
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Cerdán Olm, Marc; Font Segura, Xavier, dir. Tecnologies smart grid i comunitats energètiques : anàlisi del sistema de subministrament elèctric i proposta. 2022. (1395 Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/264103>

under the terms of the  license

Tecnologies *smart grid* i comunitats energètiques: anàlisi del sistema de subministrament elèctric i proposta

Marc Cerdán Olm

Resum. La transformació del sistema energètic passa un moment transcendent. La situació climàtica, geopolítica i social fa que replantejar-se els sistemes de subministrament energètic sigui obligatori per a totes les nacions del món. Les tecnologies *smart grid* i els projectes de comunitats energètiques aspiren a ser dues solucions davant d'aquesta problemàtica. Mitjançant un estudi de les característiques principals i la situació actual es planteja una proposta de renovació del model actual emprant aquests dos conceptes per a canviar el sistema. La proposta es basa en la descentralització i distribució dels punts de generació i el desenvolupament de la figura del gestor energètic.

Paraules clau. Xarxes intel·ligents, comunitats energètiques, generació distribuïda, sobirania energètica.

Abstract. The change in the electricity system is going through a transcendental moment. The climatic, geopolitical and social situation requires all the nations of the world to rethink their energy supply systems. Smart grid technologies and energy community projects are two solutions to this problem. By analyzing the main characteristics and the current situation, a proposal for the renovation of the current model is suggested, using these two concepts to renew the system. The approach is based on the decentralisation and distribution of generation points and the development around the figure of the energy manager.

Keywords. Smart grids, energy communities, distributed generation, energy sovereignty.



1 INTRODUCCIÓ

1.1 Context

ELS constants avenços en els mètodes d'obtenció d'energia a partir de fonts primàries i la interrelació directa entre el poder econòmic i el consum energètic, han estat motor de canvi i progrés per a les societats d'arreu del món. L'energia va molt més enllà d'un concepte físic que es mesura en Joules, puix que és un element social, polític, econòmic i també cultural [1].

En termes de geopolítica energètica actual, hem presentat quins efectes poden arribar a tenir certes decisions al preu del consum energètic final. El conflicte bèl·lic que ha

esclatat a Ucraïna és un exemple clar de l'impacte que té una guerra sobre el preu d'un producte de primera necessitat, com ha estat el cas del gas. Els països importadors d'energia no tenen tanta llibertat ni control sobre el preu final. La seguretat energètica, que l'Agència Internacional de l'Energia (IEA) defineix com "l'accés ininterromput als recursos energètics a un preu assequible" [2], passa al primer pla de l'agenda de qualsevol estat. En l'actualitat, els sistemes energètics dels països estan formats per una diversificació dels recursos. L'energia s'obté de fonts com ara el petroli, el gas, el carbó, l'urani o fonts renovables (aire, sol, aigua), entre d'altres. Per no dependre de la situació econòmica o les decisions polítiques d'un proveïdor, els països importadors volen diversificar tant les fonts internes d'energia com les fonts de subministrament estrangeres, i també, naturalment, reduir-ne els preus [3].

- E-mail de contacte: marc.cerdanolm@gmail.com
- Tutor d'universitat: Xavier Font (Enginyeria Química)
- Tutor d'empresa: Xavier Duran (Pnergia SCCL)
- Curs 2021/22

Adicionalment, tal com marquen les estratègies de descarbonització per al 2050 per part de la Unió Europea [4,5] i com recull el govern espanyol amb el Plan Nacional In-

tegrado de Energía y Clima (PNIEC) [6], la lluita contra el canvi climàtic no tindrà efectes pràctics si no es planteja des de la perspectiva energètica. Per aquest motiu, els termes de transició o eficiència energètica han cobrat molta importància al llarg de les últimes dècades. Per tal d'assolir els objectius de reducció d'emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH) i la neutralitat de carbó marcats, es preveu que el mètode principal de la descarbonització sigui l'electrificació. Aquest concepte implica la substitució de tecnologies que ofereixin serveis o usos productius mitjançant combustibles fòssils, per d'altres que funcionin parcialment o total amb electricitat. Tot i que l'electricitat només representa una cinquena part del consum total d'energia final, la seva proporció ha augmentant. En coherència amb l'Acord de París com amb l'Escenari de Desenvolupament Sostenible (SDS) de l'IEA [7], la tendència d'ús s'accelerarà i l'electricitat podria arribar a superar el petroli, i esdevenir la principal font d'energia l'any 2040. La demanda mundial d'electricitat augmentarà aproximadament un 50% en només vint anys [8], amb un creixement predominantment concentrat en les economies emergents i en vies de desenvolupament. De cara al futur, s'espera que l'electricitat tingui un paper més important en la bomba de calor i el transport, així com en molts sectors integrats digitalment com ara la comunicació, les finances i la sanitat. La necessitat de mesures concretes i encertades sobre seguretat elèctrica es convertiran en un requisit previ per al bon funcionament de les economies modernes i les emergents. Aquesta necessitat farà sigui més rellevant que mai en l'agenda de la política energètica.

L'actual transició energètica no es limita a la substitució d'un combustible per un altre, com es va produir en les transicions anteriors, sinó que consisteix en la incorporació de diferents fonts en ús afegint-se a diferents sectors, amb diferents velocitats a cada país o regió, motiu pel qual és una transformació molt més profunda i complexa del sistema energètic global [9]. Tindrà implicacions socials, econòmiques, polítiques i ambientals que van més enllà del sector energètic en particular. Dit d'una altra manera, serà l'estratègia d'elaboració dels sistemes de subministrament i el consum conscient qui determinarà el grau d'aprofitament dels recursos. Mitjançant eines i tecnologies intel·ligents i que, a més, apostin per la sostenibilitat i la eficiència energètica, s'obtidrà una regulació òptima entre el consum i la generació amb el mínim impacte ambiental.

Des del punt de vista pràctic, per tal de mitigar els efectes negatius de l'actual nivell de consum energètic, i amb la intenció d'evolucionar en termes tecnològics, econòmics i socials, apareixen termes com el de les *smart grids* i el de comunitats energètiques. Aquests conceptes, a primera vista diferenciats, però elementalment interrelacionats, seran els objectes d'estudi principal en el qual es basa aquest article. S'hi exposen els seus significats, estats de l'art, projecció i relació mútua. Inicialment, es plantegen de manera separada, però finalment s'hi exposarà el potencial i la retroalimentació sinèrgiques que tots dos conceptes són capaços de generar si s'entenen junts.

Finalment, es realitza una crítica objectiva del sistema de subministrament elèctric espanyol i s'hi planteja un model d'acord amb els termes treballats.

1.2 Motivació i objectius

En vista d'assolir la sobirania energètica i la màxima eficiència de recursos, per part dels ajuntaments, s'estudia la viabilitat de constituir una comunitat energètica. Juntament amb l'empresa PINERGIA SCCL., s'ha dut a terme aquest tipus d'estudi i l'assessorament al municipi de Prullans (Lleida) per comprovar la viabilitat de constituir una comunitat energètica. Des de l'empresa, interessa saber quin és l'estat de l'art de les principals tecnologies de les *smart grids* per saber com poden casar amb la creació d'una comunitat energètica, així com el marc legislatiu actual per a la conformació d'aquesta.

L'objectiu principal d'aquest article és descriure de forma acadèmica i corporativa, els components i tecnologies d'una *smart grids* i com aquests es poden incorporar a una comunitat energètica. Gràcies a aquest recull, es crea un model adaptable per a associacions de persones físiques, empreses o entitats públiques que vulguin convertir-se en productors de la seva pròpia electricitat. A més, s'ofereix informació a l'empresa per oferir el servei de promotors i gestors energètics d'aquests projectes. Finalment, es planteja la proposta d'un esquema que expliqui com s'establirien aquests projectes amb xarxes de subministrament de caràcter intel·ligent del futur.

1.3 Sistema de Subministrament Elèctric (SSE) espanyol

El SSE espanyol, de la mateixa manera que tots els sistemes de subministrament energètic, es dissenya i gestiona per tal de buscar l'equilibri entre els factors següents[10]:

- Fiabilitat i garantia de subministrament
- Net i baix en emissions
- Econòmic

La qualitat de cadascun dels components determina el grau total de qualitat del sistema. Complementàriament, i d'acord amb la importància de la sobirania energètica actualment, serà necessari considerar un nou factor objecte d'anàlisi: l'índex d'autoprovèiment [10]. L'encarregat d'oferir competentment aquestes condicions del sistema se'l coneix com el Gestor de la Xarxa de Transmissió, i a Espanya, aquesta funció la realitza l'empresa pública estatal Red Eléctrica Española (REE). Tal com es descriu a l'estudi d'anàlisi del sistema elèctric espanyol [10], ens trobem davant d'un sistema sobredimensionat i infrautilitzat, molt car però segur, que ha millorat en relació a les emissions i a l'autoprovèiment. Això fa que el manteniment d'aquestes infraestructures sigui més cares i que econòmicament sigui difícil de gestionar el dèficit tarifari del sistema elèctric espanyol.

Abans de la liberalització del mercat, esdevinguda l'any 1997 a càrrec del ministre d'indústria, Josep Piqué, el regulador estatal gestionava les inversions. Ara, és decisió dels generadors decidir el moment i els actius en els quals s'ha d'invertir. En vista del sistema actual, a les empreses generadores els surt més a compte dur a terme poques inversions en actius nous, ja que l'oligopoli natural no crea una necessitat de reinvençió continuada, com si que es dona en altres àrees de mercat, com el cas de les tecnologies on la competitivitat entre les diferents empreses genera

avenços contínuament. Per aquest motiu, es fa molt necessari plantejar les reformes oportunes, no només en el sistema elèctric com a tal, sinó també del model de consum energètic global, que continua estant molt basat en els combustibles fòssils i, per tant, és més car i contaminant [10]. Això produeix que el model espanyol tingui una elevada dependència energètica de l'exterior, sobretot en el mercat del gas [11,12], que és una de les principals matèries primeres per a la posterior producció d'energia mitjançant les plantes de cycle combinat. Aquesta dependència comporta els consegüents perjudicis per a la nostra economia nacional i individual. Per això, s'ha d'iniciar les reformes oportunes que ens permetin canviar el model de consum energètic, que passarà de forma inexorable per l'augment del consum basat en fonts renovables (fotovoltaica, eòlica, hidroelèctrica, etc.), previsió de la demanda degut al procés d'electrificació i millora de les infraestructures i tecnologies en termes d'eficiència energètica. En resum, decantar la balança cap a un model basat en l'electricitat com a matèria energètica principal del nostre consum, per tal d'optimitzar el sistema.

1.3.1 Actors del sistema de subministrament espanyol

L'estructura del sistema està conformada per sis actors principals [12, 13]: generadors, reguladors i operadors, transportistes, distribuïdors, comercialitzadores i consumidors. Fins ara, les seves funcions han estat concises i clares. Els generadors s'encarreguen de construir, fer funcionar i portar el manteniment de les centrals de producció elèctrica; els reguladors i operadors, tenen la funció d'establir les normes del joc i responsabilitzar-se del bon funcionament del sistema i del mercat (OMIE, gestor de la península ibèrica); el transportista, en aquest cas, REE, gestionada per l'estat, ha de portar l'electricitat des de les plantes generadores fins a les xarxes de distribució o consum i gestiona les infraestructures de transport d'electricitat; les distribuïdores tenen el propòsit de portar l'energia fins al punt de consum, gestionen les infraestructures de distribució i s'encarreguen del seu manteniment; les comercialitzadores són empreses que s'encarreguen de comprar l'energia al mercat majorista i vendre-la a particulars; i finalment, els consumidors són aquells qui paguen pel servei que ofereixen les comercialitzadores i fan ús de l'energia rebuda.

1.3.2 Futur del sistema de subministrament espanyol

Amb la incorporació de les energies renovables i el nou model de xarxa intel·ligent que s'ha proposat desenvolupar la Unió Europea (UE) (Figura 1), gràcies a la creació de la Plataforma Tecnològica Europea per a les Xarxes Elèctriques del Futur (Smart Grids ETP), apareix un nou concepte d'actor principal: el prosumidor, un usuari capaç d'extreure potència de la xarxa (consumidor) i d'injectar energia a la xarxa (productor). Algunes de les principals aportacions que ofereix aquesta figura serien les d'optimitzar l'ús de les fonts d'energia d'acord amb decisions econòmiques, maximitzar l'autoconsum i interactuar amb la xarxa elèctrica de forma bidireccional [13]. Aquest nou agent que apareix en el sistema és clau per entendre el procés de transformació de la manera en què les *smart grids* i les comunitats energètiques modelitzaran el sistema de subministrament d'energia del futur a Espanya, Europa i el món.

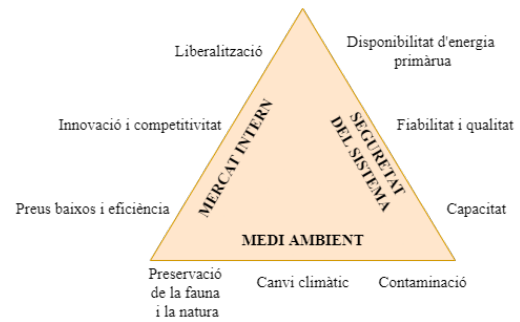


Figura 1: Estratègia per a les xarxes elèctriques de l'Europa del futur adaptada de [14].

2 SMART GRIDS

2.1 Definició

2.1.1 Concepte

Les *smart grids* o xarxes intel·ligents són conceptes àmpliament definits, però de forma diversa, segons la institució o departament que ho fa. Es pot entendre com una evolució del sistema per connectar una major capacitat d'energia renovable amb un funcionament basat en diverses infraestructures que permet millorar l'eficiència energètica de la xarxa i el consum d'energia [15].

Espanya la defineix com aquella xarxa que pot integrar de manera eficient el comportament i les accions de tots els usuaris que hi estan connectats, de manera que s'asseguri un sistema energètic sostenible i eficient, amb pèrdues baixes i alts nivells de qualitat i seguretat de subministrament [16]. La Comissió Europea [17] defineix les xarxes intel·ligents com xarxes de subministrament energètic millorades a les quals s'hi han afegit la comunicació digital i el flux energètic bidireccional entre proveïdor i consumidor, sistemes intel·ligents de mesura i monitoreig. La mesura intel·ligent sol ser una part inherent de les *smart grids*. Una definició similar ofereix l'Office of Electricity Delivery and Energy Utility (OEDEU) dels Estats Units, i la descriu una xarxa intel·ligent com quelcom que inclou tecnologies de comunicació digital bidireccional als dispositius associats a la xarxa. A cada dispositiu de la xarxa es poden proporcionar sensors per recaptar dades (comptadors de potència, sensors de tensió, detectors d'averies, etc.), a més de la comunicació digital bidireccional entre el dispositiu en el camp i el centre d'operacions de xarxa. Una característica clau de la xarxa intel·ligent és la tecnologia d'automatització que permet ajustar i controlar cada dispositiu individual o milions de dispositius des d'una ubicació central que actua de cervell i que s'encarrega de gestionar la informació [18]. Aquesta figura rep el nom de gestor energètic.

Així doncs, podem comprovar que, tot i la disparitat de definicions, les xarxes intel·ligents incorporen les tecnologies TIC per tal de millorar-ne el funcionament del SSE, a més de facilitar la integració de les fonts renovables per reduir l'impacte ambiental que té el sector energètic.

2.1.2 Nivells funcionals

Els nivells de desplegament d'una *smart grid* ens idenquen com d'implementada i avançada està una xarxa. Segons lo

molt o poc intel·ligent que és el sistema respecte les infraestructures implementades, tecnologies emprades i consciència del consumidor, podem classificar-les tal i com s'indica a continuació [19]:

- Nivell 0: Implantació i distribució de noves tecnologies de generació.
- Nivell 1: Xarxa i arquitectura de transmissió intel·ligent (teledetecció).
- Nivell 2: Xarxa de processos intel·ligent mitjançant monitoratge (telegestió).
- Nivell 3: Integració intel·ligent d'energies renovables, mobilitat elèctrica i emmagatzematge d'energia.
- Nivell 4: Gestió intel·ligent de l'energia agregada, excedents i eficiència energètica final.
- Nivell 5: Consumidors intel·ligents que participen activament a la xarxa (comprant i venent).

2.2 Univers de tecnologies

2.2.1 Infraestructures

Tot i no existir un prototip definit de xarxes elèctriques intel·ligents, aquestes són algunes de les infraestructures bàsiques comunes que permeten millorar el nivell d'intel·ligència d'una xarxa i passar d'un esglaó+ a un altre dels mencionats en el punt anterior [20]:

- Sistema d'informació geogràfica (*Geographic Information System, GIS*): dades georeferenciades de qualitat i a temps real que interrelacionin les instal·lacions dels clients i el sistema elèctric
- Infraestructura de mesura avançada (*Advanced Metering Infrastructure, AMI*): mesuradors bidireccionals que permetin la teledetecció per controlar variables del corrent elèctric
- Sistema de gestió de talls (*Outage Management System, OMS*): eina de planificació, gestió d'actius i control de talls de manera àgil i eficient.
- Sistema d'adquisició, supervisió i control de Dades (*Supervisory Control and Data Acquisition, SCDA*): sistema que proveeix dades sobre el procés productiu i permet controlar-lo des d'un monitor mitjançant un programari adequat
- Sistema de distribució de gestió (*Distribution Management System, DMS*): plataforma que ofereix solucions per tal de reduir la demanda màxima i optimitzar el lliurament eficient d'electricitat als distribuïdors i clients
- Automatització de distribució (*Distribution Automation, DA*): conjunt de dispositius, generalment sensors, que permeten la supervisió, el control i la comunicació de la xarxa per portar a terme tasques de telegestió.

2.2.2 Elements

Les tecnologies que doten d'intel·ligència les xarxes i les seves infraestructures es poden llistar, tal com ho fa l'Electric Power Research Institute (EPRI) [21], de la manera següent :

1. Interruptor avançat: element que permet detectar falles en el sistema i aturar-lo de forma ràpida i precisa.
2. Mesuradors intel·ligents: equips de mesurament bidireccionals que recullen i envien informació sobre l'ús de l'energia.
3. Inversor controlable/regulable: tecnologia que permet convertir el corrent continu a altern controlant el voltatge i la capacitat energètica segons la requereixi la xarxa.
4. Dispositiu de comunicació amb l'usuari: dispositiu que permet la comunicació entre l'usuari i les diverses empreses elèctriques.
5. Sensors d'equipament: monitoreig d'equips que mesuren i comuniquen característiques relatives a la salut i el manteniment dels equips.
6. Dispositius de control de transmissió: sistema electrònic que proveeix control en àrees de transmissió i millora paràmetres de confiança i la capacitat de lliurament energètic.
7. Monitoreig de càrregues: tecnologia que mesura i comunica línies, alimentadors i equips de càrregues per mitjà de xarxes de comunicació en temps real.
8. Controlador de xarxes petites: dispositiu que permet establir una petita xarxa controlant energia distribuïda, predeterminant un sistema elèctric que mantingui acceptables freqüències i voltatges.
9. Transformador desfasador: transformador que permet controlar l'angle de fase i transformar tant tensió com angle.
10. Mesurador sincrofasor: dispositiu que permet recollir i analitzar informació de tensió i fase dels sistemes de transmissió en temps real.
11. Electrodomèstics intel·ligents: electrodomèstics que permeten control o modulació de l'ús d'equips domèstics com termòstats, bombes d'aigua, escalfadors d'aigua, etc., mitjançant l'intercanvi d'informació amb el mesurador intel·ligent.
12. Cables VLI/HTS: cables que usen materials conductors de baixa impedància (VLS) i d'alta temperatura (HTS), i que en conseqüència beneficen la xarxa amb menors pèrdues, amb un augment de la densitat energètica, i ajustant-la de forma automàtica davant de fallades.
13. Vehicle elèctric: tecnologies de V2G (*Vehicle to Grid*) basades en les bateries dels vehicles i els carregadors bidireccionals. La gestió de l'energia de l'emmagatzematge n'oferirà a la xarxa (interna i externa) una major quantitat disponible segons els diversos interessos.

2.2.3 Blockchain aplicada a les smart grids

La *blockchain* o cadena de blocs és un fitxer en creixement que conté totes les transaccions (entrades de dades) que s'hi han introduït sempre. Tanmateix, aquest fitxer no s'emmagatzema en un servidor central, sinó en els ordinadors de tots els usuaris participants (Figura 2). Un model descentralitzat de la gestió de les dades rebaixa la zona d'atac i n'augmenta la dificultat de robatoris de dades, i en conseqüència, la seguretat d'aquestes [22]. Davant de la descentralització inherent del sistema energètic, els contractes intel·ligents, una de les múltiples solucions de la cadena de blocs, es poden utilitzar per a compartir electricitat entre particulars i empreses de manera automatitzada i basada en regles lògiques. Aquest model gestió de l'energia permet a cada node energètic decidir amb quin altre node comercialitzar (comprar o vendre) segons el seu propi objectiu, com ara despeses mínimes, un tipus d'energia específic, el subministrament d'energia més fiable, d'origen net d'emissions, etc. [23].

Aquesta tecnologia té el potencial d'accelerar la penetració de les energies renovables i la creació de microxarxes, així com d'implicar els consumidors en el procés de generació distribuïda. La seguretat de l'encryptament de la cadena de blocs ajudaria a augmentar la del sistema de subministrament en la seva totalitat.

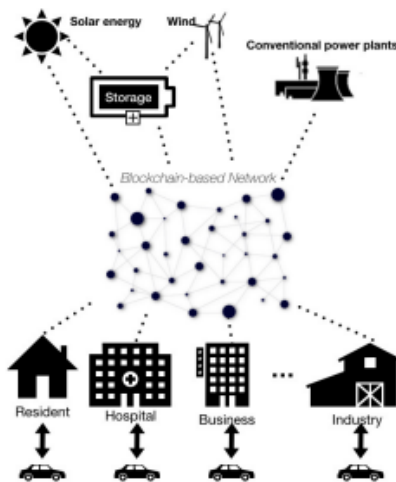


Figura 2: Incorporació de la tecnologia de cadena de blocs a les xarxes intel·ligents [22].

2.3 Microgrids

2.3.1 Concepte

Les *microgrids* o microxarxes es defineixen com a sistemes elèctrics formats per càrregues i generadors distribuïts, equips d'emmagatzematge o càrregues controlables, per exemple, capaços de funcionar de manera controlada i coordinada tan connectada a la xarxa principal com en mode aïllat [24], i han estat proposades per organitzar la futura *smart grid* [25]. Ja que les microxarxes s'ocupen d'abastir d'energia elèctrica subsistemes menors, és raonable que la seva demanda energètica, també menor, pugui ser satisfeta amb fonts renovables. Així doncs, l'impuls d'aquests nodes

energètics retroalimenta l'increment de producció d'energies netes a zones aïllades.

La seva conformació pot anar des de petites viles fins a barris sencers de grans ciutats, passant per zones industrials, agrícoles, ramaderes, o urbanitzacions aïllades. Només necessiten sistemes de producció, sistemes d'emmagatzematge i gestió de la demanda, proporcionada per una figura de gestoria energètica, que dirigeixi l'energia de manera eficient. Per tant, les microxarxes són àrees concretes amb certa autonomia energètica, control sobre els seus fluxos i la informació que generen i envien.

2.3.2 Smart homes

Les smart homes o cases intel·ligents són llars que ajuden als seus habitants a viure de manera independent i còmoda amb l'ajuda de la tecnologia. Tots els dispositius mecànics i digitals estan interconnectats per formar una xarxa, que es poden comunicar entre si i amb l'usuari per crear un espai interactiu [26]. La integració de tecnologies de generació d'energia i el control de dades sobre el consum convertiran de mica en mica totes les llars que les incorporin en cases intel·ligents. Mitjançant els diferents sistemes integrats, les microxarxes connectaran totes les cases, i aquestes compartiran la informació de consum per una regulació òptima de la demanda i l'oferta compartida. Amb la incorporació de sistemes de monitoratge de cases i electrodomèstics intel·ligents, el consum i la eficiència energètica estarà millor monitoritzat per part dels residents. Mitjançant comptadors intel·ligents, es pot saber el flux d'energia entrant i sortint de cada casa, i si el pagament de l'energia procedent de xarxa es fa de forma comunitària, es podria fer de manera equitativa respecte de la quantitat d'energia produïda/consumida. Un conjunt de cases amb aquestes característiques i que a més, produïssin energia elèctrica, podrien convertir un edifici, carrer, urbanització o barri en una microxarxa.

3 COMUNITATS ENERGÈTIQUES

3.1 Definició

3.1.1 Concepte

L'expressió comunitat d'energia és un hiperònim que recull diversos conceptes i que es defineix de diferents maneres, però totes elles comparteixen trets similars. La Federació Europea de Cooperatives Energètiques (FECE) defineix una comunitat energètica com "una entitat legal en què els ciutadans, les pimes i autoritats locals s'uneixen, com a usuaris finals d'energia, per cooperar en el procés de generació, distribució del consum, emmagatzematge, subministrament i agregació d'energies renovables, i oferir eficiència energètica i/o serveis de gestió de la demanda". La Directiva Europea COM 864 (2016), sobre normes del mercat interior i d'electricitat, per exemple, també les defineix com "una associació, cooperativa, societat, organització sense ànim de lucre o qualsevol altra entitat que estigui controlada per accionistes o membres locals, generalment orientada al valor més que a la rendibilitat, dedicada a la generació distribuïda i a la realització d'activitats d'un gestor de xarxa de distribució, subministrador o agregador a escala local, o fins i tot a escala transfronterera [27]. El Instituto para

la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) també presenta la seva visió respecte aquest complex concepte i ho fa dient que és “un nou participant en la cadena de valor socioeconòmica del sector energètic. El seu rol consisteix a fer viable la participació proactiva d’amplis sectors socials, actuant en el seu àmbit local” [28]. Així doncs, veiem que és un concepte que abraça diferents punts de vista, però en tots ells s’hi poden trobar punts de consens. Una comunitat energètica hauria de tenir la capacitat de conformar una microxarxa, tal com hem vist anteriorment (apartat 2.3). Les característiques principals són l’autogovern dels seus participants, la implicació d’ens locals i ciutadans, el seu propòsit ambiental més enllà de l’econòmic i el resultat de la seva creació: la sobirania energètica de zones locals.

Amb tot això, l’impuls de comunitats energètiques ajudaria a la generació i la gestió distribuïda de la demanda energètica. A més, la proliferació de projectes de transició energètica, com els d’aquest tipus, sobretot en entorns rurals, entren dins de l’estratègia nacional front el repte demogràfic, plantejat pel govern d’Espanya l’any 2017, amb la intenció de revertir la tendència d’exili rural que viu el país des de fa dècades, el que popularment es coneix com “l’Espanya despoblada”[29].

3.1.2 Legislació a Europa i Espanya

Pel que fa a la terminologia legal, la UE va iniciar el camí de la regulació diferenciant dos hipònims dins del concepte de comunitat energètica. Aquestes dues definicions, d’obligada transposició pel seu caràcter de directiva, passen a ser els pilars fonamentals en els quals s’hauran de basar tots els països membres. Els hipònims en qüestió són els següents [30]:

- Comunitat d’Energies Renovables (CER), Directiva 2018/2001 (art.22 del Foment d’Energies Renovables). Es defineix com una entitat jurídica, oberta a la participació de persones físiques, pimes i administracions públiques locals. La finalitat principal és proporcionar beneficis ambientals, econòmics i socials als seus socis/membres. I té com a limitació que només es pot conformar si es distribueix energia d’origen renovable.
- Comunitat Ciutadana d’Energia (CCE), Directiva 2019/994 (art.16 del Mercat Interior d’Electricitat). També la considera la CCE com una entitat jurídica, amb participació oberta i control efectiu de persones físiques, petites empreses i autoritats locals. Té el mateix propòsit que la CER, però amb la diferència que la CCE pot accedir a tots els mercats organitzats, i no només aquells que treballin amb energies renovables. Aquesta llei va ser creada principalment per al compartiment d’energia entre països o regions.

Espanya, en la data de creació d’aquest treball, només s’ha transposat una de les dues definicions de comunitats energètiques proposades per la UE en el RDL 23/2020, de 23 de juny. El PNIEC (2021-2030), l’estratègia estatal encarregada de promocionar la innovació energètica i del clima, cohesiona les dues definicions al RDL 23/2020 i li dona el nom de Comunitats Energètiques Locals (CEL). Les defineix com “entitat jurídica controlada per socis pròxims a les instal·lacions renovables. Proporciona beneficis econòmics

o socials als socis de la comunitat”. Tot i això, només dona una definició d’objectiu de creació, però no ofereix informació més enllà per a la seva conformació, i en cap moment estableix un marc regulatori de quin ha de ser el camí per crear-se. S’espera que, en els pròxims mesos, o fins i tot anys, es creï un projecte de Decret Llei en què es reguli de definitivament els dos conceptes jurídics de comunitat energètica i es creï una finestra administrativa per a la ciutadania, empreses i institucions locals per tal d’impulsar aquests projectes de forma regulada.

Actualment, totes aquelles entitats que volen conformar-ne una, per falta de definició jurídica, s’han de limitar a aplicar el marc de l’autoconsum compartit (RD 244/2019). Aquest decret considera un el consum compartit com un “grup de consumidors que s’alimenten d’electricitat provinent d’instal·lacions pròximes a les de consum i associades als mateixos”. Aquesta llei té limitacions geogràfiques (distància màxima entre consumidors 500 metres), limitacions administratives (el productor i el consumidor han d’estar registrat en la mateixa referència cadastral) i tècniques (han d’estar connectats a la mateixa línia de baixa tensió). Val a dir que existeixen les xarxes de distribució tancades (XDT), definides pel RD 20/2018, però estan enfocades a clients industrials amb activitats productives relacionades. Hi ha un límit geogràfic de són cinc quilòmetres quadrats i poden incorporar clients no industrials a condició que tinguin relacions laborals o mercantils, el consum dels quals no pot superar l’1% del total. Ara bé, no hem d’oblidar que els nivells de confiança de l’autoconsum a Espanya són potencialment baixos. Això es deu a l’impost de generació del RD 900/2015, però que va ser abolit l’any 2018. Aquest impost limitava econòmicament els prosumidors i perjudicava l’impuls d’autoconsum i aprofitament del recurs més abundant del país: el sol.

Així doncs, podem comprovar que és necessari un tipus de regulació per part de les entitats de govern públiques que faciliti administrativament i legal la creació de comunitats energètiques dintre del marc jurídic. També facilitaria l’increment de projectes una simplificació de processos administratius en termes de creació. El mateix IDAE proposa unes condicions mínimes i necessàries que hauria de tenir tota CEL davant la necessitat d’una definició jurídica [32]:

- Constituir una entitat jurídica amb NIF.
- Actuar en l’àmbit local (municipi o nombre limitat de municipis).
- Destinar el benefici econòmic a la reducció de despeses d’energia dels membres de la comunitat o al desenvolupament del seu entorn.
- No tenir un nivell de generació que superi el de consum.
- No permetre la possibilitat de “compra-venda de futur” ni la deriva a mercats especulatius financers o de matèries primeres.

3.1.3 Coeficients de repartiment

La raó o coeficient de repartiment permet gestionar els excedents als prosumidors que participen a l’autocòsum col·lectiu. Per mitjà de l’Ordre TED 1247/2021, de 15 de

novembre s'implementa el coeficient de repartiment variable amb què es regulen les condicions de l'autoconsum col·lectiu. Aquesta ordre aposta per un consum dinàmic de manera progressiva, aplicant la fórmula següent:

$$ENG_{h,i} = \beta_{h,i} \cdot ENG_h \quad (1)$$

ENG_h és l'energia neta horària total produïda. $\beta_{h,i}$ és el coeficient de repartiment horari a l'hora concreta (h) entre els usuaris concret (i) que participen en el consum compartit. El coeficient prendrà els valors que prèviament figurin en un acord signat per tots els consumidors que participin de l'autoconsum col·lectiu. Aquest haurà de notificar-se a l'empresa distribuïdora, que serà l'encarregada de la lectura dels consums.

3.1.4 Exemples reals

Pel que fa a l'impuls de comunitats energètiques reals, segons un estudi del 2019, el Joint Research Centre [32] calculava que hi ha prop de 4.000 projectes portats a cap per països de la UE. Alemanya (1.750), Dinamarca (700), els Països Baixos (500) i Regne Unit (431) són els principals països líders en aquest sector. Espanya se situava a la cua amb 33. Alguns dels projectes exitosos en aquest àmbit són LUCTricity (Alemanya), on han creat una *micro-grid* capaç d'equilibrar-se en temps real mitjançant la tecnologia *blockchain* per casar el preu de l'energia cada 15 minuts; Sunchain (França), on s'ha creat un mercat d'energia verda on els productors venen directament l'energia als consumidors basant-se en la tecnologia *blockchain*; Powerpeers (Holanda), que proporciona una plataforma per als participants en la qual poden veure el seu consum, la font d'origen i les persones que consumeixen l'energia que s'està generant en aquell mateix instant; Illa d'Elgg (Regne Unit), on s'hi duu a terme la creació d'una xarxa elèctrica autosuficient en la que s'apliquen coeficients estàtics de repartiment, que diferencien les potències de residències (5 kW), de les dels negocis (10 kW).

A Espanya, la primera comunitat energètica registrada és la de Crevillent (Alacant). Una ciutat de 30.000 habitants en la qual un cooperativa elèctrica local, anomenada Enercoop, ha instal·lat 120 kW d'energia fotovoltaica que proporciona energia a 70 residències mitjançant el finançament del projecte europeu MERLON. A més, un sistema d'emmagatzematge d'energia de tipus ió-liti de 200 kWh permet que els habitants puguin fer servir de nit l'energia generada durant el dia.

3.2 Oportunitats de negoci

Les noves demandes dins del sector energètic requeriran empreses capacitades per oferir serveis competents. Aquesta visió corporativista, necessària i interessant pel valor empresarial de l'article, sintetitza les principals línies d'oportunitats de negoci que haurien de dur a terme la figura dels gestors energètics. Dins d'aquests nous requeriments podem trobar trets diferencials entre unes i altres i agrupar-les en quatre grups principals:

- Autoconsum: Instal·lacions d'energies renovables, com fotovoltaïques, geotèrmia o bombes de calor a escala individual o comunitària.

- Serveis energètics: Eficiència energètica mitjançant projectes per reduir el consum residencial, auditories energètiques, millores de les instal·lacions i instal·lacions d'infraestructures de recàrrega de vehicles elèctrics.
- Gestió activa de la demanda: Sistemes d'emmagatzematge amb bateries per adequar els perfils de consum, gestió activa de la demanda instal·lant sistemes de mesures intel·ligents i/o programaris de gestió energètica que permetin tenir el control d'aparells electrònics remotament.
- *P2P Trading*: Gestió de contractes intel·ligents utilitzant les noves tecnologies *blockchain* per tal de comprar, vendre i compartir energia directament als consumidors.

4 PROPOSTA DE MODEL

4.1 Discussió del model actual

Generalitzant el model de subministrament elèctric actual i analitzant el sector amb una perspectiva global, podem veure que tot i ser un sistema diferenciat pel seu alt nivell de seguretat, pateix d'inharmonia en altres aspectes. Per una banda, està la dependència energètica. Segons dades d'Eurostat [33], Espanya tenia una dependència energètica del 67,69% l'any 2020. Això significa que es va importar una mica més de dues terceres parts de l'energia primària. En gran manera, aquests productes van ser petroli i gas, emprats per la producció d'energia elèctrica però també per en la mobilitat i transport. Tot i que la tendència ha disminuït des del 2006, on la dependència era del 81,5%, continua essent un nivell elevat que comporta unes despeses de 3.000 milions d'euros mensuals a l'estat [34]. Això té una implicació directa amb el dèficit tarifari del sistema elèctric espanyol, que ara com ara, té un deute acumulat de 2.396,9 milions d'euros [34]. L'alta dependència d'energies importades ha estat una de les principals claus de l'encariment del preu de la llum durant el 2021 i el que va de 2022. El preu del mercat marginalista ha vist un augment del preu del MWh per culpa de la pujada del preu del gas internacionalment.

Per altra banda, el model de generació centralitzada que té l'estat (Apèndix, Figura 3) fa que l'electricitat hagi de recórrer grans distàncies per arribar als punts de consum. Per fer això, els transformadors han de pujar i abaixar el voltatge. En aquest procés, s'hi produeixen pèrdues per un inevitable efecte Joule, produït en el pas d'energia elèctrica a energia calorífica a causa de les resistències. Aquest transport de llargues distàncies suposa una pèrdua d'entre el 8 i el 15% de l'electricitat generada quan s'han de recórrer llargues distàncies o quan les línies estan desgastades pel pas dels anys de vida útil dels seus materials [35]. Com es pot apreciar a la figura 3, els centres de generació es troben molt a prop els uns dels altres per minimitzar la construcció de transformadors d'energia que elevin el voltatge.

A més, un altre dels problemes existents en el sistema actual el veiem en el mateix repartiment de tasques i funcions dels diferents actors. Com hem pogut veure anteriorment (1.3.1), els actors tenen comeses diferenciades. Ara

bé, quan mirem quines són les principals empreses encarregades de la generació, la distribució i la comercialització, veurem que són empreses que formen part del mateix conglomerat, però que han hagut de crear filials per evitar sancions per frau de competència del mercat. Un cas d'exemple és el d'ENDESA, S.A., una empresa formada per Endesa Generación, S.A. encarregada de la producció i gestió de centrals generadores, com per exemple, la central nuclear d'Ascó; E-Distribución, encarregada d'utilitzar i mantenir les xarxes de transport i fer-hi circular l'electricitat segons a demanda; i per últim, Energía XXI, que tot i el nom i marca modificada, també pertany al grup ENDESA, S.A., i s'encarrega de la comercialització de l'energia i de la compravenda d'aquesta. Aquest cas no és l'únic, ja que passa el mateix amb les distribuïdores IBERDROLA, S.A., i NATURGY ENERGY, S.A. Aquest oligopoli estructural i falta competitivitat del mercat afecta directament a la capacitat de renovació i millora tecnològica, que ha dut el propi sistema a un estacament a costa del benestar mercantil d'aquestes empreses.

Finalment, pel que fa a la procedència de l'energia consumida i de la capacitat en termes de potència del sistema espanyol de les diferents tecnologies existents, nivells de consum i contaminació, podem descriure Espanya de la següent manera [36]: en termes de generació i tipus de procedència d'aquesta energia, veiem que s'ha assolit un rècord històric, amb un 46,7% de generació d'origen renovable, produïdes especialment a les zones de Castella i Lleó, Galícia i Aragó. La font principal és l'edílica, que coincideix amb la tecnologia amb més potència instal·lada del país (28.175 MW). La tecnologia solar, tot i ser un recurs molt present a la península ibèrica, només va representar un 8% de l'origen de producció tot i els 15.048 MW de potència instal·lada. Ara bé, la seva presència ha augmentat un 36% respecte el 2020. Això la converteix en la tecnologia generadora que més ha augmentat la seva participació al mercat de totes. En termes de contaminació, l'any 2021 es van relacionar amb el procés de generació prop de 30 milions de tones de diòxid de carboni equivalents. Aquesta xifra és molt positiva si es compara amb les prop de 65 milions de tones de diòxid de carboni equivalents que es generaven l'any 2017.

Sumàriament, les xifres i la tendència assenyalen que el sistema de subministrament elèctric, tot i tenir problemes relacionats en la seva conformació i regles del joc, segueix una tendència de cura mediambiental i en termes d'autoproveïment que podem definir com a positiva. Tot i això, es proposa un model que busca introduir competitivitat i distribuir la generació mitjançant l'impuls de comunitats energètiques i la figura del gestor energètic.

4.2 Proposta

La proposta que planteja aquest article es basa en la descentralització de la producció d'energia elèctrica i es resumeix en un diagrama (Apèndix, figura 4) en el qual s'hi dibuixen diverses comunitats energètiques, amb participants i característiques diverses, entenent que, a mesura que millori l'estat legislatiu de la conformació, s'adoptaran metodologies i fórmules de creació diferents segons les característiques de les entitats, les necessitats de demanda i capacitats de producció. Podem trobar-nos amb escenaris industrials (comunitat energètica A), de viles senceres (comunitat energètica

B) o zones perifèriques (comunitat energètica C). Qualsevol d'elles pot esdevenir com a entitat i conformar les seves pròpies regulacions específiques, sota les bases que els seus participants decideixin.

Centrant-nos en el paper del gestor energètic i promotor de comunitats energètiques, es pot observar que haurà de realitzar les funcions de gestió de la informació i del repartiment energètic, així com d'assegurar la màxima eficiència i el mínim cost pels consumidors, tenint en compte l'impacte del medi ambient i les diverses fonts de generació renovable de les que disposarien aquestes comunitats gestionades i quedarà a disposició del que els participants de les comunitats decideixin.

La funció d'aquest nou tipus de model de productora/distribuïdora/comercialitzadora necessitarà que es repensi el marc legislatiu actual. S'haurà de definir quines seran les fronteres d'acció, i fins a quin punt, les tasques de la gestió del servei seran responsabilitat de les distribuïdores o del nou model de negoci. L'aparició d'aquesta figura, que podrà dur a terme tota empresa petita o mitjana, segons la llei actual, competirà en el lliure mercat, provant d'oferir el millor servei als ens locals, ciutadans, indústries i altres entitats interessades en la conformació d'una comunitat energètica. D'aquesta competitivitat es generarà un continu avenç tecnològic i un procés d'eficiència de la cadena de valor i de les funcions de les quals s'hauran d'encarregar. Així doncs, la implantació de tecnologies de xarxes intel·ligents s'acceleraria com a fruit d'aquesta competència, per tal d'assegurar el millor rendiment i màximes capacitats per part de les gestores energètiques. En termes de nous models de negoci (apartat 3.1.4), l'ús de tecnologies de gestió de grans quantitats de dades, previsió de consums, emmagatzematge d'energia intel·ligent, programaris de gestió de la generació i el consum, sistemes de gestió energètica de *smart homes*, tecnologies de cadenes de blocs, i comunicació a temps real a llargues distàncies, entre d'altres, són exemples d'algunes de les funcions que duran a terme aquests negocis emergents.

A més, es planteja que sigui aquest gestor energètic el que compri l'energia al mercat majorista i negociï directament amb els reguladors del mercat i REE per tal d'informar de quines seran les previsions de consum i generació diàries, setmanals, mensuals i anuals de les comunitats que gestionin. D'aquesta manera, les distribuïdores passarien a tenir competència empresarial dins de les seves pròpies funcions, però per definició de les mateixes comunitats energètiques, no podrien realitzar aquest paper de gestió energètica. Gràcies a la disminució de la dependència energètica nacional i a l'estalvi generat d'aquestes despeses eliminades, a causa de l'autoproveïment dels prosumidors, les despeses de manteniment i gestió de les línies d'alta, mitja i baixa tensió, duta a terme actualment per les distribuïdores, podria ser assumit de nou per l'estat, accelerant de nou el procés de gestió de les seves pròpies xarxes de transport.

Mitjançant una descentralització i una interconnexió del territori, es podrà construir una xarxa intel·ligent basada en nodes cooperatius. Aquests petits centres energètics aprofitaran les condicions ambientals òptimes per a una generació eficient, reduiran les pèrdues per transport i descentralitzaran la producció. Fins i tot, es podrà connectar les comunitats energètiques d'un mateix gestor energètic, o de di-

versos gestors, entre elles, treballant de forma cooperativa, per tal de compartir la generació de les plantes productores, mitjançant, per exemple, contractes intel·ligents utilitzant les tecnologies de cadenes de blocs.

4.2.1 Avantatges i de la implementació

Els principals avantatges d'aquesta proposta de model són:

- Models aplicables en zones que presenten repte demogràfic i que ajudarien a la recuperació de població i augment del treball qualificat de la zona. Sobirania energètica de municipis i comarques.
- Augment de la conscienciació ciutadana sobre l'origen i cost real de l'energia elèctrica mitjançant l'empoderament al ciutadà en la presa de decisions de la seva pròpia comunitat energètica.
- Pal·liació de la contaminació generada per la producció energètica gràcies a l'augment de fonts renovables.
- Minoració de les pèrdues energètiques de transport gràcies al repartiment distribuït de la producció.
- Disminució de la dependència energètica i de la consegüent importació de matèries primeres.

4.2.2 Desavantatges de la implementació

Els principals desavantatges d'aquesta proposta de model són:

- Estat legislatiu i administratiu de creació embrionari.
- Limitacions tècniques per realitzar les funcions de gestor energètic per part de petites i mitjanes empreses.
- Dificultat d'aplicació a zones amb molts habitants, com ara grans ciutats o barris.
- Complexitat a l'hora de fer servir la governança democràtica i estratègies de relacions locals.

5 CONCLUSIÓ

Aquest article ha resumit i exposats els principals trets i característiques del sistema de subministrament espanyol, les *smart grids* i les comunitats energètiques. Un cop analitzats aquests conceptes per separat i exposats conjuntament, s'ha realitzat una proposta de model del futur que millori les condicions actuals emprant els conceptes exposats. A continuació s'indiquen les conclusions extretes d'aquest procés:

- La sobirania energètica d'una nació neix del màxim aprofitament dels seus recursos naturals. Apostar per les energies renovables pot disminuir la dependència energètica exterior. Mitjançant l'impuls de comunitats energètiques s'implica als consumidors a participar en l'augment de la producció elèctrica d'origen renovable.
- Les comunitats energètiques són microxarxes portades a la pràctica que utilitzaran tecnologies *smart grids* i, per tant, els projectes i negocis que es creïn per a la seva realització formaran part del procés de transformació dels sistemes convencionals de subministrament,

cap a sistemes moderns, sostenibles i intel·ligents. Les tecnologies *smart grid* i les comunitats energètiques són dos vessants del món de l'energia que es combinen i es retroalimenten positivament.

- Tot i l'estat embrionari de la legislació en qüestió de comunitats energètiques, les condicions ambientals, socials i econòmiques són molt favorables per a un creixement d'aquests projectes en un futur.
- La figura de gestor energètic i promotor de comunitats energètiques tindrà la responsabilitat d'ajudar a definir els paràmetres referents al futur de la generació distribuïda d'energia. L'abast del seu treball en contraposició de les distribuïdores s'anirà definint a mesura que surtin noves lleis sobre comunitats energètiques.

La proposta de generació distribuïda mitjançant l'ús de tecnologies *smart grids* i comunitats energètiques es complementa a la perfecció amb l'interès nacional i internacional de gestionar un sistema de subministrament de forma eficient i amb el mínim impacte pel medi ambient.

REFERÈNCIES

- [1] DURÁN, Ramón Fernández; REYES, Luis González. En la espiral de la energía: Historia de la humanidad desde el papel de la energía (pero no solo). Libros en acción, 2014.
- [2] International Energy Agency (2020). Power systems in transition Challenges and opportunities ahead for electricity security. Recuperat el 16 d'abril de 2022 [link] <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition>.
- [3] VILISOV, Maxim. La transición energética y su impacto en la política estatal. Universidad de La Habana, 2021, 292.
- [4] CAPROS, Pantelis, et al. Outlook of the EU energy system up to 2050: The case of scenarios prepared for European Commission's "clean energy for all Europeans" package using the PRIMES model. Energy strategy reviews, 2018, 22: 255-263.
- [5] CLAEYS, Grégory, et al. How to make the European Green Deal work. Brussels, Belgium: Bruegel, 2019.
- [6] DE ESPAÑA, Gobierno. Borrador Actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima [National Integrated Energy and Climate Plan](PNIEC) 2021-2030. 2020.
- [7] International Energy Agency. Energy Security. Reliable, Affordable Access to All Fuels and Energy Sources, 2020. Recuperat el 16 d'abril de 2022 [link] <https://www.iea.org/topics/energy-security>.
- [8] KHATIB, Hisham. IEA world energy outlook 2011—A comment. Energy policy, 2012, 48: 737-743.

- [9] DEL VALLE GUERRERO, Ana Lía. Repensar la integración energética sudamericana frente a la incertidumbre de la integración regional y la transición energética global. *Revista Aportes para la Integración Latinoamericana*, 2020, 42: 025025.
- [10] GALDÓN-RUIZ, Jose Antonio; GUAITA-PRADAS, Inmaculada; MARÍ, B. Análisis del sistema eléctrico español. *Técnica industrial*, 2017, 316: 50-63.
- [11] DE ESPAÑA, Red Eléctrica. Atlas de la demanda eléctrica española (Proyecto INDEL). 1998.
- [12] DE ESPAÑA, Red Eléctrica. Proyecto INDEL. Atlas de la demanda eléctrica española. Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico (PIE), REE, 1998.
- [13] FALVO, M. C., et al. Small scale ESS for LV prosumers: An economic feasibility and sensitivity analysis. In: 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). IEEE, 2015. p. 950-955.
- [14] EUROPEAN COMMISSION, Directorate-general for Research and Innovation, European SmartGrids Technology Platform: vision and strategy for Europe's electricity networks of the future, Publications Office, 2006.
- [15] SANTANA, Hernán Arturo, et al. Redes de comunicación y automatización de sistemas de potencia-Un paso hacia la tecnología de las redes inteligentes Smart Grids. *Redes de Ingeniería*, 2012, 3.2: 77-91.
- [16] REE, 2020. ¿Qué son las Smartgrid? [en línea]. Disponible a: <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid> [Consulta: 12 de maig de 2022].
- [17] EUROPEA, Unión. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo. Comité económico y social europeo y Comité de las regiones 2011.
- [18] ANDRADE, Carlos Andrés Díaz; HERNÁNDEZ, Juan Carlos Delgado. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica—Estado del Arte. *Sistemas y Telemática*, 2011, 9.18: 53-81.
- [19] IBERDROLA, "Experiencias internacionales: Casos Reales de despliegue de redes inteligentes". Congreso "Redes Inteligentes de Electricidad, una estrategia para España", 2013.
- [20] ORTEGA, Esteban Mauricio Inga. Redes de comunicación en smart grid. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 2012, 7: 36-55.
- [21] CHUANG, Angela. EPRI smart grid RD overview. In: EPRI. Presentation at HP Sustainability Innovation Workshop. 2008.
- [22] PETER, Viktor, et al. Blockchain meets energy: digital solutions for a decentralized and decarbonized sector. German-Mexican energy partnership (EP) and florence school of regulation (FSR), 2019.
- [23] PETRI, Ioan, et al. Blockchain for energy sharing and trading in distributed prosumer communities. *Computers in Industry*, 2020, 123: 103282.
- [24] MARNAY, Chris, et al. Microgrid evolution roadmap. In: 2015 international symposium on smart electric distribution systems and technologies (EDST). IEEE, 2015. p. 139-144.
- [25] MORSTYN, Thomas, et al. Multi-agent sliding mode control for state of charge balancing between battery energy storage systems distributed in a DC microgrid. *IEEE Transactions on smart grid*, 2017, 9.5: 4735-4743.
- [26] SATPATHY, Lalatendu. Smart housing: technology to aid aging in place-new opportunities and challenges. 2006. PhD Thesis. Architecture.
- [27] DE MIER CORTIJO, Laura Gabriela, et al. Consulta Pública Previa Comunidades Energéticas Locales.
- [28] IDAE. Comunidades energéticas [en línea]. Madrid, 2021. [Consulta: 17-06-2022]. Disponible a: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>.
- [29] DE ESPAÑA, Gobierno. Estrategia Nacional Frente al Reto Demográfico. Directrices Generales, 2017.
- [30] AIGUASOL, Guia para el Desarrollo de Instrumentos de Fomento de Comunidades Energéticas Locales, Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid, 2019.
- [31] CAMACHO-BALLESTA, José Antonio; DA-SILVA-ALMEIDA, Lucas; BELMONTE, Jesús Molina. Evolución de las políticas de energías renovables en España. *International Review of Economic Policy-Revista Internacional de Política Económica*, 2021, 3.2: 77-87.
- [32] CARAMIZARU, Aura; UIHLEIN, Andreas. Energy communities: an overview of energy and social innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.
- [33] EUROSTAT, Energy Database. OECD Environment Database. Luxemburg, 2021. [Consulta: 17/06/2022]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
- [34] CNMC, Comisión nacional del mercado y la competencia. Sala de prensa: Informe de deuda del sistema eléctrico español. [Consulta: 17/06/2022] Disponible a: <https://www.cnmc.es/prensa/informe-deduda-sistema-electrico-20220128>
- [35] PHULPIN, Yannick; HENNEBEL, Martin; PLUMEL, Sophie. La traçabilité de l'électricité: une méthode équitable pour l'allocation des coûts de transmission, 2005.
- [36] DE ESPAÑA, Red Eléctrica. "Avance del Informe del sistema eléctrico español 2021", (2022).
- [37] DE ESPAÑA, Atlas Nacional. "Principales centrales eléctricas 2014-2016", (2017).

APÈNDIX

1.1 Mapa de generació elèctrica a Espanya

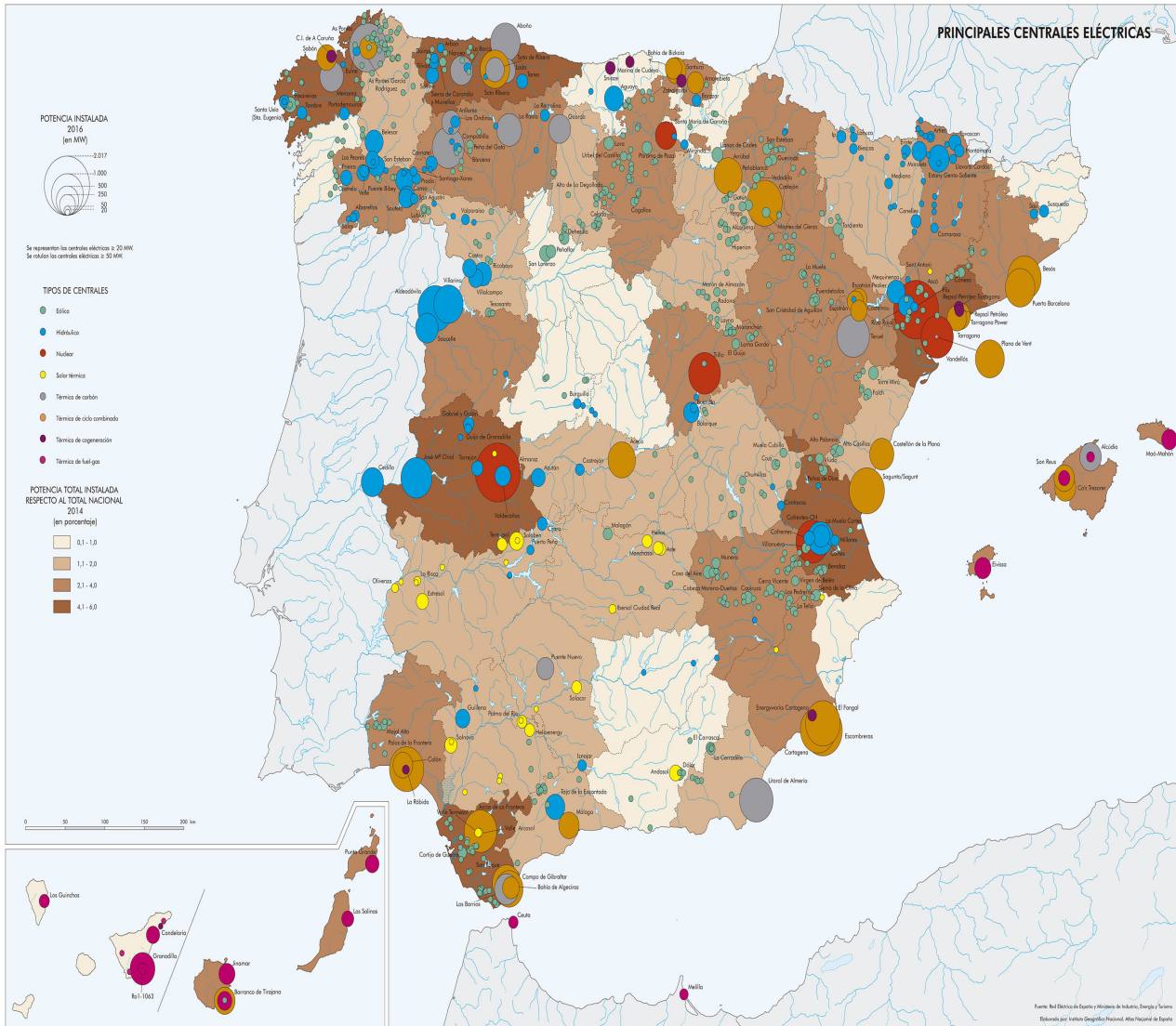


Figura 3: Mapa de les principals plantes de generació elèctrica de Espanya (2014-2016) [37].

1.2 Esquema de generació distribuïda mitjançant comunitats energètiques

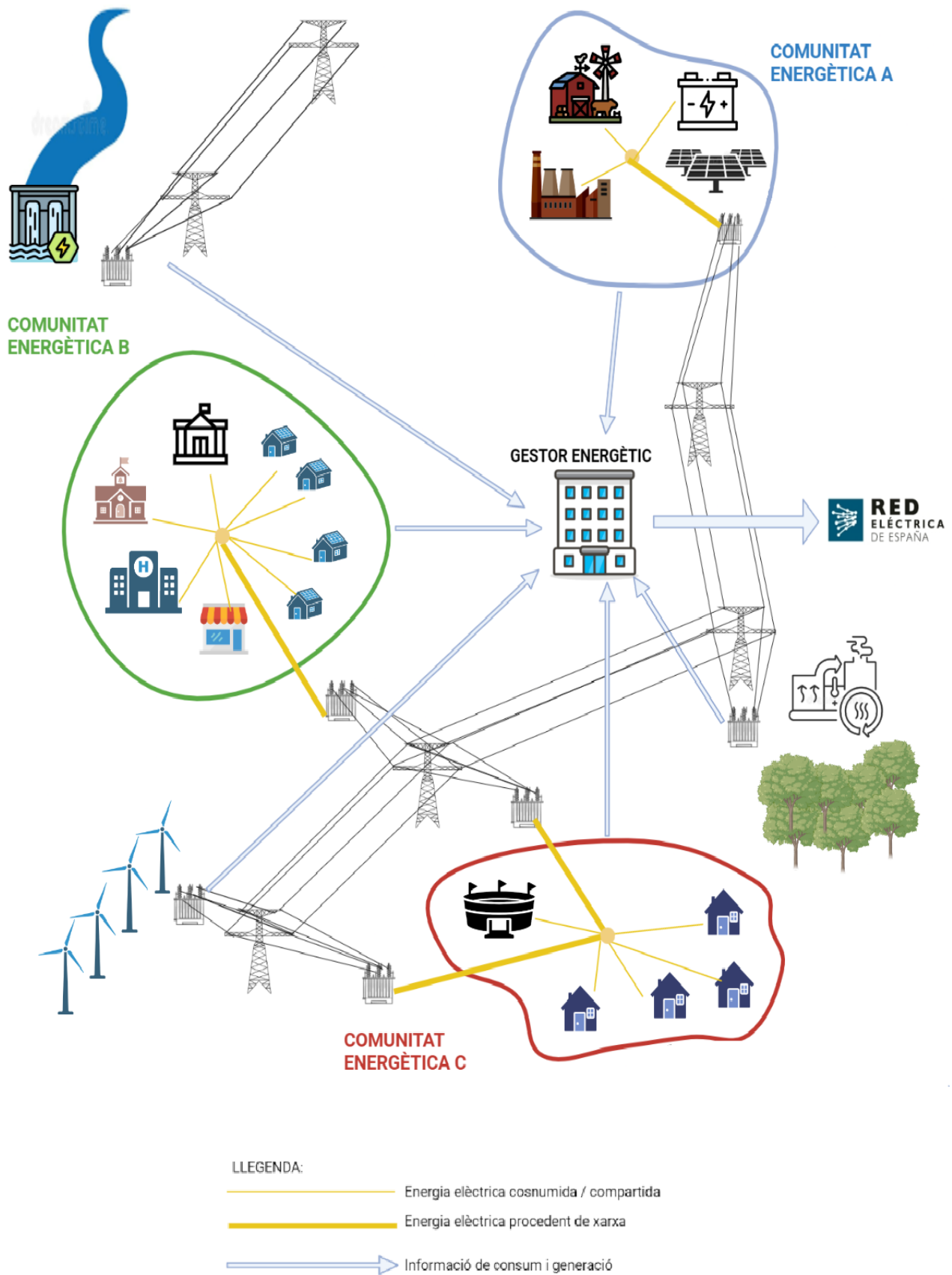


Figura 4: Esquema de proposta per al futur del sistema de subministrament mitjançant comunitats energètiques (elaboració pròpia).