecnològics

A partir d'experiències relacionades amb la implantació d'energies renovables en administracions i empreses (especialment industrials), apareixen els següents criteris per transformar els processos tecnològics en el camí de la *transició vers un nou model energètic*:

- **Criteri 1:** Revisar, en primer lloc, els processos des del punt de vista de l'energia i els recursos utilitzats. En la major part dels casos es detecten possibilitats de millores substancials
- **Criteri 2:** Establir sinèrgies entre sortides i les entrades dels diferents processos en el si de les pròpies organitzacions o del seu entorn (per exemple, en el marc dels polígons industrial) i fomentar l'economia circular. En especial, cal estudiar les possibilitats de reutilització i de reciclatge
- **Criteri 3:** Destinar preferentment l'energia renovable obtinguda d'autogeneració a alimentar els processos de la pròpia organització o de l'entorn. A més d'estalvis econòmics, té efectes molt positius en l'aprenentatge sobre eficiència i l'eficàcia
- **Criteri 4:** Convé plantejar els itineraris energètics més curts (captació d'energia tèrmica per als usos tèrmics i d'energia elèctrica per a usos elèctrics), i procurar adaptar la temporalitat de les activitats a la disponibilitat de les energies renovables
- **Criteri 5:** La captació solar tèrmica és molt més eficient (de 50 a 70 % de l'energia radiant incident) que la fotovoltaica (avui dia, de l'ordre de 15 %). Cal prioritzar la captació tèrmica en els múltiples processos que requereixen energia tèrmica de baixa o mitja temperatura
- **Criteri 6:** Durant el període de transició energètica caldrà crear, en el possible, sistemes en què l'alimentació amb energies renovables sigui compatible amb l'ús d'energies no renovables tradicionals que puguin actuar com a complementàries.

6.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit dels Processos Tecnològics i Energia:

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:

- Impulsió de formes d'avaluació energètica i ambiental de productes i processos, especialment a través de l'anàlisi de cicle de vida (ACV)
- Revisió i optimització de processos i serveis, preferentment d'empreses amb grans consums energètics.
- Noves alternatives de millora i optimització dels processos actuals.
- Integració d'energies renovables a nous processos tèrmics d'alta temperatura.

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Establir llistes de referència de materials en diferents camps pel que fa als requeriments energètics en la seva obtenció, als impactes territorials i mediambientals que generen, així com el grau d'escassetat o conflictes socials i geoestratègics en els seus llocs d'origen, com a base per a fer-ne un ús més responsable.
II. Optimitzar (o desenvolupar alternatives), des del punt de vista de l'energia i dels impactes ambientals, per a aquells processos d'obtenció de materials (ceràmica, ciment i vidre, productes metal·lúrgics, química, paper, entre d'altres) que es produeixen en els àmbits territorials més propers (català, espanyol, europeu).
III. Impulsar l'anàlisi dels residus i dels productes més massius a la fi de vida dels (orgànics agrícoles i ramaders, envasat d'aliments i d'higiene, material sanitari, càterings, electrodomèstics, material d'oficina, automòbils) i establir criteris per eliminar-los o disminuir-los en origen i, en tot cas, reutilitzar-los fomentant els segons usos i, en darrer terme, reciclar els materials.
IV. Impulsar la revisió dels processos tecnològics a fi que minimitzin l'ús d'energia i d'altres recursos i d'adaptar-los a les noves fonts. Desenvolupar una guia de transformació de processos tecnològics.

7. Sistema energètic i governança

Índex

7.1 Anàlisi de la situació i tendències

7.1.1 El sistema actual, concentrat en poques mans

7.1.2 Pèrdues en el sistema energètic

7.1.3 De la combustió a la generació elèctrica

7.1.4 D'energies d'estoc a energies de flux

7.1.5 L'emmagatzematge d'energia, factor estratègic

7.1.6 Distribució, escalabilitat i participació

7.1.7 L'energia útil i la transició energètica

7.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

7.2.1 Formació per a la transició energètica

7.1.2 Estudis sobre els nous requeriments energètics

7.2.3 Nova relació entre energia i territori

7.2.4 Recerca en estalvi de recursos i energia

7.2.5 Recerca sobre energies renovables

7.2.6 Recerca sobre emmagatzematge d'energia

7.2.7 Recerca en gestió de xarxes i tarificació

7.2.8 La UPC, plataforma d'experiències pilot

7.3 Línies de treball futures de la UPC

7.1 Anàlisi de la situació i tendències

7.1.1 El sistema actual, concentrat en poques mans

El *sistema energètic* és el conjunt d'instal·lacions i processos destinats a captar *energia primària* de les fonts de la naturalesa (combustibles fòssils, urani, biomassa, irradiació solar, vents, corrents d'aigua, gradient geotèrmic) i transformar-la en *energia útil* per impulsar les activitats i els sistemes tecnològics que aporten beneficis a les persones i a les col·lectivitats.

L'actual sistema energètic està constituït fonamentalment per plantes d'extracció i processat de combustibles fòssils i nuclears, centrals de generació i instal·lacions de distribució, que configuren un sector que té per objecte proporcionar *energia final* en forma de combustibles comercials i electricitat al conjunt de la societat i les seves activitats; una altra part del sistema energètic es troba en els propis processos dels usuaris com és la transformació de l'energia dels carburants en energia tèrmica per als processos d'aquesta naturalesa, o en mecànica per produir la mobilitat dels vehicles, o les adequacions de l'energia elèctrica (transformadors, línies de distribució, fonts d'alimentació) prèvies a l'energia útil pròpiament dita.

Per altre costat, s'entén per *governança* la capacitat per establir decisions i regulacions adequades que tinguin en compte de forma equilibrada les necessitats i els interessos de les diferents parts implicades en el sistema energètic (subministradors i usuaris).

Avui dia, prop del 90 % de l'obtenció i transformació dels recursos energètics primaris del món (combustibles fòssils, urani, recursos hidroelèctrics) es canalitzen a través del sector energètic format per grans corporacions en règim oligopolístic (carboneres, petrolieres, gasistes, nuclears, hidroelèctriques i indústries afins). El 10 % restant es gestiona de forma més distribuïda i inclou: els residus i la biomassa, especialment en els països en desenvolupament d'Àfrica Subsahariana i del Sud-est Asiàtic i una part important de les noves fonts energètiques elèctriques renovables (termosolar, fotovoltaica, eòlica).

Fins ara, aquesta situació ha fet que, en molts casos, les grans corporacions oligopolístiques hagin controlat la governança del sistema energètic en detriment dels usuaris i dels petits generadors, davant d'unes administracions poc preparades, amb pocs coneixements sobre la generació i distribució de l'energia, dèbils en la funció reguladora i en les actuacions i, en alguns casos, supeditades pels interessos propis de l'oligopoli.

7.1.2 Pèrdues en el sistema energètic

La transformació de l'energia primària (EP) a l'energia útil (EU) passa per dues etapes on el sistema actual experimenta pèrdues molt importants degut, fonamentalment, dels processos termodinàmics implicats. La primera etapa és el pas de l'energia primària (EP) a energia final (EF, combustibles comercials i electricitat) que s'opera en el si del sector energètic; i, la segona, és el pas de l'energia final (EF) a l'energia útil (EU) que té lloc en els processos dels usuaris. A continuació es fa una anàlisi global d'aquestes pèrdues referides als diferents àmbits territorials.

Pèrdues en el sector de l'energia

Els balanços energètics de la IEA (Agència Internacional de l'Energia, de l'OCDE) contemplen tan sols la part de l'itinerari energètic fins a l'energia final (TFC, Total Final Consumption, en els balanços energètics d'IEA); correspon a l'activitat del *sector de l'energia* (controlat majoritàriament per les grans empreses oligopolístiques) que obté els recursos primaris de la naturalesa, els transforma i els distribueix en forma de vectors energètics (combustibles comercials i electricitat) que ven als diferents usuaris.

El 2014, la dissipació des de l'energia primària (descomptats els usos no energètics) fins a l'energia final a la sortida del sector de l'energia era, en diferents àmbits geogràfics:

32,5 % en el Món (quasi una tercera part)
31,7 % en els països de l'OCDE
33,0 % en els països No-OCDE
29,9 % en els països de la Unió Europea EU28
29,2 % a Espanya
i 34,2 % a Catalunya

La dissipació més gran es produeix en l'obtenció d'electricitat a partir de fonts tèrmiques (carbó, gas natural, nuclear, biomassa) ja que en terme mig de cada 3 unitats d'energia tèrmica tan sols 1 es transforma en electricitat. En l'obtenció i trans-formació de combustibles aquesta relació se situa al voltant del 85 %. A escala mundial, la dissipació en el sector de l'energia ha crescut més de 3 punts des de 1990 en gran part a causa de l'augment de l'electrificació, especialment en els països No-OCDE; en els països OCDE ha disminuït lleugerament degut a millores tècniques (cogeneració, centrals elèctriques de cicle combinat).

El sector energètic mundial, amb l'obtenció, transformació i distribució dels combustibles fòssils fins a l'energia final (combustibles comercials i electricitat), emet el 50 % de les 32.380 milions de tones anuals de CO_2 que amb l'ús d'aquests recursos s'acabarà emetent.

Pèrdues en els processos dels usuaris

Es podria pensar que els vectors energètics de l'energia final (combustibles comercials, electricitat) proporcionen directament l'energia que requereixen els processos de les activitats humanes, però no és així com ho posen de manifest els primers passos en el camí de la transició energètica. Per exemple, la substitució d'un vehicle amb motor tèrmic per un vehicle elèctric: en el primer, tan sols el 25 % (en terme mig) del potencial energètic dels carburants (energia final) es transforma en energia útil per a l'activitat del transport (a la roda, a l'hèlice o al jet) i la resta es dissipa amb els gasos d'escapament); en canvi, en un vehicle elèctric amb bateria, el 70 % de l'energia elèctrica de la xarxa arriba com a energia mecànica a les rodes.

A escala mundial (2014), la dissipació no útil addicional en els processos dels usuaris referida a l'energia primària en diferents àmbits geogràfics és:

27,1 % en el Món
29,8 % en els països OCDE
25,3 % en els països No-OCDE
29,3 % en la Unió Europea EU28
33,4 % a Espanya
i 32,2 % a Catalunya.

En aquests percentatges es reflecteix sobretot el pes del transport en les respectives economies.

Ineficiència del sistema energètic actual

Els itineraris del sistema energètic actual, basats en gran part en transformacions termodinàmiques poc eficients, acumulen les ineficiències de l'obtenció, transformació i distribució del sector de l'energia i les ineficiències a causa de les transformacions energia-energia en els processos dels usuaris que no són útils per als objectius finals.

El 2014, la dissipació acumulada d'energia en els itineraris des de l'energia primària fins a l'energia útil en diferents àmbits geogràfics era:

59,6 % en el Món (tan sols es transforma en energia útil el 40,4 % de l'energia primària)

61,5 % en els països de l'OCDE
58,3 % en els països No-OCDE
59,2 % en els països de la Unió Europea EU28
62,6 % a Espanya
i 66,4 % a Catalunya.

A més, aquesta ineficiència ha crescut amb el temps (el 1990 a escala mundial, era de 56,8 %, 2,8 punts per sota de 2014) en gran part a causa de l'augment del pes del transport, el més ineficient dels sectors en relació als usos finals.

La taula 7.1 proporciona el resum de les dades dels apartats anteriors:

Taula 7.1 Pèrdues (en %) entre energia primària (EP) i energia útil (EU)

Pèrdues %EP	Món	OCDE	No-OCDE	EU28	Espanya	Catalunya
Sector energia (EP a EF) [1]	32,5 %	31,7 %	33,0 %	29,9 %	29,2 %	34,2 %
Processos usuaris (EF a EU) [2]	27,1 %	29,8 %	25,3 %	29,3 %	33,4 %	32,2 %
Globals (suma dos anteriors)	59,6 %	61,5 %	58,3 %	59,2 %	62,6 %	66,4 %

[1] Pèrdues entre l'energia primària (EP) i l'energia final (EF) en percentatge de l'energia primària;
[2] Pèrdues entre l'energia final (EF) i l'energia útil (EU) en percentatge de l'energia primària.
Fonts: [IEA-2017], [Idescat-2017]

7.1.3 De la combustió a la generació elèctrica

Segons les dades d'IEA per al 2014, descomptats els combustibles fòssils usats en aplicacions no-energètiques (polímers, adobs, etc.), el 95,9 % de l'energia primària del món (combustibles fòssils, 79,6 %, energia nuclear, 5,2 % i biomassa, 11,1 %) s'usa a través de processos tèrmics (termo-mecànics per a mobilitat, termo-mecànico-elèctrics per produir electricitat, o per produir calor). Tan sols el 4,1 % restant es genera directament com a electricitat sense passar per la fase tèrmica (energia hidroelèctrica, 2,6 %, i noves fonts renovables, 1,4 %). Recordem que en els balanços energètics d'IEA les energies renovables elèctriques (mesurades en electricitat) queden molt disminuïdes davant de les restants fonts energètiques (mesurades en calor potencial).

En canvi, quan s'analitzen els requeriments a nivell d'energia útil (la que impulsa els processos i els artefactes en base als requeriments d'avui dia), aquesta energia es reparteix entre el 60,4 % d'usos pròpiament tèrmics, el 13,5 % en usos de mobilitat (inclouen la petita fracció d'electricitat usada en tracció elèctrica) i, el 26,1 % restant, en usos elèctrics (una part dels quals es transforma en tèrmics: cuines, forns, calefaccions i escalfadors elèctrics, així com certs processos industrials). En tot cas, encara queda més de manifest la importància creixent dels usos elèctrics.

En el nou sistema predominaran les fonts que generen electricitat (hidroelèctrica, eòlica, fotovoltaica i marines) mentre que han d'anar disminuint dràsticament fins a zero les principals fonts tèrmiques actuals (combustibles fòssils i energia nuclear); per tant, es passarà d'un sistema amb excés de fonts tèrmiques que, en bona part, cal convertir en electricitat i motricitat, a un sistema amb una major abundància de fonts elèctriques que, en bona part, ara caldrà convertir en mobilitat i calor.

La mobilitat, que avui dia es basa en el 97,6 % en fonts tèrmiques (91,4 % derivats del petroli) haurà de bascular vers les fonts elèctriques, i molts dels usos tèrmics de baixa temperatura en els sectors domèstic, industrials i dels serveis (climatització d'edificis, aigua calenta sanitària, cuines, processos industrials de baixa temperatura) també hauran de passar dels combustibles fòssils vers l'energia termosolar, els aparells elèctrics i la bomba de calor, aquesta darrera d'elevat rendiment, però que també consumeix energia elèctrica.

7.1.4 D'energies d'estoc a energies de flux

Des del punt de vista de la seva disponibilitat, les diferents formes de recursos energètics es poden distribuir en tres grans categories:

a) Recursos d'estoc, que ofereixen gran disponibilitat en relació a la potència i al temps, però que, tot i no estar encara exhaurits, són finits i no-renovables (combustibles fòssils, urani)

b) Recursos de flux, intermitents i/o aleatòries i no acumulables, poc concentrats en relació al territori de captació, però inexhauribles a l'escala de temps humana i, per tant, renovables (fotovoltaica, eòlica, marina d'ones, corrents o marees)

c) Energies de flux-estoc, de característiques anàlogues a les energies de flux però acumulables en quantitats i temps limitats (biomassa, hidroelèctrica, termosolar); també l'energia geotèrmica que es basa en un flux pràcticament constant. I el futur vector energètic hidrogen amb capacitat per convertir una energia de flux en un estoc.

Les energies d'estoc (combustibles fòssils i urani, 84,7 % del mix total), complement-tades per les energies de flux-estoc acumulables (hidroelèctrica i biomassa, 13,7 % del total) han configurat el sistema energètic actual: se'n disposa quan convé en funció de la demanda d'energia. En el nou sistema energètic renovable amb els combustibles fòssils i l'urani en declivi, el pes de les energies acumulades passarà de ser un actor principal a un actor complementari del sistema i el paradigma energètic canviarà.

Caldrà resoldre la qüestió de la disponibilitat de l'energia d'estoc per mitjà de dues estratègies complementàries: 1) Desenvolupar sistemes d'acumulació d'energia en grans quantitats i perdurables en el temps, especialment l'electricitat i l'hidrogen com a vector transformable en energia tèrmica, electricitat o ambdues combinades, segons les necessitats; 2) En l'espai i en el temps, adaptar els usos energètics a les disponibilitats que ofereixen les fonts renovables i situar geogràficament els grans usuaris d'energia prop de les grans fonts d'energia i adaptar els horaris a les disponibilitats de les fonts renovables.

7.1.5 L'emmagatzematge d'energia, factor estratègic

Avui dia, els combustibles fòssils (energies d'estoc) permeten disposar de serveis energètics (electricitat, mobilitat, calor) de qualsevol nivell de potència (des de 1 W a 1 GW) i en qualsevol moment (dia i nit, estiu i hivern). Però el seu progressiu declivi, els augments dels costos i els seus impactes ambientals ja no assumibles, situen l'emmagatzematge d'energia, especialment l'elèctrica, com un factor estratègic del nou sistema energètic renovable.

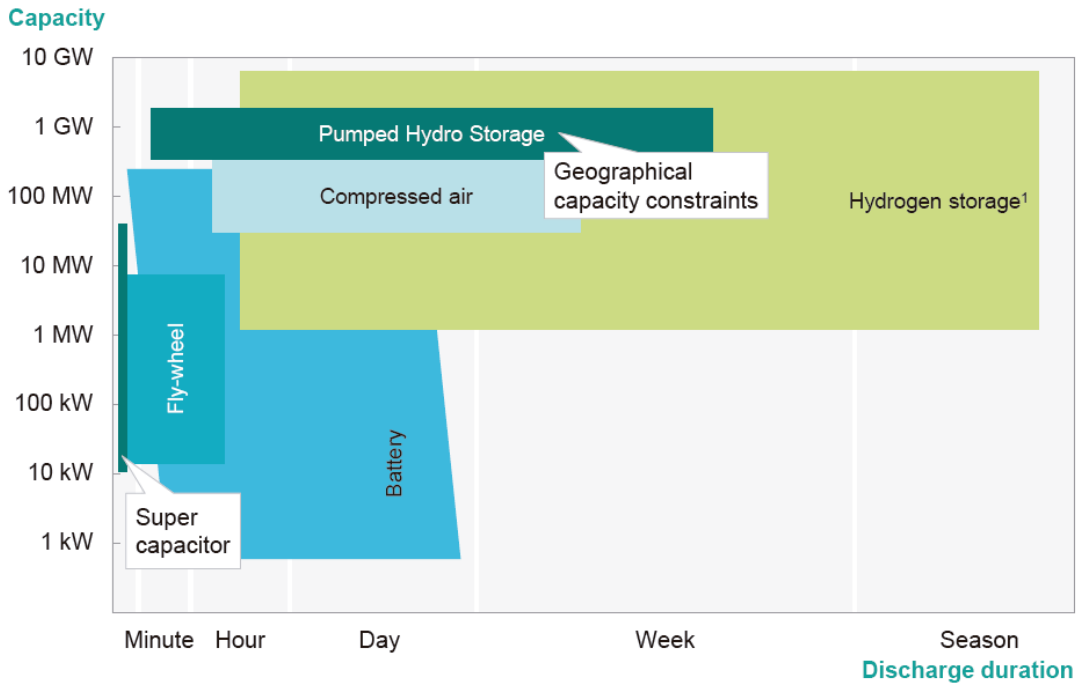


Figura 7.1 Camps d'aplicació dels diferents sistemes d'emmagatzematge d'energia en funció de la quantitat d'energia i del temps d'emmagatzematge [Hydrogen Council-2017]

Avui dia, les formes bàsiques d'acumular energia són:

a) *Acumuladors tèrmics*, sense transformació energètica, segons una gran varietat de formes constructives i dimensions, però amb una capacitat limitada de manteniment en el temps: des d'hores fins a alguns dies

b) *Bateries elèctriques*, que transformen l'electricitat en energia química i la retornen a electricitat amb un rendiment global elevat (entre 75 i 85 %); són molt escalables i permeten alimentar des de micro-aparells fins a automòbils, però es descarreguen en el temps, són cares, de difícil sostenibilitat i la capacitat d'acumulació és escassa en relació a les necessitats del sistema elèctric d'una societat sencera.

c) *Centrals hidroelèctriques reversibles* (amb doble embassament), transformen l'electricitat en energia hidràulica i la retornen a electricitat amb un rendiment global elevat (de l'ordre del 80 %). Tenen una potència de transformació elevada (adequats per a regulació puntual del sistema elèctric) però una capacitat d'emmagatzematge limitada en relació a les necessitats del sistema elèctric d'una societat a llarg termini

d) *Hidrogen*, obtingut a partir de la descomposició de l'aigua per electròlisi i per al qual s'estan desenvolupant sistemes d'emmagatzematge massius; els principals usos energètics de l'hidrogen són: en vehicles, transformació en electricitat (pila de combustibles) i tracció elèctrica; en la xarxa elèctrica per cobrir necessitats en els període en què les fonts renovables siguin insuficients (piles de combustibles o

substitució del gas natural en centrals de cicle combinat); en la indústria, per alimentar cambres de combustió d'altes temperatures. El rendiment global del procés electricitat-hidrogen-electricitat és de l'ordre de 35 %; i el del procés electricitat-hidrogen-combustió a alta temperatura, és de l'ordre de 70 %.

També s'està estudiant la possibilitat de convertir l'hidrogen en altres combustibles líquids o gasosos amb una emissió neutre de gasos d'efecte hivernacle.

La recerca i desenvolupament dels sistemes d'emmagatzematge d'energia és clau per completar la transició energètica. En especial, els sistemes d'emmagatzematge massiu (on l'hidrogen pot esdevenir una tecnologia clau) seran estratègics quan la penetració de les fonts renovables en el sistema energètic global (electricitat més tracció més usos tèrmics) superi un cert llindar que es podria situar entre el 30 % i el 40 %.

7.1.6 Distribució, escalabilitat i participació

Un altre aspecte amb grans potencialitats transformadores del nou sistema energètic renovable és la distribució territorial de les fonts (radiació solar, vents, corrents d'aigua, geotèrmia de baixa entalpia, biomassa) i l'escalabilitat de les instal·lacions per obtenir l'energia. En la major part dels casos, són possibles instal·lacions de captació des de molt petites (a escala d'aparell o d'habitatge) fins a instal·lacions comparables a les centrals elèctriques mitjanes d'avui dia.

L'escalabilitat en l'obtenció de l'energia en el nou sistema energètic renovable combinat amb les noves capacitats de control i gestió digital dels usos (IoT, internet de les coses), pot permetre una millor eficàcia en l'assignació directa de capacitats de generació i necessitats dels usos, especialment pel que fa a l'energia elèctrica a escales territorials reduïdes.

Els factors anteriorment esmentats (distribució territorial i escalabilitat), especialment pel que fa la captació d'energia, són factors que possibiliten avançar vers la sobirania energètica i bastir una societat més participativa, democràtica i igualitària en l'aspecte energètic i també en la seva organització global.

7.1.7 Energia útil i nou model energètic

L'*energia útil* és aquella que realment impulsa els processos tecnològics i que mou els artefactes, descomptada l'energia dissipada en les transformacions que no contribueixen directament als usos. L'energia útil és, doncs, la que proporciona els efectes desitjats (alimentació, escalfor, il·luminació, mobilitat, informació, comunicació, materials, productes i serveis). En el cas dels usos (ja fora del sistema energètic) es parla d'eficàcia

del sistema, o sigui, de relació entre els béns obtinguts i els recursos utilitzats (entre ells, l'energia).

Així, doncs, el nou sistema energètic basat en fonts renovables ha de prendre com a referència l'energia útil. En tots els exercicis de prospectiva realitzats per a un sistema basat en el 100 % de fonts renovables, per als mateixos serveis energètics (o energia útil) és necessari una quantitat d'energia primària menor. Això es deu fonamentalment a la major eficiència de les transformacions elèctriques en comparació als processos termodinàmics que parteixen de combustibles.

Alhora, la *transició vers un nou model energètic* planteja noves preguntes: Quines són les fonts energètiques renovables més adequades en cada entorn? Quins són els itineraris energètics més convenients? Com serà la governança del sistema i la participació i control ciutadà? En l'espai, cal transitar vers un sistema distribuït o simplement descentralitzat? I, en el temps, cal adaptar en el possible els usos energètics als ritmes còsmics i de la naturalesa o continuem fent les activitats sense tenir-los en compte?

Passar d'un sistema econòmic i social basat en els combustibles fòssils i l'urani a un nou sistema basat en les energies renovables comporta uns canvis determinants tant en la configuració física dels assentaments humans (usos del territori, el metabolisme de les ciutats, noves infraestructures) com en les formes de comportament humà i d'organització social.

Aquesta transformació no es pot realitzar de cop, sinó que requereix un procés amb la progressiva substitució del vell sistema basat en l'energia fòssil i nuclear pel nou sistema basat en energies renovables. Molts estudis i veus autoritzades, relacionades amb el procés d'exhauriment dels recursos energètics no renovables així com amb la necessitat de limitar els efectes del canvi climàtic, indiquen que convé completar aquesta transició energètica abans de 2050.

Per tant, no tan sols caldrà concebre i idear el nou sistema renovable, sinó també establir formes de convivència temporal i de compatibilitat entre el nou i el vell sistema. Molts dels elements del nou sistema s'hauran d'implementar de forma incremental a fi de facilitar que el vell sistema pugui complementar i atendre els serveis energètics encara sense alternativa.

Però, alhora, també caldrà tenir molt clar l'objectiu final de la transició energètica per evitar passos en fals o retrocessos en el procés. Aquest objectiu no és altre que aconseguir un sistema energètic renovable, compatible amb la vida i obert a una nova economia social més democràtica distribuïda, i equitativa.

7.2 Responsabilitats i oportunitats de la UPC

Els coneixements i les activitats en docència, recerca i col·laboració exterior dels membres de la Universitat Politècnica de Catalunya tenen una estreta relació en la configuració del sistema energètic del futur i el seu sistema de governança.

Essent la Universitat Politècnica de Catalunya una entitat pública, té la responsabilitat de participar activament en aquesta transformació des de l'ensenyament, la recerca i la col·laboració amb la societat. Alhora, també ofereix unes oportunitats d'activitat i d'autofinançament.

En termes generals es proposa, tot tenint en compte els àmbits transversals en els que s'inclouen les propostes (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures).

7.2.1 Formació per a la transició energètica

La universitat en general (i la Universitat Politècnica de Catalunya, en particular) tenen entre les seves missions analitzar les situacions crítiques que es produeixin i posar en alerta la ciutadania i els responsables polítics. La crisi dels combustibles fòssils i de l'energia nuclear és una d'aquestes situacions, probablement la més important en aquesta primera meitat del segle XXI.

El nou sistema energètic renovable requerirà construir una nova visió global, holística, sobre les nostres bases materials, les nostres maneres de pensar i la nostra organització política i social. La transició vers el nou model energètic comportarà situacions complexes i conflictives on el vell i el nou sistema entraran en pugna i caldrà resoldre situacions de convivència transitòria.

Això significa un gran esforç de confluència col·lectiva on les especialitats hauran de fer lloc a les visions de síntesi que tinguin en compte tots els aspectes. El procés de *confluència i debat* de la UPC que ha estat a l'origen d'aquest document n'és un pas. La Universitat Politècnica de Catalunya ha d'estendre aquest procés de reflexió col·lectiva en dues direccions: *a*) A tots els seus estudiants; *b*) Al conjunt de la societat, especialment els responsables de les organitzacions socials, empresarials i polítiques.

7.2.2 Estudis sobre els nous requeriments energètics

Els usos energètics a Catalunya el 2014 (descomptats els hidrocarburs per a usos no energètics) eren de 264 TWh (el 2000 havien estat 255 TWh i, el 2009, 286 TWh).

De l'energia primària, el 43,3 % és petroli, el 26,4 % energia nuclear i el 22,0 % gas natural mentre que el carbó és residual (0,1 %). El 6,3 % són renovables (una de les proporcions més baixes d'Europa): 2,8 % és biomassa i residus, 2,1 % hidroelèctrica i 1,4 % eòlica i fotovoltaica. L'1,9 % restant són importacions d'electricitat.

Taula 7.2 Catalunya: comparació entre l'energia primària, final i útil

Catalunya 2014	Energia primària		Energia final		Energia útil	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
	264,2	100,0 %	174,0	100,0 %	88,9	100,0 %
Residencial	41,3	15,6 %	22,9	13,1 %	18,1	20,3 %
Transport	101,0	38,2 %	86,8	49,9 %	22,1	24,8 %
Indústria	72,8	27,5 %	41,2	23,7 %	32,6	36,7 %
Serveis (exc. transport)	43,1	16,3 %	18,4	10,6 %	14,7	16,5 %
Altres	6,0	2,3 %	4,8	2,7 %	1,5	1,6 %

Font: Idescat

El nou sistema energètic sostenible s'ha de referir a l'energia útil (la que realment impulsa els processos i els artefactes) on destaquen els usos en la indústria i on el pes del transport queda molt disminuït. A més, s'hauran de tenir en compte els efectes de l'estalvi energètic.

Queda, doncs, un llarg camí a recórrer en la *transició vers un nou model energètic*.

Un primer pas és analitzar els diferents usos energètics de la ciutadania en els diferents sectors d'activitats (residencial, mobilitat, sectors primaris, indústria i construcció, serveis) tant en els seus aspectes qualitatius com quantitatius, així com les seves tendències.

L'Institut Català de l'Energia (ICAEN) ha donat un primer pas interessant en aquesta direcció amb l'Estadística del Consum Energètic del Sector Industrial (ECESI) que proporciona un diagnòstic de gran interès per conèixer els usos energètics dels subsectors industrials. Però caldria impulsar noves anàlisi com aquestes i estendre-les a altres activitats.

Hi ha la tendència a centrar l'atenció en les grans novetats tecnològiques, especial-ment les relacionades amb la informació i la comunicació; però cal no oblidar que totes elles pressuposen una base energètica d'elevada qualitat sense la qual no podrien funcionar.

7.2.3 Nova relació entre energia i territori

A diferència del sistema energètic fòssil i nuclear, la captació d'energia en el sistema renovable es realitza en base a superfície del territori.

L'obtenció de la radiació solar directa requereix grans superfícies de captadors termosolars plans, termosolars concentradors i fotovoltaics. Semblantment ocorre amb altres fonts renovables: l'energia hidroelèctrica aprofita les precipitacions de tota una conca; la biomassa resulta de transformar la radiació solar per les plantes en extenses superfícies de boscos i de camps de cultiu; l'energia eòlica aprofita moviments d'aire produïts en indrets llunyans però cal distribuir els aerogeneradors en el territori (o en el mar) a fi que uns no facin ombra als altres. La font geotèrmica de baixa entalpia també es distribueix en tota la superfície de la Terra. Tan sols els jaciments geotèrmics d'alta temperatura escapen d'aquesta lògica, però són molt escassos.

Així, doncs, a més de les múltiples funcions que ja tenen els sòls (on destaquen les ecològiques, l'agricultura i els assentaments urbans), caldrà incorporar-hi les funcions energètiques. Això significa una radical reconsideració de tota la planificació de l'Ordenació del Territori.

Les primeres avaluacions sobre les necessitats de superfícies de captació energètica a Catalunya donen xifres entre 40.000 i 66.000 hectàrees (d'1,25 a 2,05 % del país); a efectes comparatius, la superfície urbanitzada a Catalunya és d'unes 215.000 hectàrees (6,7 % del territori) i la superfície agrícola és d'unes 780.000 hectàrees (24,3 %).

Per altre costat, Catalunya és un país amb grans desigualtats pel que fa a l'assentament de la població i les activitats en el territori: l'Àrea Metropolitana de Barcelona, amb 3,21 milions d'habitants (43 % de la població catalana) ocupa 635 km^2 (2,0 % del territori de Catalunya), fet que obligarà a solucions imaginatives i a compromisos entre diferents parts del país.

La transició energètica vers fonts renovables comportarà un canvi radical en l'organització de la societat respecte al territori, fet que encara no ha assumit ni la ciutadania ni els responsables de les administracions. La Universitat Politècnica de Catalunya ha de treballar perquè la connexió entre territori i energia entri en la consciència dels ciutadans i els dirigents polítics.

7.2.4 Recerca en estalvi de recursos i energia

Amb el creixement del subministrament energètic dels darrers decennis abans de la crisi de 2008 on, des de la dècada de 1960 els combustibles fòssils s'han mantingut al voltant del 80 % del mix energètic, el conjunt dels països del món (especialment els desenvolupats i els emergents) han fet un gran salt endavant en les seves condicions de vida.

Però, al mateix temps, davant l'abundància i el baix preu de l'energia, la població s'ha anat despreocupant de la procedència dels recursos i l'energia, de la salut dels sistemes naturals i dels límits de la Terra. Els problemes sorgits en els darrers anys (les dificultats

en l'accés a l'energia o "pobresa energètica", l'augment dels preus de l'energia) es perceben com una qüestió econòmica i de desigualtat social (que també ho és) però lluny de la consciència dels límits de l'actual model energètic per l'amenaça que suposa l'exhauriment dels recursos no renovables i del seu impacte sobre el medi ambient.

En aquest context no té sentit centrar les accions en la simple substitució d'energies no renovable per renovables sense revisar la tendència als usos indiscriminats i creixents de recursos i energia. Es podria donar el cas que els esforços destinats a incrementar les energies renovables fossin absorbits per un increment despreocupat dels usos energètics (paradoxa de Jevons). En primer lloc cal, doncs, una profunda revisió dels processos tecnològics i dels usos energètics actuals, camí que pot conduir a estalvis de l'ordre del 40 % o més dels recursos energètics primaris que consumim avui dia sense disminuir la qualitat de vida.

La Universitat Politècnica de Catalunya té les capacitats i està en les millors condicions per revisar els processos tecnològics. L'establiment d'un acord en aquest sentit amb la Generalitat de Catalunya i amb altres administracions impulsaria un pas essencial en la *transició vers un nou model energètic* i, alhora, dibuixaria una potent referència i un estímul per a tota la societat.

7.2.5 Recerca en energies renovables

Avui dia, l'energia de fonts renovables és l'única alternativa viable i vers on s'orienta el nou model energètic. Fins i tot, en el cas hipotètic que la fusió nuclear acabés essent un èxit, la seva implantació efectiva arribarà molt després que la crisi dels combustibles fòssils i de l'urani (finits, contaminants i perillosos) hagi arribat al seu punt de no retorn.

Per tant, cal impulsar la recerca bàsica i aplicada de les energies renovables i la Universitat Politècnica de Catalunya està en les millors condicions per a fer-ho en aquest país.

En analitzar els recursos amb potencialitat energètica a Catalunya destaquen: la radiació solar, els vents, els recursos hidràulics, la biomassa i la geotèrmica de baixa temperatura.

Els recursos d'aigua comparteixen importants funcions i usos (cabals ecològics, reg en l'agricul-tura, aigua de boca, aigua sanitària i per a la indústria) i, per tant, la gestió de l'aigua per generar energia hauria de quedar per darrere d'algunes d'aquests prioritats; l'energia hidràulica té una certa importància a Catalunya però és difícil ampliar-la molt més enllà de l'explotació actual. Semblantment la biomassa comparteix altres funcions importants (biodiversitat, renovació de l'oxigen, preservació dels sòls, retenció de l'aigua de pluja); l'agricultura s'ha d'orientar prioritàriament a l'alimentació alhora que els residus agrícoles són un mitjà barat i ecològic d'adobar els camps. La biomassa amb fins energètics s'hauria de supeditar a aquestes funcions.

Els vents (sobretot els constants i laminars) predominen més al nord d'Europa; en canvi, Catalunya gaudeix d'una bona insolació en tot el territori; en relació a l'energia geotèrmica de baixa temperatura (<60ºC) hi ha un cert nombre de jaciments a Catalunya (entre altres, els llocs denominats Caldes) i poden aportar solucions locals en aigua calenta o calefacció. Els sòls, com a fonts geotèrmiques de baixa entalpia, poden proporcionar solucions favorables en combinació amb la bomba de calor.

En principi, convé no menystenir cap font d'energia. La Universitat Politècnica de Catalunya ha de mantenir-se alerta de qualsevol possibilitat. Moltes de les fonts d'energia difusa poden tenir utilitats a escala local (per exemple, la biomassa dels boscos o la gasificació dels purins animals i altres restes orgànics).

Això vol dir potenciar els projectes amb una forta imbricació amb els recursos que ofereixen cada un dels indrets i en els diferents moments (dia-nit, estacions, etc.).

7.2.6 Recerca en emmagatzematge d'energia

La major part de les noves energies renovables són fluxos intermitents (energia solar) o aleatoris (precipitacions, vents) que no ofereixen la mateixa disponibilitat d'ús que la que ens han acostumat els combustibles fòssils (es cremen quan la demanda ho requereix); a més, moltes de les fonts renovables generen electricitat (hidroelèctrica, eòlica, solar fotovoltaica) que s'ha d'usar en el mateix moment que es produeix.

El nou sistema energètic renovable requerirà tant d'estratègies per acoblar la demanda a la generació d'energia com per desenvolupar sistemes d'emmagatzematge d'energia a gran escala.

A mesura que avanci la transició energètica i creixi la proporció d'energies renovables intermitents i/o aleatòries, l'acoblament entre la generació i la demanda d'energia (més enllà del 30 % o el 40 %) es farà cada cop més difícil. En aquest sentit, l'emmagatzematge d'energia (especialment l'elèctrica) esdevé un element estratègic per avançar.

Vers les etapes finals de la transició (quan les energies renovables siguin majoritàries) caldrà disposar de formes massives i en temps prolongats d'emmagatzematges distribuïts a escala de la societat. Avui dia, el sistema que sembla respondre millor a aquests requeriments és l'emmagatzematge per mitjà de l'hidrogen. Les energies de flux-estoc permeten un cert emmagatzematge (hidràulica amb embassament, biomassa, biocombustibles) i poden exercir una funció d'estabilitat i seguretat de gran importància en el sistema energètic del futur.

7.2.7 Recerca en gestió de xarxes i tarificació

Un nou sistema energètic renovable distribuït on conviuran una multiplicitat de generadors i usuaris (de molt petits a molt grans) i on a les funcions tradicionals (seguretat en el subministrament, qualitat de l'energia) s'incorporaran noves funcions com l'emmagatzematge, requerirà també un sistema regulador nou amb nous conceptes.

La nova tarificació ha de compaginar adequadament tres aspectes: a) La seguretat en el subministrament i, conseqüentment, les inversions que la fan possible; b) Han de fomentar l'estalvi energètic; c) han de fomentar l'ús d'energia prop de les localitzacions i en els moments en que es produeixi la captació (evitant l'emmagatzematge).

7.2.8 La UPC una plataforma d'experiències pilot

La Universitat Politècnica de Catalunya és una gran organització (3.000 professors i investigadors, 1.800 persones d'administració i serveis i 32.200 alumnes) distribuïda en 9 campus (3 a Barcelona, Castelldefels, Igualada, Manresa, Sant Cugat del Vallès, Terrassa i Vilanova i la Geltrú) i en 18 escoles i facultats.

Les instal·lacions de la Universitat Politècnica de Catalunya comprenen un nombre important d'edificis (més de 60) amb els seus sistemes de climatització, nombroses aules i laboratoris de diferents tipus (electricitat, química, materials, cultius, processos, etc.). També inclou un nombre important de bars i restaurants i comporta una gran quantitat de desplaçaments des de les residències d'estudiants i treballadors.

Aquest conjunt d'activitats i circumstàncies constitueix un microcosmos que pot esdevenir la base de diferents experiències pilot. La proximitat amb la capacitat d'observació, d'anàlisi, d'avaluació i d'experimentació de la pròpia universitat fan que sigui un àmbit ideal per realitzar experiències pilot.

7.3 Línies de treball futures de la UPC

Es proposen una sèrie de línies de treball que la UPC vol, pot i ha d'assumir amb l'objectiu de respondre al repte de la *transició vers un nou model energètic* en l'àmbit d'un Nou Sistema Energètic i Governança.

A. Com **actuacions transversals** (anticipació de la recerca; experimentació de noves solucions; participació activa en el debat general; i formació de les generacions futures) es treballaran aspectes claus com:
   - Desenvolupar criteris sobre la transició energètica pel que fa a les tecnologies, els comportaments socials, la periodificació en el temps i les localitzacions
   - Usos energètics dels sectors primaris
   - Desenvolupar les tecnologies i l'experimentació sobre l'emmagatzematge d'energia en funció dels escenaris futurs
   - Desenvolupar criteris sobre Ordenació del Territori en vistes a les superfícies necessàries per al futur sistema energètic renovable (prioritats d'ocupació de superfícies, avaluació de les zones a preservar, etc.).

B. Com **actuacions específiques** d'aquesta àrea, se'n destaquen:

I. Desenvolupar i mantenir eines per conèixer i avaluar els usos energètics dels sectors primaris (agricultura, ramaderia, pesca, aqüicultura, boscos, etc.).
II. Desenvolupar eines per conèixer i avaluar els usos energètics en el sector residencial: en climatització i aigua calenta sanitària; en conservació i preparació d'aliments; en tasques de neteja; en activitats relacionades amb la informació i la comunicació.
III. Desenvolupar i mantenir eines per conèixer els usos energètics en la mobilitat de persones i mercaderies en els mitjans terrestres (carretera i ferrocarril), marítims i aeris.
IV. Donar suport a la continuïtat i millora de l'enquesta ECESI de l'ICAEN per avançar en el coneixement i avaluació dels usos energètics de la indústria.
V. Focalitzar la recerca en energia termosolar, fotovoltaica, eòlica, hidràulica i geotèrmica amb la visió d'integració d'un nou sistema energètic renovable.
VI. Analitzar, estudiar i proposar models de sistemes reguladors i tarifaris vinculat a un nou sistema energètic renovable distribuït.

Bibliografia

ANDERSON, J., GUILLEN, J., EDS [Anderson-2010]. *The 2010 Annual Economic Report on the European Fishing Fleet. Scientific*, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) https://stecf.jrc.ec.europa.eu/c/document_library/get_file?p_l_id=53222&folderId=44854&name=DLFE-10701.pdf [consulta 2016]

APPLE [Apple-2016], *Environmental Responsibility Report. 2016 Progress Report, Covering Fiscal Year 2015*, http://images.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2016.pdf

BSC [BSC-2017], *MareNostrum*, Barcelona Supercomputing Center, 2017 https://www.bsc.es/innovation-and-services/supercomputers-and-facilities/marenostrum

BERNERS-LEE, M. [Berners-Lee-2010], *How bad are bananas? The carbon footprint of everything*, Profile Books, London 2010.

BORTESI, L.; FISCHER, R. [Bortesi-2015], *The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond*, Biotechnology Advances, gener-febrer de 2015, pàgines 41-52. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.12.006. Epub 2014 Dec 20.

CAÑAMERAS, N. ET AL. [Cañameras-2010], *Agricultura i alimentació*. http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/continguts/agricultura-i-alimentacio [consulta 2016]

CAZZOLA, P.; TETER, J. [Cazzola-2016], *Energy Analysis and Modelling Transport*, IEA (Agència Internacional de l'Energia), Energy Training Week, 6-10 de Juny de 2016. https://www.iea.org/media/training/eetw2016/transport/D.1_Quantative_Transport.pdf

CEESA PROJECT [CEESA-2012], *CEESA: 100% Renewable Energy Scenarios for Denmark to 2050*. Entitats participants: Aalborg University, Technical University of Denmark, University of Southern Denmark, University of Copenhagen, Copenhagen Business School, Pöyry, Dong Energy, 2012. http://www.energyplan.eu/ceesa-100-renewable-energy-scenarios-for-denmark-to-2050-2012/.

CISCO [Cisco-2016], *Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2015–2020*, White Paper. http://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf

COMISSIÓ EUROPEA [CE-2016], *Energía limpia para todos los europeos: desbloquear el potencial de crecimiento de Europa* (paquet d'hivern), Brussel·les, 30 de novembre de 2016. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_es.htm

CUCHÍ, A.; LÓPEZ CABALLERO, I. [Cuchí-2005]. *Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallès: bases per a una política ambiental a l'ETSAV, 1999*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2005. http://datos.bne.es/version/XX3459182cat.html

DITRENDIA [Ditrendia-2015], *Informe Mobile en España y en el mundo 2015* http://www.ditrendia.es/wp-content/uploads/2015/07/Ditrendia-Informe-Mobile-en-Espa%C3%B1a-y-en-el-Mundo-2015.pdf.

ECESI [ECESI-2011], *Estadística del Consum Energètic del Sector Industrial*, ICAEN, Generalitat de Catalunya. http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/sectorials/ecesi/.

EEA [EEA-2015], *Urban sustainability issues — What is a resource-efficient city?*. EEA Technical report, 23. www.eea.europa.eu/publications/.

EPRS (Davis, R.) [EPRS-2016], *Big data and data analytics The potential for innovation and growth*, (briefing), European Parliamentary Research Service (author: Ron Davies, Members' Research Service). PE 589.801. http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/589801/EPRS_BRI(2016)589801_EN.pdf

EUROSTAT [Eurostat-2013], *Land Cover Statistics*. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Land_cover_statistics.

EUROSTAT [Eurostat-2017], *Energy balances*, Eurostat (Oficina estadística de la Comissió Europea). http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances [consulta 2017]

FAO [FAO-2001], *Food balance sheets. A handbook*, FAO, Roma 2001. ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/x9892e/x9892e00.pdf

FAO [FAO-2009], *Como alimentar al mundo en 2050*. http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/es/ [consulta 2016]

FAO [FAO-2011a], *"Energy-smart" food for people and climate (issue paper)*, Roma 2011. http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf.

FAO [FAO-2011b] *Global Food Losses and Food Waste*, Roma 2011. (elaborat per J.Gustavsson i Ch.Cederberg, U.Sonesson, Institut Suec d'Aliments i Biotecnologia (SIK), Gothenburg, Suècia, i R.van Otterdijk i A.Meybeck de la FAO, Roma, Itàlia) http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf.

FAO [FAO-2017], *El papel de la FAO en la producción animal*. http://www.fao.org/animal-production/es/ [consulta 2017]

FAOSTAT [FAOSTAT-2011] *Balances alimentarios*, FAO (Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura). http://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS. [consulta 2014]

FAOSTAT [FAOSTAT-2014] *Cultivos*, FAO (Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura). http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC [consulta 2014]

FCH [FCH-2014], *Development of Water Electrolysis in the European Union*, Fuel Cells and Hydrogen Join Undertaken, Europe 2014. http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/study%20electrolyser_0-Logos_0_0.pdf

FCH [FCH-2015], *Advancing Europe's energy systems: Stationary fuel cells in distributed generation*, Fuel Cells and Hydrogen Join Undertaken, Europe 2015. http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCHJU_FuelCellDistributedGenerationCommercialization_0.pdf

FOGED, H.L., FLOTATS, X., BONMATÍ, A. [Foged-2012a]. *Future trends on manure processing activities in Europe*. Technical Report No. V concerning *Manure Processing Activities in Europe* to the European Commission, Directorate-General Environment, p. 34. http://hdl.handle.net/2117/18948 [Consulta: 2016]

FOGED, H.L., FLOTATS, X., BONMATÍ, A., PALATSI, J., MAGRÍ, A. AND SCHELDE, K.M. [Foged-2012b]. *Inventory of manure processing activities in Europe*. Technical Report No. I concerning *Manure Processing Activities in Europe* to the European Commission, Directorate-General Environment, p. 138. http://hdl.handle.net/2117/18943 [Consulta: 2016]

FPB-ICEDD-VITO [FPB-ICEDD-VITO-2013], *Towards 100 % Renewable Energy in Belgium by 2050*. Realitzat pel consorci: Federal Planning Bureau (FPB), Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD), i Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO). 2014. http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/130419-backcasting-finalreport.pdf?ID=28161

FUHEM-ECOSOCIAL (Carpintero, O., director, et.al.) [Fuhem-2015], El metabolismo económico regional español, Madrid 2015, http://www.fuhem.es/ecosocial/noticias.aspx?v=9753&n=0 [llicència creative commons]

FURRÓ I ESTANY, E., [Furró-2016] Catalunya, aproximació a un model energètic sostenible, Editorial Octaedro, Barcelona 2016. http://www.octaedro.com/OCTart.asp?libro=80152&id=en&txt=Catalunya,%20aproximaci%F3%20a%20un%20model%20energ%E8tic%20sostenible

G20 [G20-2014], *Energy Efficiency Action Plan. Voluntary Collaboration on Energy Efficiency*, Australia 2014. https://ipeec.org/upload/publication_related_language/pdf/11.pdf.

GARCÍA-LEYVA, L.; RIVERA, J.; CALOMARDE, A.; MOLL, F.; RUBIO, A. [García-Leyva-2016], *Robust sequential circuits design technique for low voltage and high noise scenarios*, International Conference on Control, Mechatronics and Automation, MATEC Web of Conferences 42, 02003, (2016). DOI: 10.1051/matecconf/2016 4202003.

GARTNER [Gartner-2007], *Gartner Says Data Centres Account for 23 Per Cent of Global ICT CO_2 Emissions*, Press release. http://www.gartner.com/newsroom/id/530912.

GESI [GeSI-2008], *SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*, GeSI (Global e-Sustainability Initiative), 2008. http://gesi.org/files/Reports/Smart%202020%20report%20in%20English.pdf

GESI [GeSI-2012], *GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future*, GeSI (Global e-Sustainability Initiative), 2012. http://gesi.org/portfolio/report/72.

GESI [GeSI-2015], *#SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges*, GeSI (Global e-Sustainability Initiative), 2015. http://unfccc.int/files/mfc2013/application/pdf/smarter2030_executive_summary.pdf

GLOBAL WITNESS [GLOBAL WITNESS-2009], *Faced with a gun, what can you do?*, Global Witness 2009. https://www.globalwitness.org/sites/default/files/pdfs/report_en_final_0.pdf.

HSU, P.D.; LANDER, E.S.; ZHANG, F. [Hsu-2014], *Development and Applications of CRISPR-Cas9 for Genome Engineering*; Cell, juny de 2014, 157(6), pàgines 1262–1278. DOI: 10.1016/j.cell.2014.05.010.

HYDROGEN COUNCIL [Hydrogen Council-2017], *How hydrogen empowers the energy transition*, Hydrogen Council, Davos 2017. http://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2017/01/20170109-HYDROGEN-COUNCIL-Vision-document-FINAL-HR.pdf

ICAEN [ICAEN-2017],*Pacte Nacional per a la Transició Energètica de Catalunya*, Institut Català d'Energia http://icaen.gencat.cat/ca/plans_programes/transicio_energetica/ [consulta 2017]

IDESCAT [Idescat-2015],*Producció final agrària 2015*, Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya), http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=437 [consulta 2017]

IDESCAT [Idescat-2017a], *Consum d'energia*, Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya), http://www. idescat.cat/pub/?id=aec&n=501 [consulta 2017]

IDESCAT [Idescat-2017b], *Usos del sòl. Comarques i Aran, àmbits i províncies*, Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya), http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=202 [consulta 2017]

IDESCAT [Idescat-2017c], *Consum final d'energia. Per sectors*, Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya), http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=505 [consulta 2017].

IDAE [IDAE-2011], Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España, EUROSTAT-IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), Madrid 2011. http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

IDC [IDC-2017], *Connected Operations and Information-based Commodities*, International Data Corporation (IDC). http://www.idc.com/prodserv/insights/#energy.

ICT FOOTPRINT-EU [ICTfottprint-EU-2017]. [consulta 2017] https://www.ictfootprint.eu/de/about/ict-carbon-footprint/ict-carbon-footprint

IEA [IEA-2014], *More Data, Less Energy. Making Network Standby More efficient in Billions of connected Devices*, Agència Internacional de l'Energia, París 2014. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/moredata_lessenergy.pdf.

IEA [IEA-2015a], *Technology Roadmap – Hydrogen and Fuel Cell*, Agència Internacional de l'Ener-gia, Paris 2015. http:// www.iea.org/publications/ freepublications/publication/Technology RoadmapHydrogenand FuelCells.pdf

IEA [IEA-2016a], *Energy balances*, Agència Internacional de l'Energia (IEA), 2016. https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=WORLD&product=balances&year=2014. [consulta 2017].

IEA [IEA-2016b], *Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars*, Agència Internacional de l'Energia (IEA), https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf

IEA [IEA-2017], *Statistics. World: Balances for 2014*, de l'Agència Internacional de l'Energia (el web permet recórrer qualsevol país i qualsevol any entre 1990 i 2014). https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=WORLD&product=balances&year=2014 [consulta 2017]

IEA-ETSAP [IEA-ETSAP-2010-2015], *Diversos documents tècnics sobre els usos de l'energia tèrmica en els sectors residencial i industrial (2010 a 2015)*, *Energy Technology Systems Analysis*, de l'Agència Internacional de l'Energia). https://iea-etsap.org/index.php/energy-technology-data/energy-demand-technologies-data [consulta 2017]

IEEE [IEEE-2016], *Embodied Energy: Mobile Devices and Cars*, IEEE explore 26, maig de 2016, IEEE Spectrum. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7459114.

INDEXMUNDI [IndexMundi-2017], *Commodity Price Indices. Energy*, IndexMundi. http://www.indexmundi.com/commodities/

IPCC [IPCC-2015], *Climate Change 2014. Synthesis Report*, IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Nacions Unides, 2015. ISBN 978-92-9169-143-2. https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/.

JACOBSON, M.Z. (i 27 autors més) [Jacobson-2014] *A roadmap for repowering California for all purposes with wind, water, and sunlight*, Energy 73, pàgs. 875-889, Elsevier 2014. https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/CaliforniaWWS.pdf.

KIC-INNOENERGY, [KIC-innoenergy-2017], *KIC, Knowledge Innovation Community*, the European company for innovation, business, creation and education in sustainable energy. http://www.kic-innoenergy.com/

KIMMELMAN, M. [Kimmelman-2016] *The Kind of Thinking Cities need*, The New York Times Sunday Review, 28 Oct. 2016. https://www.nytimes.com/2016/10/30/opinion/sunday/

KIVI [Kivi-2014] *White Paper on the ambition of : A future low carbon Dutch Power System Considerations on the Dutch Power System towards 2050, based on 100 % renewable energy sources, including a proposal*, Kivi, Engineering Society, 2014. https://www.kivi.nl/media/Techniekpromotie/Thema_sKIVINIRIA/Energie/White_Paper_Power_2050.pdf

LANNOO, B. [Lanno-2013], *Energy consumption incentives energy efficient networks*, TREND Workshop, Brussel·les 2013. http://www.fp7-trend.eu/system/files/content-public/502-final-trend-workshop-brussels-24-october-2013-presentations/energyconsumptionincentives-energy-efficient-networks.pdf.

MILLS, M.P. [Mills-2013], *The Cloud begins with coal. Big Data, Big Networks, Big Infrastructure and Big Power. An Overview of the electricity used by global digital ecosystem*. Digital Power Group. http://www.tech-pundit.com/wpcontent/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac

MCGRADE, CH.; EKINS P. [McGrade-2015], *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C*, C. *Nature,* 517(7533), pp. 187-190.

MITCHELL, B. [Mitchell-2016] How Much Power Does a Network Router Consume? https://www.lifewire.com/power-network-router-consumes-3971320.

MOBBS, P. [Mobbs-2010], *Limits to Technology. The Ecological Boundaries of the Information Age* https://www.giswatch.org/blog-entry/224/limits-technology-ecological-boundaires-information-age.

MORRIS, C. et al. [HBF-2016], *Energy transition-The German Energiewende*, Berlin (consultat 2016), HEINRICH BÖLL FUNDATION, http://energytransition.de/.

MUIR, J. [Muir-2015], *Fuel and energy use in the fisheries sector. Approaches, inventories and strategic implications*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1080. Rome. Italy. http://www.fao.org/3/a-i5092e.pdf

Nokia [Nokia-2015], *Flatten Network Energy Consumption, Technology Vision 2020, Executive summary* (white paper), Nokia, 2015, http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200273.

NORTH SEA FOUNDATION [NSF-2017], *The carbon footprint of fisheries. Climate and the Oceans*. https://energyefficiency-fisheries.jrc.ec.europa.eu/c/document_library/get_file?uuid=924c1ba8-94af-440d-94cb-f9cb124d2d57&groupId=12762

NRDC [NRDC-2015], *Home Idle Load: Devices Wasting Huge Amounts of Electricity When Not in Active Use*, Natural Resources Defense Council, California (EUA) 2015. https://www.nrdc.org/sites/default/files/home-idle-load-IP.pdf.

NUNES, D.; MOLL, F.; VALTCHEV, S. [NUNES-2016], *TFET-Based power management circuit for RF energy harvesting*, IEEE Journal of the Electron Devices Society, Vol. 5 (2016), num. 1, pp. 7-17. DOI: 10.1109/JEDS.2016.2619908.

NU-ODS [NU-ODS-2015], *Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) 2015-2030*, aprovats el 25 de setembre de 2015 per 193 països, Nacions Unides. http://www.un.org/sustainabledevelopment/. [Consulta 2017]

OICA [OICA-2017], *Production statistics*; *Vehicles in use*, Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, Paris, http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/. [Consulta 2017]

OENEMA, O., WITZKE, H,P., KLIMONT, Z., LESSCHEN, J.P., VELTHOF, G.L. [Oenema-2009], *Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses in agriculture in EU-27*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 133, pp 280-288.

PANG, C.; HINDLE, A.; ADAMS, B.; HASSAN, A.E. [Pang-2016], *What Do Programmers Know about Software Energy Consumption?*, in IEEE Software, vol. 33, no. 3, pp. 83-89, May-June 2016. DOI: 10.1109/MS.2015.83.

PARK, T. [Park-2015], *Transport: Review of Indicators, Data Gaps and Data Collection.*, IEA (Agència Internacional de l'Energia), Pretoria, 28-29 Gen 2015. http://www.energy.gov.za/EEE/NewsAndBulletins/SA-EE-Indicators-and-Target-Setting/Transport-Review-of-Indicators-Data-Gaps-and-Data-Collection.pdf

PIMENTEL, D., PIMENTEL, M. [Pimentel-2008a], *Food, Energy and Society*, 3rd edn., CRC Press (Taylor and Francis Group), Boca Raton, FL 380 pp.

PIMENTEL, D. ET AL. [Pimentel-2008b]. *Reducing Energy Inputs in the US Food System*. Hum Ecol, DOI: 10.1007/s10745-008-9184-3

RAUGEI, M. ET AL. [Raugei-2017], *Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar Systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response*, Energy Policy (Elsevier) no 102 (2017), pp. 377–384. http://ac.els-cdn.com/S0301421516307066/1-s2.0-S0301421516307066-main.pdf?_tid=f7c1ae8c-16a7-11e7-8346-00

RENOM, M. (editora) [Renom-2016] *Proveir Barcelona. El municipi i l'alimentació de la ciutat, 1329-1930*, Edicions de la Central, Barcelona 2016. http://www.cdei.upc.edu/documents/recursos%20energetics%20i%20crisi.pdf

RIFKIN, J. [Rifkin-2014], *La sociedad del coste marginal cero*. Editorial Paidós, Barcelona 2014.

RIBA ROMEVA, C. [Riba-2012], *Recursos energètics i crisi. La fi de 200 anys irrepetibles,* Editorial Octaedro, Barcelona 2012. Versió en català, lliure: http://www.cdei.upc.edu/documents/recursos%20energetics%20i%20crisi.pdf; English version (free): *Energy resources and crisis. The end of 200 unrepeatable years*, http://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36468

SANS ROVIRA, R.; PULLA ESCOBAR, E. [Sans-2014], *El col·lapse és evitable. La transició energètica del segle XXI (TE21)*, Editorial Octaedro, Barcelona 2014. http://www.octaedro.cat/octart.asp?libro=80141&txt=El%20col.lapse%20%E9s%20evitable

SAVIN, H.; REPO, P.; VON GASTROW, G.; ORTEGA, P.; CALLE, E.; GARÍN, M.; ALCUBILLA, R. [Savin-2015], Black silicon solar cells with interdigitated back-contacts achieve 22.1% efficiency, Nature Nanotechnology 10, pp. 624–628, 2015. DOI:10.1038/nnano.2015.89 http://www.nature.com/nnano/journal/v10/n7/abs/nnano.2015.89.html

SILVESTRE, S.; MORA-LÓPEZ, L.; KICHOU, S.; SÁNCHEZ-PACHECO, F.; DOMINGUEZ-PUMAR, M. [Silvestre-2016], *Remote supervision and fault detection on OPC monitored PV systems*, Solar Energy, 137,pp. 424-433.

SINGH, J.; NAIK, K.; MAHINTHAN, V. [Singh-2015], *Impact of Developer Choices on Energy Consumption of Software on Servers*, Procedia Computer Science, Volume 62, 2015, Pages 385-394, ISSN 1877-0509, http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.423

SMIL, V. [Smil-2011]. *Nitrogen cycle and world food production*. World Agriculture, 2, pp 9-13.

SRU [SRU-2010], *Climate-friendly, reliable, affordable: 100% renewable electricity supply by 2050*, Statement No 15 (ISSN 1612-2968), 2010; SRU, German Advisory Council on the Environment. http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/EN/04_Statements/2010_05_Statement15_Renewablesby2050.pdf%3F__blob=publicationFile

STREMKE, S.; KOH, J. [Stremke-2011], *Integration of Ecological and Thermodynamic Concepts in the Design of Sustainable Energy Landscapes*, Landscape Journal, 30 (2): pp. 194-213

TETER, J. [Teter-2016], *Energy Technology Perspectives. Sustainable Transport in an era of Urbanization*, IEA (Agència Internacional de l'Energia), Pretoria, 28-29 de gener de 2015. https://www.iea.org/media/workshops/2016/egrdtransportsystemsofthefuture/2EGRD_Teter_25_10_2016.pdf

THE POWER CONSUMPTION DATABASE [TPCDB-2017] http://www.tpcdb.com/list.php?type=11.

THINK PROJECT [Think-2011], *Transition Towards a Low Carbon Energy System by 2050: What Role for the EU?* Institucions Coordinadores: European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies, Florence School of Regulations, 2011. http://www.eui.eu/Projects/THINK/Documents/THINK2050Report.pdf

UE [UE-2010], *Directiva 2010/31/UE relativa a l'eficiència energètica en els edificis*, Parlament Europeu i Consell de la Unió Europea, Brussel·les, 19 de maig de 2010. https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf

UE [UE-2012], *Directiva 2012/27/UE relativa a l'eficiència energètica*, Parlament Europeu i Consell de la Unió Europea, Brussel·les, 25 d'octubre de 2012. https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf

UE [UE-2015], *Paquet sobre l'economia circular: preguntes i respostes*, Comissió Europea, Brussel·les, 2 de desembre de 2015. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_es.htm

UE [UE-2016], *Energia neta per a tots els europeus: desbloquejar el potencial de creixement d'Europa*, Comissió Europea, Brussel·les, 30 de novembre de 2015. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_es.htm

UNITED NATIONS [UN-2014], *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. https://esa.un.org/unpd/wup/.

UNITED NATIONS HABITAT [UNH-2016], *World Cities Report 2016*. http://wcr.unhabitat.org/main-report/

UPC [UPC-2012], *Estatuts de la Universitat Politècnica de Catalunya,* Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 20 de novembre 2012. http://www.upc.edu/normatives/ca/documents/estatuts-navegables-text-consolidat/estatuts-2012-versio-navegable

UPC, Campus de l'energia, https://campusenergia.upc.edu/el-projecte.

UPC, Campus de l'energia [UPC-CE-2017], Mobilitat sostenible i energia, Jornada "Mobilitat sostenible i energia (5/10/2015) https://campusenergia.upc.edu/ca/projeccio-social/nou-model-energetic.

VÁZQUEZ RODAS, A.; DE LA CRUZ LLOPIS, L.J. [Vazquez-2015], *A centrality-based topology control protocol for wireless mesh networks*, Ad hoc networks, vol. 24 (2015), pp. 34-54. DOI: 10.1016/j.adhoc.2014.07.026.

WILLIAMS, E.D. [Williams-2004], *Revisiting energy used to manufacture a desktop computer: hybrid analysis combining process and economic input-output methods,* IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004, pp. 80-85.

WISKERKE, J. [Wiskerke-2016], *Urban Food Systems*. In: *Cities and Agriculture: Developing Urban Food Systems*, De Zeeuw, H.; Drechsel, P, (editors) 2016; Londres: Routledge, pp. 1-2

ZHANG, C.; HINDLE, A.; GERMAN, D.M. [Zhang-2014], *The Impact of User Choice on Energy Consumption*, in IEEE Software, vol. 31, no. 3, pp. 69-75, May-June 2014. DOI: 10.1109/MS.2014.27.

ZHONGYING, W. (investigador principal) [Zhongyng-2016], *China Renewable Energy. Outlook 2016*, CNREC (China National Renewable Energy Center) 2016; (té el suport de diverses institucions europees I americanes). http://www.ea-energianalyse.dk/reports/1473_REO2016.pdf

Amb el suport de:

Energia Campus d'Excel·lència Internacional

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE