

# LA TRANSICIÓ ENERGÈTICA: IMPACTES, BENEFICIS I PERSPECTIVES A DIFERENTS ESCALES TERRITORIALS

**Laura À. Pérez-Sánchez**

*Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. laura.perez.sanchez@uab.cat*

**Resum:** La transició energètica forma part integral de l'essencial transformació a la sostenibilitat. Del sistema fòssil al renovable, hi ha un canvi de fonts d'energia en forma d'estocs finits a països estrangers que emeten gasos d'efecte hivernacle (un límit global) a l'ús més extensiu del sòl local i els estocs de materials estrangers per als captadors de fluxos renovables. Aquest nou paradigma de més baixa densitat de generació elèctrica i dependència de les condicions locals fa que la distribució territorial prengui protagonisme. Aquest article analitza la transformació del sistema elèctric a Catalunya des de la perspectiva regional. Els impactes i les variables actuen a diferents escales. No es pot optimitzar la planificació i el repartiment, ja que cada actor té una perspectiva i prioritització d'objectius pròpies. Per tant, aquesta planificació requereix reflexió i debat profunds sobre el model de país.

**Paraules clau:** transició energètica, energies renovables, ús del sòl, límits, ciència postnormal, densitat.

## THE ENERGY TRANSITION: IMPACTS, BENEFITS AND PERSPECTIVES ON DIFFERENT TERRITORIAL SCALES

**Abstract:** The energy transition forms an integral part of the essential transformation to achieve sustainability. Indeed, the transition from the fossil system to renewable energies requires a change from the energy sources involving finite stocks in foreign countries that emit greenhouse gases (a global limit) to a more extensive use of local land and of stocks of foreign materials for the collectors of renewable flows. This new paradigm based on a lower density of electrical generation and on dependence on local conditions means that territorial distribution acquires greater prominence. This article analyses the transformation of the electrical system in Catalonia from the regional perspective. The impacts and variables act on different scales. Planning and distribution cannot be optimized because each stakeholder has its own perspective and prioritization of goals. Consequently, this planning calls for in-depth reflection and discussion on the subject of the country's model.

**Keywords:** energy transition, renewable energies, land use, limits, post-normal science, density.

### 1. Introducció

La sostenibilitat és gairebé universalment entesa com un objectiu fonamental que hem d'assolir urgentment els anys vinents, fet que implica la transformació profunda de processos, infraestructures i pràctiques socials. La transició energètica n'és només una part, de la qual la més notòria és l'elèctrica, tot i que actualment el consum més elevat és el d'energia fòssil (figura 1 i figura 3). L'any 2015, l'electricitat va ser l'energia final majoritària només al sector serveis a Catalunya (figura 1). Al transport, l'ús final amb més rellevància, l'electricitat hi té un pes mínim. Altres vectors energètics contribueixen molt minoritàriament al consum energètic. Per tant, tenim la transformació, d'una banda, de la generació elèctrica, i de l'altra, dels usos finals d'energia fòssil que passarien a ser elèctrics, cosa que incrementaria la demanda d'electricitat.

El marc regulador actual per a la transició energètica a Catalunya s'ha fixat a la Llei 16/2017, del canvi climà-

tic, i al Pacte Nacional per la Transició Energètica (Generalitat de Catalunya, 2017), al Decret llei 16/2019, de mesures urgents per a l'emergència climàtica i l'impuls a les energies renovables, i al Decret llei 24/2021, d'acceleració del desplegament de les energies renovables distribuïdes i participades. D'aquesta legislació, sorgeixen dos documents estratègics: la *Prospectiva energètica de Catalunya 2050 (PROENCAT 2050)* (ICAEN, 2023), que recull les projeccions d'ús i de producció d'energia a Catalunya, i el Pla Territorial Sectorial per la Implantació de les Energies Renovables (PLATER) (el document definitiu del qual es preveu a finals de 2024). Aquesta transició s'havia vist aturada durant uns anys: entre 2013 i 2020, les tecnologies hidroelèctrica, eòlica i solar han produït només entre un 15% i un 20% d'electricitat (de la qual fins al 2021 almenys un 50% era degut a la hidràulica) i només s'ha arribat al 35% de potència instal·lada l'any 2022 (figura 2). No es va posar pràcticament tecnologia solar del 2013 al 2018 ni eòlica del 2012 al 2021. La urgència i les noves polítiques han generat

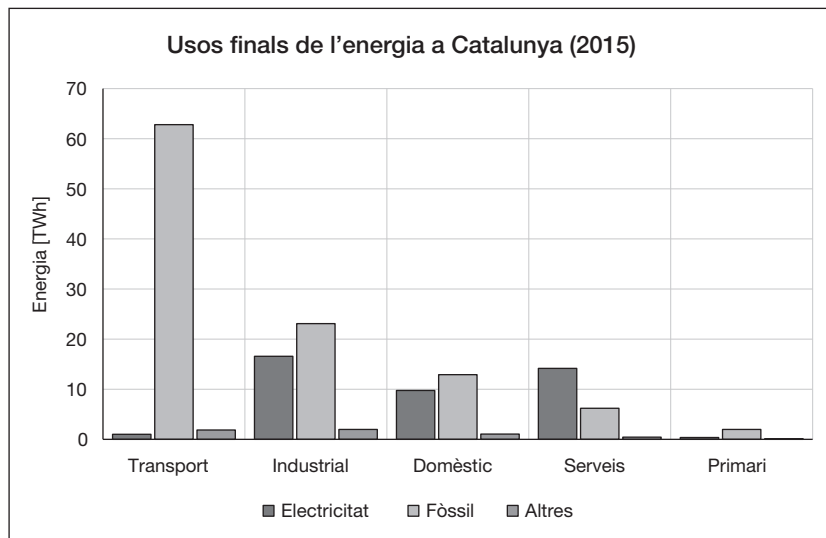


FIGURA 1. Consum d'energia final a Catalunya per sector (2015).  
FONT: Elaboració pròpia a partir de dades d'ICAEN, 2024.

una onada de proposicions de projectes per a la implantació de tecnologies eòlica i fotovoltaica, que han anat acompanyades de conflictes al territori. Aquests conflictes ja tenen precedents en relació amb altres tipus d'infraestructures, per exemple, centrals nuclears, centrals tèrmiques de gas, centrals hidroelèctriques, centrals petroquímiques, etc., i apareixen en diferent grau segons les desigualtats econòmiques i demogràfiques (Franquesa, 2020; Nel-lo, 2001).

La transició energètica no només implica la instal·lació de potència d'aerogeneradors i de plaques fotovoltaïques, sinó que és tota una transformació del sistema, que inclou canvis a les xarxes de transport i distribució, l'emmagatzematge, els mercats i altres productes energètics com la

biomassa, per exemple, per generació de calor. Si no s'implementessin energies renovables a Catalunya, les infraestructures de transport d'electricitat també generarien impactes al territori i n'induirien a altres indrets com l'Aragó. En aquest article, em centraré en la implementació d'instal·lacions d'energia eòlica i fotovoltaica per a la producció d'electricitat.

L'objectiu d'aquest article és analitzar el repte territorial de la transició energètica a causa del canvi de paradigma del model fòssil a un de basat en fluxos renovables. Descriuré la diversitat de variables característiques de les tecnologies, del sistema i les escales a les quals actuen. Posaré el focus en les energies eòlica i solar fotovoltaica, ja que són les tecnologies alternatives que més potencial

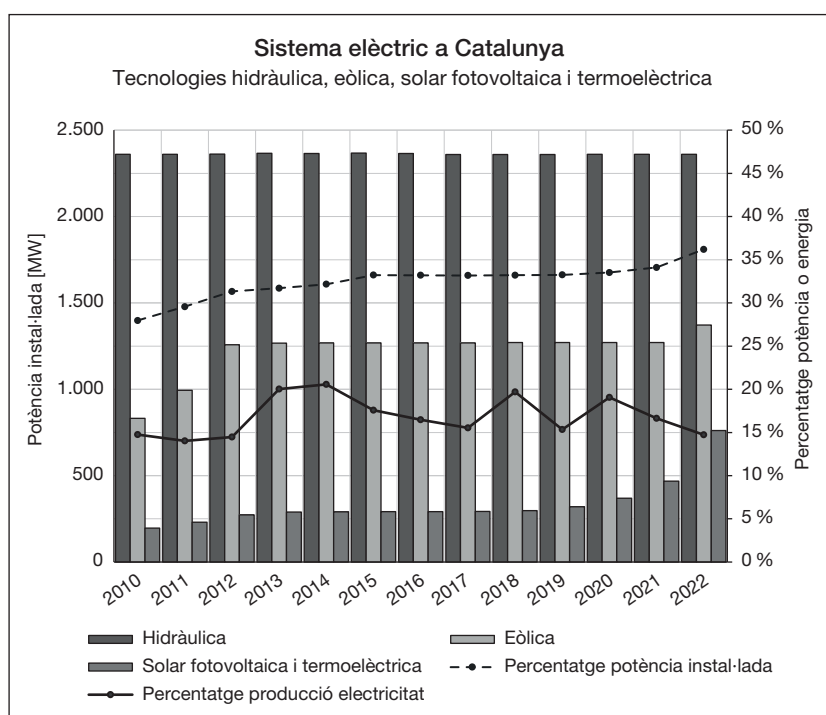


FIGURA 2. Potència instal·lada de tecnologies hidràulica, eòlica, solar fotovoltaica i termoelèctrica dins el sistema elèctric català (2010-2022) i percentatge d'aquestes tecnologies sobre el total en relació amb la potència instal·lada i la producció d'electricitat.  
FONT: Elaboració pròpia a partir de dades d'ICAEN, 2021a.

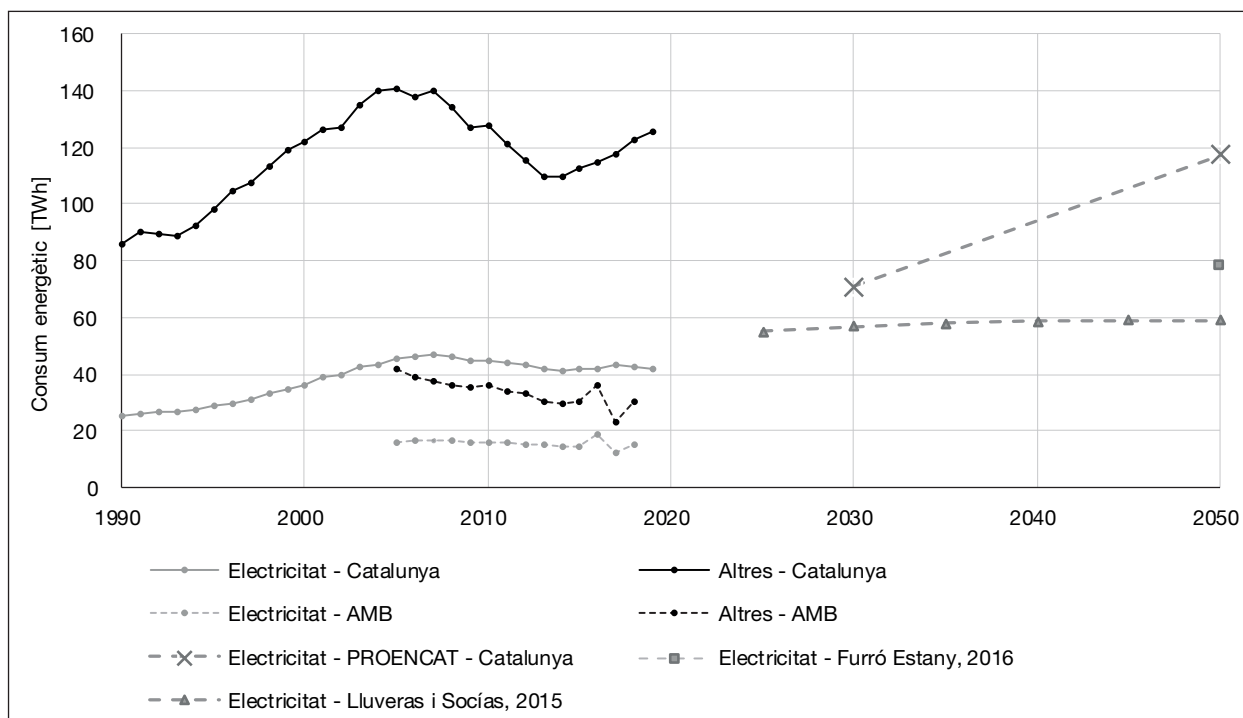


FIGURA 3. Consum energètic a Catalunya (1990-2019) i a l'àrea metropolitana de Barcelona (AMB) (2005-2018) i diverses projeccions de consum elèctric. FONT: Elaboració pròpia a partir de Furró Estany, 2016; ICAEN, 2023; Lluveras i Socías, 2015.

d'expansió tenen actualment. Hi ha precondicions tecnològiques i de límits naturals a diferents escales geogràfiques que són innegociables. També plantejaré les qüestions territorials relatives al consum, que estan relacionades amb la idiosincràsia de les ciutats, però també amb el model de país. El treball es complementa amb dades i projeccions de consum i generació d'energia a Catalunya.

En cap cas no pretenc definir com ha de ser el futur sistema elèctric català. Aquest article aporta algunes idees clau de les condicions tècniques i les implicacions socials i territorials. No hi ha solucions òptimes i, per tant, necessitem combinar la visió global, regional i local, i un debat i un procés per generar consens social en un context d'elevada incertesa i complexitat, de ciència postnormal. El repte no és només tècnic, sinó també governamental i social.

A més, aquest article pretén traduir al català un seguit de termes provinents de la literatura en anglès, per tal d'enriquir el llenguatge per encarar el repte i evitar la hipocognició (*hypocognition*). La hipocognició succeeix quan no hi ha paraules per definir idees, la qual cosa limita els imaginaris i les possibles solucions (Lakoff, 2010; Wu i Dunning, 2018), o, en el cas del català, pot arribar a arraconar la llengua en favor d'altres.

## 2. La sostenibilitat i el paradigma postnormal

La sostenibilitat del sistema energètic és un problema complex (*wicked problem*) (Rittel i Webber, 1973): un problema en què conflueixen moltes perspectives i dimensions no reduïbles a una unitat de mesura comuna, que s'han de

considerar alhora i generen tensions entre els diferents objectius. Per exemple, Catalunya podria reinvertir en energia nuclear com a font d'electricitat no fòssil per mantenir el funcionament de l'economia, però això seria a costa del risc nuclear i de l'escassetat del combustible importat. En rebaixar la pressió sobre una dimensió, s'incrementa sobre d'altres. No podem comparar objectivament un increment potencial de la mortalitat deguda a accidents nuclears amb una certa generació d'electricitat.

Podem dividir les diverses dimensions de la sostenibilitat en tres tipus principals de condicions a complir: la viabilitat ambiental (*feasibility*), la viabilitat (*viability*) i la desitjabilitat (*desirability*) socials (Giampietro *et al.*, 2014; Saltelli i Giampietro, 2017). És a dir, la compatibilitat amb els límits naturals, la compatibilitat de les dinàmiques socials i la tecnologia, i l'acceptació social o compatibilitat amb les expectatives i desitjos de la societat. La sostenibilitat no és només mitigar el canvi climàtic i altres degradacions del medi (viabilitat ambiental), sinó també garantir el sosteniment de la societat amb el manteniment de fluxos suficients d'energia de qualitat (viabilitat social).

La ciència que analitza problemes socials i a més serveix per produir estratègies de canvi no encaixa en la concepció actual de la ciència positivista, en la qual es busquen relacions de causalitat i òptims quantificables. Els governs declaren basar-se en evidència científica per fer polítiques, però alhora els contextos socials i tecnològics són complexos, i això fa que no hi hagi una veritat absoluta, sinó diferents perspectives i propostes. Això no vol dir que no hi hagi certes i falsedats i caiguem en un relativisme extrem, però no hi ha una funció objectiu comuna

que es pugui optimitzar. Les certeses tècniques dels dispositius d'energies renovables depenen del context on s'instal·len i estan afectades per qüestions socials (preus i costos, propietat, normatives, etc.).

Els problemes de sostenibilitat s'emmarquen en el paradigma de la ciència postnormal (Funtowicz i Ravetz, 1993), en què «facts are uncertain, values in dispute, stakes high and decisions urgent»<sup>1</sup> (Funtowicz i Ravetz, 1993, p. 744). Es prenen decisions en un context d'urgència i d'inevitable incertesa que no es pot solucionar només incrementant la recerca, sinó que és inherent a les dinàmiques socials (Benessia *et al.*, 2016). El coneixement científic i les innovacions socials i tecnològiques evolucionen al mateix temps que la presa d'accions. Aquest paradigma ha quedat palès en la manera d'abordar la pandèmia de la covid-19. Les mesures per limitar els contagis s'havien de considerar en el context econòmic i de capacitat del sistema mèdic, tant per a aquesta malaltia com per a la resta i per a la salut mental. Tot això, considerant que, en realitat, no teníem una certesa sobre les dinàmiques i causes de contagi, les barreres més efectives, etc. En el cas de l'energia, per exemple, hi ha tecnologies de les quals s'espera que tinguin un paper en el futur, però que actualment no tenen prou maduresa tecnològica.

A més, als grups de persones afectades els impacten de manera diferent les dimensions en joc. Les persones que quedarien afectades per possibles problemes a les centrals o magatzems de residus nuclears poden tenir una perspectiva diferent de les que viuen prou lluny per només gaudir de la seva producció elèctrica i no patir-ne directament el risc. Els diferents valors i perspectives posen llum a diferents problemes i fan proposar diferents solucions, guiades per visions polítiques d'organització social i de futurs desitjables. Les preocupacions, solucions i mecanismes estan relacionats entre ells (Di Felice, Renner i Giampietro, 2021). Cada actor fa les seves pròpies valoracions no quantitatives a l'estil d'anàlisi multicriteri, que es fan intuïtivament o inconscientment d'acord amb els paràmetres personals del que suposa un risc assumible, de les necessitats socials, del coneixement del sistema, els valors, la perspectiva regional, etc. Exemples d'aquesta diversitat de perspectives són els clústers discursius entorn de l'energia eòlica a Catalunya trobats per Ariza-Montobbio i Farrell (2012), les posicions d'actors socioeconòmics a diferents escales regionals a Catalunya respecte als parcs eòlics estudiades per Gamboa i Munda (2007) o els diferents rànquings de prioritats de criteris d'organització espacial d'aerogeneradors a Alemanya segons diferents grups d'interès (Lehmann *et al.*, 2021).

En el debat actual sobre la transició energètica, l'acadèmia i la societat han posat sobre la taula una diversitat de coneixements i narratives que posen el focus en la biodiversitat, en la gestió i propietat, la justícia territorial, la

urgència de la transició o en la necessitat de determinats nivells d'energia per poder oferir un certa qualitat de vida. Els analistes també hi fan un paper i estudien des de la seva pròpia perspectiva, en part definida per la seva especialitat i el context personal. Així, és inevitable que els articles sobre transició energètica estiguin «esbiaixats» i no podem pretendre esperar-ne objectivitat. Tot i el meu esforç a fer una revisió exhaustiva dins de l'objectiu de l'article, potser es pot llegir entre línies la meua formació, el lloc on visc i les meves prioritats. En cap cas no voldria fer bandera de neutralitat, com no la té ningú que es dediqui a aquests reptes.

Així doncs, en el paradigma de la reflexivitat en què se situen els problemes de sostenibilitat, cal també incloure-hi els valors i les dinàmiques socials com el poder i la participació, paràmetres que no són quantificables (Funtowicz i Ravetz, 1994; Kovacic i Giampietro, 2015; Martinez-Alier, Munda i O'Neill, 1998). Això fa necessàries la participació i una recerca diversa. En comptes de cercar solucions òptimes o certeses absolutes, necessitem garantir la qualitat dels processos de presa de decisions. L'objectiu, doncs, és identificar els límits tecnològics i naturals clau, i des d'allà trobar solucions de compromís entre diferents, però legítims, criteris i percepcions del significat de millora, de suficiència, de risc, etc.

### 3. Desfer-nos del paradigma fòssil

Per entendre cap on ens hem de dirigir, primer de tot hem de saber on som. L'ús dels combustibles fòssils ha portat avenços tecnològics i un cert benestar material, almenys per part de la població mundial. Lamentablement, tota activitat econòmica té un impacte. Per exemple, la crema de combustibles és una de les principals causes de la crisi climàtica. Per això, molts dels recursos existents es podrien considerar «no extraïbles» donats els pressupostos d'emissió de gasos d'efecte hivernacle (GEH) que s'han estimat per evitar increments massa elevats de les temperatures globals i dels impactes climàtics (Welsby *et al.*, 2021).

A més, el límit de concentració de GEH a l'atmosfera s'ha de respectar considerant totes les activitats que en produeixen, no només les energètiques. Per tant, hi ha una discussió política prèvia sobre el repartiment d'emissions globals en el temps, per països i, dins dels països i regions, per sectors. Tot i que coneixem l'existència del límit de la concentració de GEH a l'atmosfera, no podem contextualitzar-lo en el problema de la transformació del sistema energètic català amb un valor de referència d'emissions clar al qual limitar-nos. La difícil governança mundial dels límits de GEH no és només per la seva escala geogràfica, sinó també per les escales temporals. Les conseqüències són cumulatives, amb retards respecte a la generació d'impactes, i tenen punts d'inflexió, de manera que existeix un nivell d'escalfament que no podem evitar, siguin quines siguin les accions que prenem ara.

1. «Els fets són incerts; els valors, en disputa; els interessos, grans, i les decisions, urgents». La traducció és de l'autora.

En termes de viabilitat social, els combustibles fòssils formen part del nostre dia a dia i els necessitem per dur a terme les necessitats més bàsiques. Són els que fan i poden fer funcionar molta maquinària i la majoria dels vehicles. Un dels problemes del paradigma fòssil és que la qualitat dels recursos ha empitjorat i continuarà empitjorant, ja que els més fàcils d'extreure es van exhaurint (Brockway *et al.*, 2019; Hall, Lambert i Balogh, 2014; Solé *et al.*, 2018). L'evolució inevitable del sistema fòssil cap a uns recursos de menor qualitat fa que se n'hagin d'invertir més per transformar aquesta energia primària i obtenir la mateixa quantitat d'energia neta. D'aquesta manera, els usos finals fòssils actuals necessitarien molta més energia primària per al mateix servei, més extracció de petroli. Si s'han de produir grans quantitats d'energia només per poder produir i transformar-la, es pot arribar a un punt en què no quedi suficient energia neta per repartir en els usos finals existents, que són els que efectivament proveeixen els serveis. Georgescu-Roegen exemplifica aquesta situació límit de manera senzilla amb un paral·lisme amb martells que fabriquen martells:

A simple example of a nonviable technology is this. Imagine a technology in which the only capital tool is a hammer that hammers the same type of hammers from freely found stones. The same hammer is used to crack some very hard nuts which are the only food of the population. If one hammer cannot last long enough to hammer another hammer and crack a specific amount of nuts to maintain the population, then that technology is not viable.<sup>2</sup> (Georgescu-Roegen, 1983, p. 29)

Amb aquests potencials problemes de subministrament i impactes dels combustibles fòssils, és evident la necessitat d'una transició a fonts renovables. Hem de transformar el sistema elèctric, mentre mantenim el subministrament als usos finals per garantir el funcionament de l'economia. Això vol dir que s'ha d'establir un balanç i una estratègia a curt i llarg termini entre els objectius de seguretat energètica i canvi climàtic. Si exhauríssim els recursos fòssils dissipant-los en usos finals i no expandíssim la infraestructura renovable a un ritme suficient, ens acabaríem trobant en una situació de bloqueig. No quedaria energia suficient per construir capacitat renovable ni per mantenir tots els usos finals, i, per tant, tindríem grans quantitats d'actius obsolets fòssils i un sistema renovable no suficient per mantenir les necessitats cobertes ni per reproduir-se i expandir-se.

Actualment, existeix una paradoxa de tecnologia per a la sostenibilitat que requereix *inputs* fòssils, com amb la

2. «Un exemple senzill d'una tecnologia no viable és aquest. Imagineu una tecnologia en què l'únic capital és un martell que serviria per fabricar altres martells iguals a partir de pedres que es troben lliurement. El mateix martell s'utilitza per trencar uns fruits secs molt durs que són l'únic aliment de la població. Si un martell no pot durar prou per fabricar un altre martell i alhora trencar la quantitat necessària de fruits secs per mantenir la població, aleshores aquesta tecnologia no és viable.» La traducció és de l'autora.

producció d'aerogeneradors (Smil, 2016b). La instal·lació d'aerogeneradors i de plaques solars està fonamentada en processos que requereixen combustibles fòssils: transport, mineria, transformació de materials, etc. Per tant, de moment només ens ofereix una pròrroga del sistema fòssil. Les inversions no només són relatives a la substitució d'instal·lacions de generació elèctrica. Necessitem fabricar, per exemple, bateries per emmagatzemar electricitat, però també les fàbriques que les produeixen, incloent-hi la transformació de processos bàsics, com, per exemple, la producció d'acer a partir del reciclatge de residus o amb hidrogen, o substitució de flotes de camions per altres d'elèctriques o d'hidrogen. Tot el sistema ha de funcionar a partir de fluxos renovables.

Per tant, podem acabar en una situació de bloqueig si no se substitueix el sistema fòssil per un d'alternatiu, i és urgent la transformació planificada i coordinada del sistema, tant d'usos finals com de producció. Tot això estaria agreujat pel fet que existeix una dependència exterior dels recursos naturals amb tensions geopolítiques creixents. Ni Catalunya ni la Unió Europea tenen estocs propis suficients de petroli, gas, carbó o altres materials. Això també ens produeix una perspectiva i experiència del sistema energètic actual diferents de les regions on hi ha impactes per l'extracció.

En conclusió, entre d'altres, hi ha dos límits biofísics clau en relació amb els combustibles fòssils: la finitud dels estocs (i la inexistència al territori) i els GEH. En aquest article, vull posar sobre la taula la diversitat de dimensions que són rellevants per analitzar els problemes de sostenibilitat, però, sens dubte, aquests dos límits biofísics són fonamentals i funcionen a escala global. Podríem parlar també d'altres, com la contaminació local a les ciutats i entorns de refineries, per exemple.

#### 4. Futurs renovables, variabilitat, densitat i impactes als usos del sòl

Les energies renovables aprofiten fonts d'energia no exhauribles, però no deixen de tenir impactes i desavantatges, com tota activitat humana. Per exemple, tot i ser inexhauribles, en podem aprofitar una quantitat limitada en un any. Són reproduïbles en el temps, però depenen de l'espai i interfereixen en els cicles naturals, per exemple, el vent i els rius. D'aquesta manera, entren en joc altres variables com l'escassetat de materials, la dependència de cicles naturals (climatologia i variabilitat) i la baixa densitat. Aquests dos últims són clau en el conflicte urbà-rural.

Fins ara, dins del paradigma fòssil, s'han exportat els impactes als països on s'extreuen els recursos fòssils o nuclears i als llocs on hi ha refineries i instal·lacions de transport. Un dels grans avantatges dels combustibles fòssils és la seva capacitat d'emmagatzematge i de transport, que en garanteix una gestió flexible. Les pèrdues del transport d'electricitat fan que les instal·lacions de captura i transfor-

mació d'energia primària se situïn prioritàriament tan pròximes com sigui possible als usos finals.

Amb el sistema tèrmic, les plantes estaven centralitzades i en calia només un nombre finit i se situaven en punts concrets del territori, mentre que l'extracció d'energia primària a través de la mineria (gas natural, urani, etc.) té lloc directament fora del territori. Ara, els captadors de fluxos renovables ocupen extensions molt més grans per arribar a potències equivalents. Per exemple, la central nuclear de Vandellòs té una potència de 1.087 MW, i un dels projectes que han començat a generar electricitat el 2022 a Catalunya, el parc eòlic Solans, en té 50 MW i 20 aerogeneradors (Eolia Renovables i Natura Medi Ambient, 2010; Segre, 2022). És a dir, la central nuclear té més de vint cops la potència d'aquest parc.<sup>3</sup> La baixa densitat de les tecnologies alternatives fa que una alta ocupació del sòl sigui necessària per poder arribar a potències similars als usos actuals. La densitat de potència d'un jaciment de petroli està entre dos i tres ordres de magnitud per sobre d'una central hidroelèctrica o solar fotovoltaica (Capellán-Pérez, De Castro i Arto, 2017; Scheidel i Sorman, 2012; Smil, 1984, 2008 i 2016a; Van Zalk i Behrens, 2018).

A més, les tecnologies renovables depenen del context on s'instal·len. Requereixen un cert nivell de potencial solar o eòlic, que limita les localitzacions apropiades per latitud i climatologia. Una localització poc favorable dels dispositius pot fer que fins i tot no es recuperi l'energia invertida en la seva producció. Aquest és un cas molt extrem. Però aquesta variabilitat fa que no hi hagi un rendiment de referència dels aparells tan clar com podia haver-hi amb centrals tèrmiques. D'aquesta manera, els recursos necessaris per assolir una determinada producció depenen de la localització. Un model de generació regionalment equitatiu comporta més materials i ús del sòl en comparació amb un model que maximitzi la producció amb les localitzacions més favorables.

En exemples de Suïssa i Alemanya, s'ha estudiat el balanç entre cost del sistema i repartiment territorial de les instal·lacions. En el cas de Suïssa, un increment del repartiment regional *per capita* del 50% respecte a l'escenari de menors costos incrementa els costos de producció un 18% (Sasse i Trutnevyte, 2019). Drechsler *et al.* (2017) examinen el cas d'Alemanya i calculen que un escenari de més equilibri territorial incrementa el cost de l'electricitat només un 2%. Si, a més, s'inclouen els costos de transmissió, l'escenari de repartiment territorial s'incentiva més perquè apropa la producció i el consum. Tots dos estudis només inclouen una tercera part o menys del consum elèctric actual i no preveuen la necessitat d'emmagatzematge. En un escenari de més elevada penetració d'energies renovables i d'electrificació, segurament s'haurien d'ocupar tant les zones amb més potencial com les que busquen un repartiment més equitatiu amb menor rendiment.

3. Faig aquesta comparació tot i que aquestes potències no són equivalents: la nuclear és potència de base, amb una generació constant, mentre que l'eòlica és variable segons el vent.

Podem trobar localitzacions adients per a les energies renovables en àrees més o menys antropitzades. A part del possible aprofitament de cobertes per a l'energia fotovoltaica, hi ha una competència potencial amb els altres usos del sòl de baixa densitat com l'agricultura, les àrees naturals o la silvicultura. La transició ecològica requereix la visió holística de les interaccions entre sectors, i la nova rellevància de l'ús del sòl fa que el sistema energètic i l'agricultura ara tinguin molts més punts en comú i en conflicte que en el paradigma energètic anterior. L'ús del sòl, les demandes de biomassa i energia i les densitats de producció per a cada tipus de sistema i localització (compatibilitats, idoneïtats) generen un sudoku que hem de saber resoldre (Giampietro i Bukkens, 2015). Existeixen potencials sinergies com l'energia agrovoltaica, sobretot en un context de sequera i estrès hídric (Barron-Gafford *et al.*, 2019; Weselek *et al.*, 2019). Però, en general, hi ha una mera substitució d'usos. En el context econòmic actual, els usos agrícoles poden suposar una competència dèbil als nous usos energètics si considerem les dificultats econòmiques per portar endavant les explotacions i l'envelliment de les persones que s'hi dediquen. Les condicions d'accés al sòl són clau, ja que l'existència de recurs eòlic no explica totalment l'actual repartiment d'instal·lacions eòliques a Catalunya, que queden concentrades al sud (Spanish Wind Energy Association, 2023).

L'ús del sòl, una variable característica de les viabilitats ecològica i social (*feasibility* i *viability*), es converteix en una variable característica de la desitjabilitat (*desirability*) quan la considerem en termes de percepció del paisatge. Per exemple, les poblacions locals de la Terra Alta contràries a aquests projectes reivindiquen la consideració de l'impacte al paisatge en detriment de la producció eòlica (Saladié Gil, 2016; Zografos i Saladié, 2012).

Els aerogeneradors terrestres (*onshore*) que s'instal·len actualment tenen uns 125 m de diàmetre de rotor (5 MW), i està previst que en el futur en tinguin 250 m (20 MW). A Catalunya, l'orografia suposa un límit important a la grandària màxima a causa del transport de les pales. A més, les localitzacions on generalment hi ha més recurs eòlic queden als pics dels turons, on l'impacte paisatgístic és més gran. Com més altura, el recurs eòlic és en general millor, i, a més, l'electricitat generada està directament relacionada amb l'àrea que escombren les pales, que va en relació amb el quadrat del diàmetre (Hansen, 2008). Les emissions de GEH de cicle de vida per energia produïda són inversament proporcionals respecte a la grandària de la turbina (Caduff *et al.*, 2012).

Amb les instal·lacions solars no existeix el problema de l'altura, però poden arribar a ocupar grans extensions. Martín-Uceda *et al.* (2021) han fet una anàlisi multivariable de la província de Girona i els sòls que podrien ser utilitzats per a instal·lacions solars, però sense considerar potencials de producció, que inclou: classificació, aptitud agrològica i valor natural del sòl, sòls de protecció especial, cobertes del sòl, pendent i espais de connectivitat ecològica. Aquest informe dona com a apta una àrea molt

localitzada d'unes 15 kha. Per no generar grans impactes locals deguts a la concentració, s'hauria de desestimar gran part d'aquesta superfície. Per exemple, al voltant del 15,5% de la comarca del Pla de l'Estany es consideraria apta segons aquest informe.

Altres estudis a escala catalana han calculat els usos del sòl necessaris per a la generació elèctrica. Com a referència, López Redondo (2017) va estimar que l'any 2015 les instal·lacions de generació d'electricitat a Catalunya ocupaven 13.223 ha, de les quals 8.036 ha eren d'instal·lacions d'energia hidroelèctrica, 4.024 ha d'eòlica (considerant l'àrea ocupada per un radi de 150 m de les torres) i 796 ha de fotovoltaica. L'escenari objectiu de la prospectiva energètica de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) per al 2050 (PROENCAT) és de 33.152 MW d'energia solar fotovoltaica i 26.636 MW d'energia eòlica, la qual cosa vol dir multiplicar per 45 i per 20 la potència actual corresponentment (ICAEN, 2021a). Es calcula que seran necessàries unes 80 kha (2,5% del territori de Catalunya) addicionals per a la implementació d'energia eòlica i solar fotovoltaica respecte a la situació actual.

Existeixen altres estudis que calculen les necessitats potencials d'àrea de les energies renovables a Catalunya a l'horitzó del 2050 amb una gran variabilitat de consums projectats (figura 3). Furró Estany (2016) va fer una aproximació de l'ocupació de sòls per a la captació d'energies renovables amb tecnologia actual en 64 kha (2% aproximadament) i 8 kha de cobertes. Lluveras i Socías (2015) va projectar cinc escenaris diferents, amb un rang d'ocupació d'entre 5,5 kha (0,2%, escenari de polítiques actuals) i 46,4 kha (1,5%, escenari amb eliminació de combustibles fòssils i reducció de la demanda d'energia primària), que corresponen a un 2,4% i un 22,9% del territori artificial (6,2% del territori de Catalunya).

Per posar-ho en context, la figura 4 mostra els percentatges destinats a cada ús del sòl a Catalunya l'any 2020.

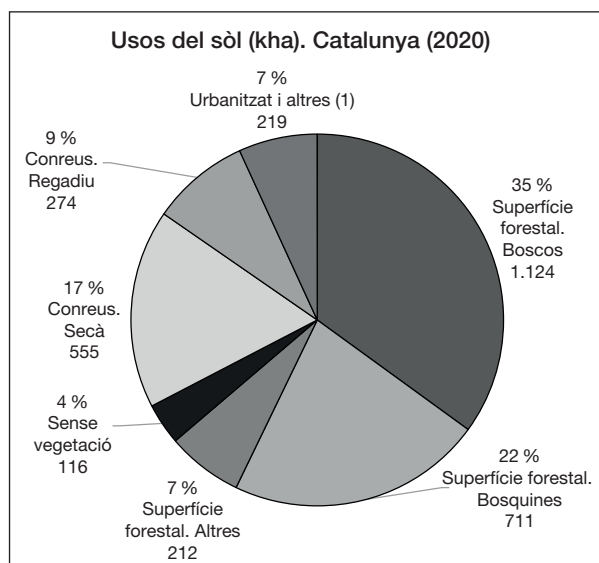


FIGURA 4. Usos del sòl a Catalunya (2020).  
FONT: Elaboració pròpia a partir de dades d'IDESCAT, 2022c.

Aquests percentatges poden semblar petits en principi, però estan en el mateix ordre de magnitud que algunes de les comarques i no es podrien cobrir només amb cobertes. Per exemple, la comarca sencera del Maresme ocupa ja unes 40 kha. Aquests valors no depenen només de la demanda i de les diferents configuracions de generació elèctrica, sinó també del mètode de càlcul de l'àrea de l'energia eòlica, atès que l'ocupació de la base de les turbines és relativament baixa i possibilita la sinergia amb altres usos, però generalment es considera una extensió més gran per reflectir també l'àrea escombrada per les pales o l'àrea d'accés, i fins i tot àrees superiors que indiquen l'impacte paisatgístic.

### 5. Escales i variables d'anàlisi del sistema elèctric

En moltes ocasions, s'emmarca la transició energètica en la mitigació d'emissions de GEH i el canvi climàtic. Tanmateix, les variables rellevants per a l'anàlisi de sistemes energètics són nombrosos i actuen a diferents escales. A la taula 1 faig un recull no exhaustiu d'alguns factors que poden ser interessants a diferents escales. Algunes es refereixen a aspectes qualitius difícils de mesurar (per exemple, valor del paisatge) o a factors quantitius específics de la localització concreta (per exemple, soroll) i no són comparables entre elles a través d'una unitat comuna. Un altre exemple de problema complex analitzat a diferents nivells i dimensions és el de l'escassetat d'aigua a Israel realitzat per Kovacic (2014 i 2017). En aquell exemple, variables com l'aigua disponible per recarregar aqüífers o l'impacte a la biodiversitat actuen a l'escala ecosistèmica; l'accés a l'aigua i el consum *per capita*, a l'escala societat, i a l'escala agricultura tenim consum per hectàrea, contribució al PIB i llocs de treball.

Les variables funcionen a diferents escales espacials i això afegeix complexitat en l'avaluació de les solucions. Per exemple, les reserves mundials de materials tenen un límit global molt difícil de calcular respecte al repartiment regional o el cas més concret d'un conflicte local per un projecte. Aquests impactes i criteris actuen localment, regionalment i internacionalment. Utilitzo el terme *regional* a propòsit, ja que és un concepte semànticament obert, però en general m'hi referiré com a escala Catalunya. Part del debat dels sistemes elèctrics és, de fet, la seva escala principal de disseny i funcionament, del qual deriven conceptes com la sobirania i l'autosuficiència: municipi, comarca, comunitat autònoma, estat o continent. Els mateixos conceptes *sobirania* i *autosuficiència* poden ser fets servir i defensats per diferents actors amb significats pràctics diferents. La decisió política i tecnològica de l'escala de disseny i el tipus de gestió afecten el disseny de la infraestructura.

Algunes de les variables locals són escalables a l'escala regional, per exemple, l'ús del sòl o la producció elèctrica, en contrast amb d'altres que són intrínsecament locals com el soroll, o les compatibilitats tècniques. A la incom-

TAULA 1

Variables locals, regionals i globals rellevants per a l'anàlisi d'instal·lacions i de sistemes de producció d'electricitat (no exhaustiu)

	Variables	Unitat	Descripció o exemples
Local	Usos del sòl	ha	Altres usos existents. Incompatibilitats i sinergies.
	Paisatge		Percepció i impactes al paisatge.
	Soroll	dB	
	Contaminació i altres emissions	kg	
	Risc d'accidents		
	Ús d'aigua	m <sup>3</sup>	Neteja, usos tèrmics en cicles termodinàmics, etc.
	Afectació al clima i cicles naturals		Afectacions en fluxos de vent i rius, efecte illa de calor.
	Biodiversitat		Mort d'aus per impacte amb les pales, barreres a corredors ecològics, etc.
	Retorn econòmic	€, h	Impostos, altres ingressos i llocs de treball.
	Potencial energètic	MWh	Irradiació solar, característiques del vent.
	Demanda local	MWh	Necessitats locals d'energia.
	Potencials canvis de demanda	MWh	Potencials canvis de demanda energètica local (electrificació, eficiència, suficiència, etc.).
	Incompatibilitats tècniques		Inclinació i característiques mecàniques del terreny, vent, etc.
	Infraestructura		Connexions a la xarxa i accés per a construcció i manteniment.
Regional	Producció elèctrica	TWh	Agregació de la producció a escala micro més el comerç entre regions.
	Demanda elèctrica	TWh	Necessitats actuals d'energia.
	Potencials canvis de demanda	TWh	Potencials canvis de demanda energètica regional (electrificació, eficiència, suficiència, etc.)
	Comerç	TWh	Possibilitat de balanç i compatibilitat de variabilitat de sistemes elèctrics veïns, possibilitat de vendre o comprar energia (importacions o exportacions netes).
	Usos del sòl	ha	Agregació de l'escala micro.
	Cost	€	Costos del sistema.
Global	Materials	Mton	Reserves de minerals.
	Gasos d'efecte hivernacle	Mton CO <sub>2</sub> e	Objectius d'emissions.

FONT: Elaboració pròpia.

parabilitat de les variables, hem de sumar-hi la dificultat d'adreçar el fet que actuen a diferents escales.

De vegades, algunes variables com la producció i el consum elèctric interactuen a diferents escales a l'hora de fer-ne una planificació. Per exemple, els objectius de generació i demanda elèctrica regionals requeriran diferents quantitats i distribucions d'instal·lacions a l'escala local, mentre que l'agregació de la producció de diferents configuracions d'instal·lacions concretes al territori generarà un determinat subministrament d'electricitat. S'ha de trobar l'equilibri entre un cert objectiu de nivell de consum energètic i les característiques del territori, les regulacions i la negociació entre actors i altres sectors afectats. El procés de decisió hauria d'incloure un debat sobre diferents configuracions de producció energètica al territori i les possibilitats que ofereix pel que fa al consum final, anant de manera iterada de les escales locals a les regionals.

Però la realitat actual és una altra, almenys fins que no s'aprovi el PLATER i existeixi una anàlisi del repartiment territorial i de zones aptes per a la generació elèctrica. Fins

ara, els governs estableixen unes normes davant les quals les empreses actuen de manera individual i projecte a projecte. Els governs impulsen directament instal·lacions només en casos molt concrets, generalment a l'espai i edificis públics (per exemple, escoles i hospitals). Per tant, el territori es troba amb l'arribada de projectes descontextualitzats dels objectius nacionals que fins i tot es presenten amb greus incompliments de les condicions. En aquest nou paradigma renovable de moltes instal·lacions de relativa baixa potència, qualsevol projecte eòlic o solar representarà una part petita del pastís de consum total a Catalunya. D'una banda, podria considerar-se «negligible» a escala catalana, i, de l'altra, un gran excedent si es compara amb el consum municipal. S'espera que d'alguna manera la suma de projectes individuals pugui atendre els objectius tant d'emissions com de demanda energètica. Aquesta perspectiva incrementalista pot arribar a generar impactes acumulatius o decreixement de l'eficiència global per la descoordinació. Per exemple, parcs eòlics propers afecten la qualitat del vent, cosa que fa disminuir la generació



que es considerava individualment. Part de l'energia del vent que passa per una turbina es queda per a la generació i l'estela té menor velocitat i qualitat (*wake effects or wind theft*), la qual cosa redueix el factor de capacitat de la suma de parcs, tot i que *a priori* aquest efecte és petit (Lundquist *et al.*, 2019). Aquesta visió projecte a projecte no permet una anàlisi estratègica que faci avaluar realment les necessitats energètiques posant-les en relació amb els costos globals i locals, tant econòmics com en usos del sòl i paisatgístics, que s'han de calcular per poder arribar a certs consums energètics finals.

L'abast d'aquest article principalment són les relacions locals i regionals. Però és essencial situar Catalunya no només en el seu context de desigualtats internes, sinó en el context mundial. Aquest nivell és el d'alguns dels límits més reconeguts, com el de la concentració de GEC a l'atmosfera o les reserves de combustibles fòssils i materials. Aquestes dinàmiques globals són més complicades d'abordar perquè hi intervenen molts més sectors i països i hi ha una incertesa en la definició dels límits, per exemple: quantes reserves existeixen i es podrien extreure, o quantes emissions podem generar, que depenen de la velocitat de producció d'emissions i de la incertesa dels complexos models de cicles del carboni naturals. Respecte a aquests límits materials i d'emissions, estudis a escala global indiquen la necessitat no només d'un canvi tecnològic, sinó també d'un decreixement de l'ús de l'energia (Bouckaert *et al.*, 2021; Capellán-Pérez *et al.*, 2020; De Blas, Miguel i Capellán-Pérez, 2019; García-Olivares *et al.*, 2012; Grubler *et al.*, 2018; Valero *et al.*, 2018). Aquests límits fan que els recursos disponibles s'hagin de repartir entre sectors i països. En aquest context, Catalunya se situaria entre les regions que haurien de fer la transició ecològica més ràpidament i amb un ús relatiu de recursos menor que els països que han gastat menys dels recursos globals històricament. La relació de repartiment concret entre països és un gran repte polític, que, a més, és complex de dur a terme en el repartiment sectorial regional.

D'una altra banda, també hi ha la dificultat afegida de la consideració dels recursos del futur i de l'escala intergeneracional, que és transversal a les mostrades a la taula 1. El sistema hauria de ser viable també per a les generacions futures. Les estratègies actuals a curt termini no haurien de menystenir els seus interessos, és a dir: traslladar-los els impactes o exhaurir-los els recursos. Les generacions futures no poden participar en les discussions i planificacions actuals, tot i que el fet de fer possibles les seves vides forma part de la idea de sostenibilitat a la seva arrel. La inclusió d'aquesta dimensió és alhora imprescindible i molt difícil de quantificar i fins i tot de valorar qualitativament (Padilla, 2002; Weston, 2012).

L'existència d'objectius o impactes a diferents escales fa que el repartiment sigui un repte que implica una discussió política. La posició de cada actor dins del sistema té implicacions en la percepció dels objectius, impactes i beneficis i pot generar visió de túnel. Per tant, un punt clau de la transició energètica és establir mecanismes de repre-

sentació o participació suficients per als diferents col·lectius que perceben els problemes i impactes de maneres diferents. En part, aquest procés necessitaria també un exercici d'empatia i de respecte per tal d'esdevenir una negociació de bona fe que donés pas a solucions realment consensuades tant de producció i localització com de model de gestió i organitzatiu, i nivells de consum. Trobar l'equilibri entre posicions, necessitats i limitacions tecnològiques i ambientals deixa clar que no hi ha una solució òptima, sinó un conjunt de possibles futurs que han de respectar els innegociables i alhora difícils de definir límits naturals i han de ser considerats prou bons. Utilitzo l'expressió «prou bons», però en realitat aquests futurs seran més o menys desitjables per a diferents membres de la societat. La valoració conjunta de tots els aspectes suposa un repte.

## 6. La demanda energètica, l'autosuficiència i la sobirania

Un pas essencial en la planificació de la transició energètica és una anàlisi profunda de les necessitats socials, les activitats que les realitzen i el seu repartiment territorial. Hem de valorar el tipus d'economia que volem, que tindrà associats uns certs nivells d'ús d'energia, i explorar la possibilitat d'organitzacions socials alternatives que redueixin el consum sense afectar el benestar. Al llarg de la història, diferents configuracions socials i accés a recursos naturals han produït i necessitat diferents quantitats d'energia (Cook, 1971; Debeir, Deleage i Hemery, 1991; Smil, 2008; White, 1943). El consum energètic està relacionat amb el grau de desenvolupament social, tot i que, arribat un determinat consum, ja no trobem millora en el benestar (Akizu-Gardoki *et al.*, 2018 i 2020; Arto *et al.*, 2016).

Els consums finals per sectors (figura 1) i regions (taula 2) han de ser coherents amb la producció d'electricitat. Una implantació excessiva de renovables podria xocar amb límits naturals i suposar un consum de materials o d'usos del sòl no sostenible, però una implantació massa petita podria fer no viables alguns sistemes socioeconòmics i no arribar a abastir les necessitats de la societat. El balanç i la relació entre consum i producció donen protagonisme a termes que tenen un caire geogràfic i de gestió del sistema, responen a les preguntes «qui?» i «on?»: sobirania, autoconsum, democràcia, propietat, etc.

A la taula 2 trobem la població, el PIB i el percentatge de valor afegit brut (VAB) a serveis, el consum elèctric i la potència instal·lada per comarques, províncies i el total de Catalunya l'any 2013 (les dades de producció elèctrica no estaven completes). Com es pot veure a la figura 2, la potència instal·lada l'any 2013 encara és bastant representativa de la situació actual. Dues de les comarques amb més potència instal·lada són el Baix Camp (16,1 % de la potència instal·lada) i la Ribera d'Ebre (20,2%), quan només consumeixen el 2,5 % i 0,2%, respectivament, de l'electricitat a Catalunya, a causa de la presència de centrals d'alta densi-

TAULA 2

Població (IDESCAT, 2022b), PIB (IDESCAT, 2022a), percentatge de valor afegit brut al sector serveis (IDESCAT, 2022d), consum elèctric (Generalitat de Catalunya, 2023) i potència instal·lada de generació elèctrica (ICAEN, 2021b) a les comarques de Catalunya (2013)

Regió	Població	PIB	Valor afegit brut al sector serveis	Consum elèctric		Producció elèctrica	Percentatge total Catalunya				Potència consum / potència instal·lada
				Consum elèctric	Potència mitjana de consum*	Potència instal·lada	Població	PIB	Consum	Potència	
	Milers	M€	%	GWh	MW	MW	%	%	%	%	%
Alt Camp	45	1.281	43%	457	52	21	0,6%	0,6%	1,2%	0,2%	248%
Alt Empordà	138	2.790	77%	652	74	5	1,8%	1,4%	1,6%	0,0%	1.627%
Alt Penedès	106	2.827	55%	829	95	14	1,4%	1,4%	2,1%	0,1%	681%
Alt Urgell	21	426	76%	78	9	57	0,3%	0,2%	0,2%	0,5%	16%
Alta Ribagorça	4	91	67%	21	2	0	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	inf.
Anoia	118	2.414	55%	704	80	243	1,6%	1,2%	1,8%	2,0%	33%
Bages	184	4.178	66%	947	108	25	2,5%	2,1%	2,4%	0,2%	428%
Baix Camp	192	3.910	71%	982	112	1.935	2,6%	1,9%	2,5%	16,1%	6%
Baix Ebre	80	1.569	72%	452	52	204	1,1%	0,8%	1,1%	1,7%	25%
Baix Empordà	132	2.585	80%	613	70	2	1,8%	1,3%	1,5%	0,0%	3.860%
Baix Llobregat	800	21.821	72%	4.885	558	127	10,7%	10,8%	12,3%	1,1%	441%
Baix Penedès	100	1.560	75%	536	61	1	1,3%	0,8%	1,4%	0,0%	12.227%
Barcelonès	2.217	74.329	88%	8.714	995	2.544	29,6%	36,9%	22,0%	21,2%	39%
Berguedà	40	753	64%	173	20	30	0,5%	0,4%	0,4%	0,2%	67%
Cerdanya**	18	378	82%	106	12	7	0,2%	0,2%	0,3%	0,1%	179%
Conca de Barberà	21	580	44%	153	17	166	0,3%	0,3%	0,4%	1,4%	11%
Garraf	144	2.315	83%	555	63	0	1,9%	1,1%	1,4%	0,0%	inf.
Garrigues	20	394	43%	114	13	230	0,3%	0,2%	0,3%	1,9%	6%
Garrotxa	55	1.411	50%	461	53	50	0,7%	0,7%	1,2%	0,4%	106%
Gironès	182	5.302	77%	863	99	44	2,4%	2,6%	2,2%	0,4%	222%
Maresme	433	8.084	76%	1.464	167	24	5,8%	4,0%	3,7%	0,2%	692%
Moianès	13	248	59%	70	8	0	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%	inf.
Montsià	71	1.083	68%	278	32	1	0,9%	0,5%	0,7%	0,0%	3.202%
Noguera	39	952	46%	181	21	232	0,5%	0,5%	0,5%	1,9%	9%
Osona**	154	3.839	57%	880	100	98	2,0%	1,9%	2,2%	0,8%	102%
Pallars Jussà	13	269	62%	60	7	662	0,2%	0,1%	0,2%	5,5%	1%
Pallars Sobirà	7	170	66%	36	4	376	0,1%	0,1%	0,1%	3,1%	1%
Pla de l'Estany	31	764	54%	167	19	13	0,4%	0,4%	0,4%	0,1%	145%
Pla d'Urgell	37	878	49%	295	34	88	0,5%	0,4%	0,7%	0,7%	38%
Priorat	10	151	57%	31	4	30	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	12%
Ribera d'Ebre	23	1.013	27%	91	10	2.427	0,3%	0,5%	0,2%	20,2%	0%
Ripollès	26	574	58%	163	19	44	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	43%
Segarra	23	664	35%	193	22	63	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	35%
Segrià	207	5.446	75%	887	101	250	2,8%	2,7%	2,2%	2,1%	40%
Selva	169	3.705	66%	1.041	119	109	2,3%	1,8%	2,6%	0,9%	109%
Solsonès	14	293	57%	57	6	6	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	105%
Tarragonès	249	6.952	72%	3.220	368	1.104	3,3%	3,4%	8,1%	9,2%	33%
Terra Alta	12	267	40%	44	5	326	0,2%	0,1%	0,1%	2,7%	2%
Urgell	37	885	52%	148	17	57	0,5%	0,4%	0,4%	0,5%	30%
Aran	10	328	78%	87	10	276	0,1%	0,2%	0,2%	2,3%	4%
Vallès Occidental	895	23.343	68%	5.676	648	82	11,9%	11,6%	14,3%	0,7%	786%
Vallès Oriental	401	10.710	56%	2.279	260	39	5,4%	5,3%	5,7%	0,3%	670%
Barcelona	5.506	154.861	77%	27.176	3.102	3.226	73,5%	76,8%	68,6%	26,9%	96%
Girona	752	17.510	72%	4.067	464	273	10,0%	8,7%	10,3%	2,3%	170%
Lleida	432	10.794	64%	2.157	246	2.297	5,8%	5,4%	5,4%	19,1%	11%
Tarragona	803	18.366	66%	6.243	713	6.215	10,7%	9,1%	15,7%	51,7%	11%
TOTAL	7.492	201.531	75%	39.644	4.526	12.010	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	38%

El consum elèctric està afectat per secret estadístic. El consum elèctric a Catalunya, segons el balanç energètic l'any 2013, va ser de 41.591 GWh (figura 3). Per tant, en aquesta taula en queda representat un 95,3%.

\* La potència mitjana de consum es refereix al consum elèctric dividit per les hores en un any. \*\* La Cerdanya s'ha assignat a Girona i Osona a Barcelona.

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes d'IDESCAT, 2022a, 2022b i 2022d; Generalitat de Catalunya, 2023; ICAEN, 2021b.

tat de potència: nuclears i gas natural. Mentre que el Barcelonès té un percentatge similar de consum elèctric i potència instal·lada, altres comarques de la regió metropolitana de Barcelona tenen un balanç net importador clar, com el Vallès Occidental (14,3% consum i 0,7% potència) i l'Oriental (5,7% i 0,3%), i el Baix Llobregat (12,3% i 1,1%). Altres comarques amb un consum relativament baix, però una alta dependència d'altres comarques (relació consum-potència molt elevada) són el Maresme, el Montsià, l'Alt i el Baix Empordà, el Garraf, el Moianès i l'Alta Ribagorça. D'altra banda, hi ha comarques on la potència és molt superior al consum, com la Terra Alta, la Vall d'Aran, el Pallars Jussà i Sobirà i les Garrigues. En aquestes comarques, hi ha instal·lacions d'energia hidràulica i eòlica. Malgrat la rellevància mediàtica de les renovables, el desequilibri territorial de potència i consum elèctric és encara degut a les grans centrals nuclears i tèrmiques. A escala provincial, Barcelona i Girona són importadores netes d'electricitat i Tarragona i Lleida, exportadores.

Les ciutats generen economies d'escala de serveis que necessiten densitat, com el transport públic, i centralitzen serveis que tenen una demanda limitada, com les universitats. Molta de la feina local a instal·lacions fotovoltaïques i eòliques existeix de manera puntual durant la fase de construcció, mentre que grans parts del control a la fase de funcionament queden centralitzades a oficines a les ciutats (Fabra *et al.*, 2023). El sector primari i la transformació energètica no suposen un retorn econòmic local com el de les activitats econòmiques que s'acumulen a les zones urbanes. Podem veure com al Barcelonès hi ha el 36,9% del PIB de Catalunya, amb només un 29,6% de la població. L'impuls de Barcelona com a ciutat global (Sassen, 2005) fa que estigui fins i tot deslligada del territori i més connectada als circuits supranacionals de ciutats que controlen fluxos financers i sectors econòmics de serveis a empreses (per exemple, seus centrals d'empreses, programació, gestió, consultoria, etc.).

L'establiment de ciutats a la història va ser possible gràcies als excedents agrícoles primer de les zones properes i posteriorment més llunyanes, a través del transport (Giampietro, 2004; Lee, 2003; Serrahima Balius, 2014). Les ciutats són estructures dissipatives de recursos provinents de l'exterior, entre d'altres, d'energia (Giampietro, 2004; Hornborg, 1998; Johnsson, Lindroth i Abt, 2018; Prigogine i Stengers, 1984). Aquest fet queda palès en l'anàlisi del seu metabolisme, com, per exemple, d'energia i d'ús del temps de Barcelona (Pérez-Sánchez *et al.*, 2019) o de fluxos físics i monetaris a la conurbació madrilenya (Naredo i Frías, 2003). Per tant, no podem parlar de «ciutats sostenibles» (o de qualsevol altre element individual) sense considerar les dependències i el context. En general, una part del sistema no pot ser definida com a sostenible si no ho és el conjunt.

Les zones rurals locals i, en les últimes dècades de manera molt més important, internacionals capturen fluxos primaris de recursos que es transformen en àrees industrials a les xarxes globals de producció i es consumeixen

arreu, però de manera més concentrada a les conurbacions. Aquest traspàs de fluxos no és un fet estrictament català, sinó que succeeix a diferents escales i s'ha reconegut des de fa temps com a intercanvi ecològicament desigual (Hornborg, McNeill i Martínez-Alier, ed., 2007; Martínez-Alier i Schlüpmann, 1987; Muradian, O'Connor i Martínez-Alier, 2002), amb l'exemple capdavanter a l'Estat espanyol d'*Extremadura saqueada* (Gaviria, Naredo i Serina, ed., 1978).

Els fluxos que consumeixen les ciutats no només són en forma de materials i energia, sinó també de migracions de persones que cerquen treball o accés a serveis. A partir del segle XVIII i més especialment a partir de la dècada dels cinquanta del segle XX, en l'anomenada Gran Acceleració (*Great Acceleration*) (Steffen, Crutzen i McNeill, 2007), hi ha hagut un procés de migració massiu de les zones rurals cap a les ciutats, a més d'un creixement exponencial de la població. L'any 2015, un 54% de la població mundial vivia a les ciutats (Smil, 2019) i un 64% de la població de Catalunya vivia a municipis de més de trenta mil habitants (IDESCAT). D'una altra banda, gran part del territori de Catalunya es pot considerar com a «regiones escasamente pobladas» (Burillo Cuadrado i Burillo Mozota, 2018). Els considerats micropobles a Catalunya suposen una tercera part dels municipis i un 40% del territori, però no se senten inclosos en les decisions polítiques (Crehuet, 2017). Aquestes dinàmiques de repartiment desigual d'impactes i de beneficis de les energies renovables, doncs, no són noves; només han canviat de sectors i tecnologies.

Barcelona és una ciutat molt densa, amb un relatiu baix potencial de generació local d'energia solar i eòlica. Les densitats de demanda energètica de ciutats compactes com Barcelona no són compatibles amb les densitats de producció elèctrica d'energies renovables (Smil, 1984 i 2008) i la distància requerida per la tecnologia eòlica als nuclis habitats. A més, les cobertes d'edificis poden ser reclamades per acollir altres usos, com la producció d'aliments, la captació d'aigua i els terrats verds (Slootweg *et al.*, 2023; Toboso-Chavero *et al.*, 2021). L'alta densitat d'habitatges i d'activitat econòmica generada en edificis de moltes plantes fa que les instal·lacions puguin abastir només una fracció del consum. Per exemple, Gómez-Navarro *et al.* (2021) analitzen el potencial d'energia solar fotovoltaica a terrats a la ciutat de València i determinen que pot abastir el consum actual elèctric domèstic, un 37% del consum elèctric. Per tant, no arribaria a la meitat del consum elèctric actual, que no inclou els usos finals de combustibles fòssils. En conclusió, les ciutats necessiten instal·lacions de captació d'energia fora dels seus límits, tal com porten de territoris rurals externs molts altres productes com l'agricultura.

La relació entre consum i producció és més equilibrada en altres contextos. D'aquesta manera, el concepte *autosuficiència* es pot utilitzar a diferents escales. Es pot parlar d'«autosuficiència energètica» a escala municipal (o comarcal), si restringim el radi considerat com a energia de proximitat. Aquests projectes requereixen una extensió su-

ficient per a captació solar, una distància suficient dels nuclis habitats per a la instal·lació de turbines eòliques o existència de salts d'aigua per a la producció d'energia hidroelèctrica. En molts casos, aquesta visió de l'autosuficiència està lligada a la sobirania local sobre la gestió. Aquesta es refereix, en realitat, únicament a la producció d'electricitat, que depèn, a més, de la importació de panells i turbines i es refereix a balanç zero de quantitat d'energia, ja que difícilment o molt costosament s'adirà el consum del municipi amb les corbes temporals de producció locals (Rae i Bradley, 2012). Com ja he puntualitzat abans, aquestes característiques d'extensió i de consum no les compleixen nuclis urbans com Barcelona i la seva àrea metropolitana. Aquesta idea seria equivalent si la traslladéssim a l'àmbit de l'agricultura, com si es demanés autarquia alimentària a escala municipal.

L'escala més petita d'autosuficiència es troba a les instal·lacions domèstiques d'autoconsum, tot i que normalment estan connectades a la xarxa. Actualment, als municipis de Catalunya, l'autoconsum està fortament correlacionat amb el percentatge d'habitatge unifamiliar i, en segon terme, pels ingressos mitjans (Rodríguez i Villar, 2021). L'any 2007, abans del creixement de l'energia fotovoltaica a les llars, el balanç més desigual entre producció i demanda energètica eren els municipis suburbans (Ariza-Montobbio *et al.*, 2014).

El tipus de gestió (mercat) i l'escala de disseny dels sistemes elèctrics defineix fortament la configuració de les instal·lacions de generació i transport, com es pot veure en l'anàlisi a escala europea de Tröndle *et al.* (2020), que utilitza les escales autonòmica, estatal i continental. L'escala continental genera especialització de regions concretes en generació elèctrica, com, per exemple, algunes regions irlandeses, que arribarien a produir cinquanta cops la seva demanda elèctrica. Aquest estudi no té en compte escales més petites com les que es podrien arribar a considerar com a energia local o «km 0», que en alguns casos arriba a l'escala municipal.

Més enllà dels impactes directes dels usos finals d'electricitat existents, cal tenir en compte les relacions actuals amb els sistemes energètics exteriors, tant en termes de productes energètics importats (Ripa, Di Felice i Giampietro, 2021) com en recursos encarnats en productes produïts a l'estranger (Akizu-Gardoki *et al.*, 2018). Aquests productes energètics importats són en gran part combustibles fòssils —dels quals, en molts casos, està plantejada la seva electrificació o conversió a hidrogen a través de l'electricitat—, que potencialment augmentarien el futur consum d'electricitat. També, en grau més baix, Catalunya va importar electricitat d'altres regions. Va ser l'any 2019 la comunitat autònoma que més electricitat va generar, però, alhora, només va assolir un 96,3% de la demanda (Red Eléctrica Española, 2020). No obstant això, Catalunya es pot convertir en un territori exportador net d'energia, com, per exemple, amb els projectes de transport d'hidrogen en l'àmbit europeu com l'H2Med, que necessitarien una implantació encara més gran d'energies renovables per poder

abastir-los. En aquest cas, s'obriria un nivell regional més i no parlàrem només d'abastir les necessitats regionals, sinó de la relació amb els territoris veïns. A més del comerç directe de productes energètics, també hi ha energia i altres recursos encarnats (*embodied*) en productes i serveis forans (Infante-Amate *et al.*, 2021) que no es consideren en els estudis de transició energètica actuals. Els conflictes possiblement s'agreuarien si revertíssim aquestes dinàmiques globals amb relocalitzacions industrials si es mantenen els consums finals.

## 7. Conclusió

Podem dir que la societat catalana està d'acord en la urgència de la transició a la sostenibilitat de Catalunya, però la concreció en el camí que s'ha de seguir i la visió a llarg termini generen tensions territorials. Cal posar sobre la taula un planejament integral i multidisciplinari per arribar a acords socials i un horitzó comú, i per poder estimar si els objectius són assolibles. Un plantejament amb decisions projecte a projecte, tal com està establert ara, incrementa el malestar i la protesta de les poblacions locals i poden emergir impactes per l'agregació d'instal·lacions no incloses en els projectes individuals. És un objectiu molt ambiciós, però cal combinar la urgència del repte amb la planificació.

Les tecnologies d'aprofitament de fluxos renovables, tal com qualsevol altra, generen impactes a escala global i local. En concret, la seva relativa baixa densitat fa que es requereixin grans extensions de sòl per assolir els consums d'electricitat actual i una gran part de les projeccions existents. Els conflictes territorials apareixen quan els impactes d'ús del sòl i al paisatge són considerats desproporcionats en regions on no es concentra l'ús final de l'energia i l'activitat econòmica associada, i on no existeixen el control i els beneficis d'aquesta infraestructura. Tot i que aquestes transformacions dels usos del sòl i del paisatge són, potser, les més visibles, hi ha una gran varietat de variables que cal tenir en compte a l'hora de considerar la instal·lació de tecnologies generadores d'energia renovable i la transformació de sistemes energètics, que actuen directament a diferents escales geogràfiques i temporals. Si intentem deixar enrere el paradigma fòssil, es passa d'un sistema basat en estocs concentrats de fluxos d'energia forans a un altre que requereix grans quantitats de superfície (Scheidel i Sorman, 2012) i d'estocs d'una gran diversitat de materials a l'estranger per a la fabricació dels captadors, bateries, etc. D'una altra banda, es passa d'un baix nombre de grans centrals a moltes plantes distribuïdes.

Per tal de tenir un horitzó clar i una planificació de la transició, esdevé essencial una anàlisi de les perspectives dels diferents grups implicats per produir escenaris plausibles de manera participativa i transparent en el context de la reflexivitat. Aquest procés ha d'incloure un debat públic sobre la quantitat i distribució tant de les instal·lacions de generació d'electricitat, com dels consums finals d'ener-

gia. Els condicionants de les dues escales geogràfiques fan que aquest procés hagi de ser estratègic (i no incremental projecte a projecte) i iteratiu, per considerar les diferents combinacions de consums finals i d'ocupació territorial, amb un ull posat a les dinàmiques i límits globals. Sempre s'ha de considerar que hi ha incertesa i, per tant, s'ha de tenir cert grau de flexibilitat i adaptació durant el procés d'implementació. La dimensió territorial pren especial rellevància i s'afegeix a una extensa trajectòria de debats sobre desequilibris econòmics, demogràfics i d'impactes ambientals al territori. La transició energètica no és merament la transformació de la manera com ens abastim d'energia, sinó que és un dels eixos vertebradors del model de país del futur.

### Referències bibliogràfiques

- AKIZU-GARDOKI, O.; BUENO, G.; WIEDMANN, T.; LOPEZ-GUEDE, J. M.; ARTO, I.; HERNANDEZ, P.; MORAN, D. (2018). «Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts». *Journal of Cleaner Production* [en línia], núm. 202, p. 1145-1157. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.235>>.
- AKIZU-GARDOKI, O.; KUNZE, C.; COXETER, A.; BUENO, G.; WIEDMANN, T.; LOPEZ-GUEDE, J. M. (2020). «Discovery of a possible well-being turning point within energy footprint accounts which may support the degrowth theory». *Energy for Sustainable Development* [en línia], núm. 59, p. 22-32. <<https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.09.001>>.
- ARIZA-MONTOBBIO, P.; FARRELL, K. N. (2012). «Wind farm siting and protected areas in Catalonia: Planning alternatives or reproducing “one-dimensional thinking”?». *Sustainability* [en línia], núm. 4, p. 3180-3205. <<https://doi.org/10.3390/su4123180>>.
- ARIZA-MONTOBBIO, P.; FARRELL, K. N.; GAMBOA, G.; RAMOS-MARTIN, J. (2014). «Integrating energy and land-use planning: Socio-metabolic profiles along the rural-urban continuum in Catalonia (Spain)». *Environment, Development and Sustainability* [en línia], vol. 6, p. 925-956. <<https://doi.org/10.1007/s10668-014-9533-x>>.
- ARTO, I.; CAPELLÁN-PÉREZ, I.; LAGO, R.; BUENO, G.; BERMEJO, R. (2016). «The energy requirements of a developed world». *Energy for Sustainable Development* [en línia], núm. 33, p. 1-13. <<https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>>.
- BARRON-GAFFORD, G. A.; PAVAO-ZUCKERMAN, M. A.; MINOR, R. L.; SUTTER, L. F.; BARNETT-MORENO, I.; BLACKETT, D. T.; THOMPSON, M.; DIMOND, K.; GERLAK, A. K.; NABHAN, G. P.; MACKNICK, J. E. (2019). «Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands». *Nature Sustainability* [en línia], vol. 2, núm. 9, p. 848-855. <<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>>.
- BENESSIA, A.; FUNTOWICZ, S.; GIAMPIETRO, M.; GUIMARÃES PEREIRA, Â.; RAVETZ, J. R.; SALTELLI, A.; STRAND, R.; SLUIJS, J. P. van der (2016). *The rightful place of science: Science on the verge*. Tempe, AZ; Washington, DC: The Consortium for Science, Policy & Outcomes. Arizona State University.
- BLAS, I. de; MIGUEL, L. J.; CAPELLÁN-PÉREZ, I. (2019). «Modelling of sectoral energy demand through energy intensities in MEDEAS integrated assessment model». *Energy Strategy Reviews* [en línia], núm. 26, 100419. <<https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100419>>.
- BOUCKAERT, S.; PALES FERNANDEZ, A.; MCGLADE, C.; REMME, U.; WANNER, B. (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. S. II.: International Energy Agency.
- BROCKWAY, P. E.; OWEN, A.; BRAND-CORREA, L. I.; HARDT, L. (2019). «Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources». *Nature Energy* [en línia], vol. 4, núm. 7, p. 612-621. <<https://doi.org/10.1038/s41560-019-0425-z>>.
- BURILLO CUADRADO, M. P.; BURILLO MOZOTA, F. (2018). *Las regiones desfavorecidas de España ante la política de cohesión 2021-2027* [en línia]. <<https://doi.org/10.7201/earn.2019.01.05>>.
- CADUFF, M.; HUIJBREGTS, M. A. J.; ALTHAUS, H.-J.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. (2012). «Wind power electricity: The bigger the turbine, the greener the electricity?». *Environmental Science & Technology* [en línia], núm. 46, p. 4725-4733. <<https://doi.org/10.1021/es204108n>>.
- CAPELLÁN-PÉREZ, I.; BLAS, I. de; NIETO, J.; CASTRO, C. de; MIGUEL, L. J.; CARPINTERO, Ó.; MEDIAVILLA, M.; LOBEJÓN, L. F.; FERRERAS-ALONSO, N.; RODRIGO, P.; FRECHOSO, F.; ÁLVAREZ-ANTELO, D. (2020). «MEDEAS: A new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints». *Energy & Environmental Science* [en línia], vol. 13, núm. 3, p. 986-1017. <<https://doi.org/10.1039/c9ee02627d>>.
- CAPELLÁN-PÉREZ, I.; CASTRO, C. de; ARTO, I. (2017). «Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línia], núm. 77, p. 760-782. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>>.
- COOK, E. L. (1971). «The flow of energy in an industrial society». *Scientific American* [en línia], vol. 225, núm. 3, p. 135-142. <<https://doi.org/10.1038/scientificamerican.0971-134>>.
- CREHUET, M. (2017). «La transició energètica als micro-pobles». *Revista de Girona*, núm. 305, p. 80-83.
- DEBEIR, J. C.; DELEAGE, J. P.; HEMERY, D. (1991). *In the servitude of power: Energy and civilization through the ages*. Londres: Zed Books Ltd.
- DI FELICE, L. J.; RENNER, A.; GIAMPIETRO, M. (2021). «Why should the EU implement electric vehicles? Viewing the relationship between evidence and dominant policy solutions through the lens of complexity». *Environmental Science and Policy* [en línia], núm. 123, p. 1-10. <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.002>>.
- DRECHSLER, M.; EGERER, J.; LANGE, M.; MASUROWSKI, F.; OEHLMANN, M. (2017). «Efficient and equitable spatial allocation of renewable power plants at the country scale». *Nature Energy*, 2, 17124. <<https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.124>>.
- EOLIA RENOVABLES; NATURA MEDI AMBIENT (2010). *Pla especial urbanístic del parc eòlic Solans Llardecans i la Granadella (Lleida)* [en línia]. <<https://www.gencat.cat/ptop/informacio>>.

- \_publica/peu\_granadella/memoria.pdf> [Consulta: 25 maig 2024].
- FABRA, N.; GUTIÉRREZ CHACÓN, E.; LACUESTA, A.; RAMOS, R. (2023). «Do renewables create local jobs?». *Banco de España Working Paper* [en línia], núm. 2307. <<https://doi.org/10.2139/ssrn.4338642>>.
- FRANQUESA, J. (2020). «Haciendo y deshaciendo baldíos: dinámicas de valor y conflictos energéticos en la Cataluña sur». *Revista Andaluza de Antropología* [en línia], núm. 18, p. 77-97. <<https://doi.org/10.12795/raa.2020.18.05>>.
- FUNTOWICZ, S. O.; RAVETZ, J. R. (1993). «Science for the post-normal age». *Futures* [en línia], vol. 25, núm. 7, p. 739-755. <[https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90022-L)>.
- (1994). «The worth of a songbird: Ecological economics as a post-normal science». *Ecological Economics* [en línia], vol. 10, núm. 3, p. 197-207. <[https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90108-2)>.
- FURRÓ ESTANY, E. (2016). *Catalunya, aproximació a un model energètic sostenible*. Barcelona: Octaedro.
- GAMBOA, G.; MUNDA, G. (2007). «The problem of windfarm location: A social multi-criteria evaluation framework». *Energy Policy* [en línia], núm. 35, p. 1564-1583. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.021>>.
- GARCÍA-OLIVARES, A.; BALLABRERA-POY, J.; GARCÍA-LADONA, E.; TURIEL, A. (2012). «A global renewable mix with proven technologies and common materials». *Energy Policy* [en línia], núm. 41, p. 561-574. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.018>>.
- GAVIRIA, M.; NAREDO, J. M.; SERNA, J. (ed.) (1978). *Extremadura saqueada: Recursos naturales y autonomía regional*. París: Ruedo Ibérico.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2017). *Bases per a constituir el Pacte Nacional per a la Transició Energètica de Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <[https://icaen.gencat.cat/web/.content/10\\_ICAEN/17\\_publicacions\\_informes/11\\_altres\\_publicacions/arxius/20170125\\_documentPNTE.pdf](https://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/11_altres_publicacions/arxius/20170125_documentPNTE.pdf)> [Consulta: 7 octubre 2023].
- (2023). «Consum d'energia elèctrica per municipis i sectors de Catalunya». A: *Dades obertes Catalunya* [en línia]. <[https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Energia/Consum-d-energia-el-ctrica-per-municipis-i-sectors/8idm-becu/about\\_data](https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Energia/Consum-d-energia-el-ctrica-per-municipis-i-sectors/8idm-becu/about_data)> [Consulta: 25 maig 2024].
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1983). «Feasible recipes versus viable technologies». *Atlantic Economic Journal*, núm. 12, p. 21-31.
- GIAMPIETRO, M. (2004). *Multi-scale integrated analysis of agroecosystems*. Boca Raton: CRC Press.
- GIAMPIETRO, M.; ASPNALL, R. J.; RAMOS-MARTÍN, J.; BUKKENS, S. G. F. (2014). *Resource accounting for sustainability assessment: The nexus between energy, food, water and land use* [en línia]. Londres: Taylor & Francis Ltd. <<https://doi.org/10.4324/9781315866895>>.
- GIAMPIETRO, M.; BUKKENS, S. G. F. (2015). «Analogy between sudoku and the multi-scale integrated analysis of societal metabolism». *Ecological Informatics* [en línia], vol. 26, part 1, p. 18-28. <<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.07.007>>.
- GÓMEZ-NAVARRO, T.; BRAZZINI, T.; ALFONSO-SOLAR, D.; VARGAS-SALGADO, C. (2021). «Analysis of the potential for PV rooftop prosumer production: Technical, economic and environmental assessment for the city of Valencia (Spain)». *Renewable Energy* [en línia], vol. 174, p. 372-381. <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.049>>.
- GRUBLER, A.; WILSON, C.; BENTO, N.; BOZA-KISS, B.; KREY, V.; MCCOLLUM, D. L.; RAO, N. D.; RIAHI, K.; ROGELJ, J.; STERCKE, S. de; CULLEN, J.; FRANK, S.; FRICKO, O.; GUO, F.; GIDDEN, M.; HAVLÍK, P.; HUPPMANN, D.; KIESEWETTER, G.; RAFAI, P.; SCHOEPP, W.; VALIN, H. (2018). «A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies». *Nature Energy* [en línia], vol. 3, núm. 6, p. 515-527. <<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>>.
- HALL, C. A. S.; LAMBERT, J. G.; BALOGH, S. B. (2014). «EROI of different fuels and the implications for society». *Energy Policy* [en línia], núm. 64, p. 141-152. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>>.
- HANSEN, M. O. L. (2008). *Aerodynamics of wind turbines*. Londres: Earthscan.
- HORNBERG, A. (1998). «Commentary: Towards an ecological theory of unequal exchange: Articulating world system theory and ecological economics». *Ecological Economics* [en línia], vol. 25, núm. 1, p. 127-136. <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00100-6)>.
- HORNBERG, A.; MCNEILL, J. R.; MARTINEZ-ALIER, J. (ed.) (2007). *Rethinking environmental history: World-system history and global environmental change* [en línia]. Lanham, MD: AltaMira Press. <<https://doi.org/10.1093/envhis/13.1.160>>.
- INFANTE-AMATE, J.; AGUILERA, E.; VILA, J.; SANJUÁN, Á.; OROPESA, F.; GONZÁLEZ DE MOLINA, M. (2021). «Las bases materiales del desarrollo económico en España (1860-2016). Un estudio desde el metabolismo social». *Cuadernos Económicos de ICE* [en línia], vol. 101, núm. 1, p. 185-213. <<https://doi.org/10.32796/cice.2021.101.7194>>.
- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (ICAEN) (2020). *Prospectiva energètica de Catalunya a l'horitzó 2050 - PROENCAT 2050 i la transició energètica de Catalunya: Energia eòlica* [en línia]. Barcelona: Institut Català d'Energia. <[https://icaen.gencat.cat/web/.content/10\\_ICAEN/17\\_publicacions\\_informes/08\\_guies\\_informes\\_estudis/informes\\_i\\_estudis/arxius/20200506\\_IREC\\_Eolica.pdf](https://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/08_guies_informes_estudis/informes_i_estudis/arxius/20200506_IREC_Eolica.pdf)> [Consulta: 25 maig 2024].
- (2021a). *Balanz d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2020* [en línia]. <[https://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/annuals/balanc\\_energia/index.html](https://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/annuals/balanc_energia/index.html)> [Consulta: 7 octubre 2023].
- (2021b). *Estadístiques energètiques de Catalunya: Dades producció elèctrica* [en línia]. <[http://produccioelectrica.icaen.gencat.cat/icaen\\_prd\\_elec/inici.do;jsessionid=569C06D6B1329F46D1561C0F573A01A1](http://produccioelectrica.icaen.gencat.cat/icaen_prd_elec/inici.do;jsessionid=569C06D6B1329F46D1561C0F573A01A1)> [Consulta: 7 octubre 2023].
- (2023). *Prospectiva energètica de Catalunya 2050 - PROENCAT 2050* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. <<https://icaen.gencat.cat/ca/detalls/publicacio/PROENCAT-2050-00001>> [Consulta: 7 octubre 2023].

- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (ICAEN) (2024). *Resum de les principals dades del balanç energètic de Catalunya fins l'any 2022* [en línia]. <[https://icaen.gencat.cat/web/.content/20\\_Energia/28\\_estadistiques/01\\_resultat\\_estadistiques/02\\_estadistiques\\_energetiques\\_anuals/arxius/Resum-balanç-energetic.pdf](https://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/28_estadistiques/01_resultat_estadistiques/02_estadistiques_energetiques_anuals/arxius/Resum-balanç-energetic.pdf)> [Consulta: 24 juliol 2024].
- INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (IDESCAT) (2022a). *PIB i PIB per habitant. Comarques i Aran* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/pub/?id=picb>>.
- (2022b). *Població a 1 de gener. Comarques i Aran, àmbits i províncies* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15224>>.
- (2022c). *Usos del sòl. Comarques i Aran, àmbits i províncies* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15180>>.
- (2022d). *VAB. Per sectors. Comarques i Aran* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15337>>.
- JOHNSON, F.; LINDROTH, A.; ABT, B. (2018). *Forests and the climate: Manage for maximum wood production or leave the forest as a carbon sink?* [en línia]. <[https://research.chalmers.se/publication/507846/file/507846\\_Fulltext.pdf](https://research.chalmers.se/publication/507846/file/507846_Fulltext.pdf)> [Consulta: 25 maig 2024].
- KOVACIC, Z. (2014). «Assessing sustainability: The societal metabolism of water in Israel». *International Journal of Performance Engineering*, vol. 10, núm. 4, p. 387-399.
- (2017). «Investigating science for governance through the lenses of complexity». *Futures* [en línia], vol. 91, núm. 2016, p. 80-83. <<https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.01.007>>.
- KOVACIC, Z.; GIAMPIETRO, M. (2015). «Beyond GDP indicators: The need for reflexivity in science for governance». *Ecological Complexity* [en línia], núm. 21, p. 53-61. <<https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.11.007>>.
- LAKOFF, G. (2010). «Why it matters how we frame the environment». *Environmental Communication* [en línia], vol. 4, núm. 1, p. 70-81. <<https://doi.org/10.1080/17524030903529749>>.
- LEE, J. S. (2003). «Feeding the colleges: Cambridge's food and fuel supplies, 1450-1560». *Economic History Review* [en línia], vol. 56, núm. 2, p. 243-264. <<https://doi.org/10.1046/j.1468-0289.2003.00249.x>>.
- LEHMANN, P.; AMMERMANN, K.; GAWEL, E.; GEIGER, C.; HAUCK, J.; HEILMANN, J.; MEIER, J. N.; PONITKA, J.; SCHICKETANZ, S.; STEMMER, B.; TAFARTE, P.; THRÄN, D.; WOLFRAM, E. (2021). «Managing spatial sustainability trade-offs: The case of wind power». *Ecological Economics* [en línia], núm. 185. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107029>>.
- LLUVERAS I SOCIÀS, X. (2015). *Avaluació ambiental estratègica de la transició energètica cap a un model 100% renovable a Catalunya* [en línia]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. <<https://doi.org/10.3926/ege2020>>.
- LÓPEZ REDONDO, J. (2017). «¿Sostenibilidad a cambio de suelo? La huella territorial de la generación de electricidad». *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, núm. 194, p. 629-644.
- LUNDQUIST, J. K.; DUVIÉRIER, K. K.; KAFFINE, D.; TOMASZEWSKI, J. M. (2019). «Costs and consequences of wind turbine wake effects arising from uncoordinated wind energy development». *Nature Energy* [en línia], vol. 4, núm. 1, p. 26-34. <<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0281-2>>.
- MARTINEZ-ALIER, J.; MUNDA, G.; O'NEILL, J. (1998). «Weak comparability of values as a foundation for ecological economics». *Ecological Economics* [en línia], vol. 26, núm. 3, p. 277-286. <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1)>.
- MARTINEZ-ALIER, J.; SCHLÜPMANN, K. (1987). *Ecological economics: Energy, environment and society*. Regne Unit: Basil Blackwell.
- MARTÍN-UCEDA, J.; PORCEL MONTANÉ, O.; TORRES BAGUR, M.; CASTAÑER VIVAS, M.; VICENTE RUFÍ, J. (2021). *Proposta de criteris per a la ubicació d'instal·lacions de producció d'energia renovable solar en sòls no urbanitzables a la província de Girona* [en línia]. Girona: Diputació de Girona. <<https://www.ddgi.cat/web/document/10088>> [Consulta: 25 maig 2024].
- MURADIAN, R.; O'CONNOR, M.; MARTINEZ-ALIER, J. (2002). «Embodied pollution in trade: Estimating the "environmental load displacement" of industrialised countries». *Ecological Economics* [en línia], vol. 41, núm. 1, p. 51-67. <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00281-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00281-6)>.
- NAREDO, J. M.; FRÍAS, J. (2003). «El metabolismo económico de la conurbación madrileña 1984-2001». *Economía Industrial*, vol. 351, núm. III, p. 87-114.
- NEL-LO, O. (2001). *Ciutat de ciutats*. Barcelona: Empúries.
- PADILLA, E. (2002). «Intergenerational equity and sustainability». *Ecological Economics* [en línia], vol. 41, núm. 1, p. 69-83. <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00026-5)>.
- PÉREZ-SÁNCHEZ, L.; GIAMPIETRO, M.; VELASCO-FERNÁNDEZ, R.; RIPA, M. (2019). «Characterizing the metabolic pattern of urban systems using MuSIASEM: The case of Barcelona». *Energy Policy* [en línia], núm. 124, p. 13-22. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.028>>.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1984). *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Londres: Fontana.
- RAE, C.; BRADLEY, F. (2012). «Energy autonomy in sustainable communities. A review of key issues». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línia], vol. 16, núm. 9, p. 6497-6506. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.08.002>>.
- RED ELÈCTRICA ESPAÑOLA (2020). *El sistema elèctric espanyol 2019* [en línia]. <[https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/inf\\_sis\\_elec\\_ree\\_2019\\_v2.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/inf_sis_elec_ree_2019_v2.pdf)> [Consulta: 7 octubre 2023].
- RIPA, M.; DI FELICE, L. J.; GIAMPIETRO, M. (2021). «The energy metabolism of post-industrial economies. A framework to account for externalization across scales». *Energy* [en línia], núm. 214, 118943. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118943>>.
- RITTEL, H. W. J.; WEBBER, M. M. (1973). «Dilemmas in a general theory of planning». *Policy Sciences* [en línia], vol. 4, p. 155-169. <<https://doi.org/10.1007/bf01405730>>.
- RODRÍGUEZ, P.; VILLAR, D. (2021). *Autoconsum fotovoltàic a Catalunya: Situació a desembre 2021* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. ICAEN <<https://icaen.gencat.cat/>>

- web/.content/10\_ICAEN/17\_publicacions\_informes/08\_guies\_informes\_estudis/informes\_i\_estudis/arxius/20220310\_AutoconsumFVdesembre21Acc.pdf> [Consulta: 25 maig 2024].
- SALADIÉ GIL, S. (2016). *Paisatge i conflictes territorials a les comarques meridionals de Catalunya*. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili.
- SALTELLI, A.; GIAMPIETRO, M. (2017). «What is wrong with evidence based policy, and how can it be improved?». *Futures* [en línia], núm. 91, p. 62-71. <<https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.11.012>>.
- SASSE, J.; TRUTNEVYTE, E. (2019). «Distributional trade-offs between regionally equitable and cost-efficient allocation of renewable electricity generation». *Applied Energy* [en línia], vol. 254, 113724. <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113724>>.
- SASSEN, S. (2005). «The global city: Introducing a concept». *Brown Journal of World Affairs*, vol. xi, núm. 2, p. 557-573.
- SCHEIDEL, A.; SORMAN, A. H. (2012). «Energy transitions and the global land rush: Ultimate drivers and persistent consequences». *Global Environmental Change* [en línia], vol. 22, núm. 3, 588-595. <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.12.005>>.
- SEGRE (2022). «Completen els primers molins de vent en nou anys a Lleida». *Segre.com* [en línia]. <[https://www.segre.com/ca/comarques/220811/completen-els-primers-molins-vent-nou-anys-lleida\\_181525.html](https://www.segre.com/ca/comarques/220811/completen-els-primers-molins-vent-nou-anys-lleida_181525.html)> [Consulta: 25 maig 2024].
- SERRAHIMA BALIUS, P. (2014). «Wheat provisioning in Barcelona during the Catalan Civil War 1462-1472: Markets and public response». *Guerra y carestía en la Europa medieval*. Lleida: Milenio, p. 179-205.
- SLOOTWEG, M.; HU, M.; HALLECK, S.; ZELFDE, M. van't; LEEUWEN, E. van; TUKKER, A. (2023). «Urban forestry & urban greening identifying the geographical potential of rooftop systems: Space competition and synergy». *Urban Forestry & Urban Greening* [en línia], núm. 79, 127816. <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127816>>.
- SMIL, V. (1984). «On energy and land: Switching from fossil fuels to renewable energy will change our patterns of land use». *American Scientist*, vol. 72, núm. 1, p. 15-21.
- (2008). *Energy in nature and society: General energetics of complex systems*. Cambridge, Estats Units: MIT Press.
- (2016a). *Power density: A key to understanding energy sources and uses*. Cambridge, Estats Units: MIT Press.
- (2016b). «What I see when I see a wind turbine». *IEEE Spectrum*, vol. 53, núm. 3, p. 27-27.
- (2019). *Growth: From microorganisms to megacities*. Cambridge, Estats Units: MIT Press.
- SOLÉ, J.; GARCÍA-OLIVARES, A.; TURIÉL, A.; BALLABRERA-POY, J. (2018). «Renewable transitions and the net energy from oil liquids: A scenarios study». *Renewable Energy* [en línia], núm. 116, p. 258-271. <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.035>>.
- SPANISH WIND ENERGY ASSOCIATION (2023). *Mapa de parques eólicos - Cataluña* [en línia]. <<https://aeolica.org/sobre-la-eolica/mapa-de-parques-eolicos/catalunya/>> [Consulta: 7 octubre 2023].
- STEFFEN, W.; CRUTZEN, P. J.; MCNEILL, J. R. (2007). «The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature?». *Ambio* [en línia], vol. 36, núm. 8, p. 614-621. <[https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:taahno\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:taahno]2.0.co;2)>.
- TOBOSO-CHAVERO, S.; VILLALBA, G.; GABARRELL DURANY, X.; MADRID-LÓPEZ, C. (2021). «More than the sum of the parts: System analysis of the usability of roofs in housing estates». *Journal of Industrial Ecology* [en línia], vol. 25, núm. 5, p. 1-16. <<https://doi.org/10.1111/jiec.13114>>.
- TRÖNDLE, T.; LILLIESTAM, J.; MARELLI, S.; PFENNINGER, S. (2020). «Trade-offs between geographic scale, cost, and infrastructure requirements for fully renewable electricity in Europe». *Joule* [en línia], vol. 4, núm. 9, p. 1929-1948. <<https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.018>>.
- VALERO, A.; VALERO, A.; CALVO, G.; ORTEGO, A.; ASCASO, S.; PALACIOS, J. L. (2018). «Global material requirements for the energy transition. An exergy flow analysis of decarbonization pathways». *Energy* [en línia], vol. 159, núm. 15, p. 1175-1184. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.149>>.
- WELSBY, D.; PRICE, J.; PYE, S.; EKINS, P. (2021). «Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world». *Nature* [en línia], núm. 597, p. 230-234. <<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>>.
- WESELEK, A.; EHMANN, A.; ZIKELI, S.; LEWANDOWSKI, I.; SCHINDELE, S.; HÖGY, P. (2019). «Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review». *Agroonomy for Sustainable Development* [en línia], vol. 39, article núm. 35. <<https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>>.
- WESTON, B. H. (2012). «The theoretical foundations of intergenerational ecological justice: An overview». *Human Rights Quarterly*, núm. 34, p. 251-266.
- WHITE, L. A. (1943). «Energy and the evolution of culture». *American Anthropologist* [en línia], vol. 45, núm. 3, p. 335-356. <<https://doi.org/10.1525/aa.1943.45.3.02a00010>>.
- WU, K.; DUNNING, D. (2018). «Hypocognition: Making sense of the landscape beyond one's conceptual reach». *Review of General Psychology* [en línia], vol. 22, núm. 1, p. 25-35. <<https://doi.org/10.1037/gpr0000126>>.
- ZALK, J. van; BEHRENS, P. (2018). «The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S.». *Energy Policy* [en línia], núm. 123, p. 83-91. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.023>>.
- ZOGRAFOS, C.; SALADIÉ, S. (2012). «La ecología política de conflictos sobre energía eólica. Un estudio de caso en Cataluña». *Documents d'Anàlisi Geogràfica* [en línia], vol. 58, núm. 1, p. 177-192. <<https://doi.org/10.5565/rev/dag.202>>.