

Carles Riba Romeva

Transició Energètica



# Itinerari energètic integral

Obtenció d'energia  
útil en un sistema  
renovable

©MES

Octaedro





# **Itinerari energètic integral**

Obtenció d'energia  
útil en un sistema  
renovable





**Carles Riba Romeva**

**Itinerari  
energètic integral**  
Obtenció d'energia  
útil en un sistema  
renovable



Col·lecció Transició energètica

*Itinerari energètic integral. Obtenció d'energia útil en un sistema renovable*

Primera edició: desembre del 2021

© Carles Riba Romeva

© D'aquesta edició:  
Editorial OCTAEDRO, S.L. – CMES (Col·lectiu per a un Nou Model  
Energètic i Social Sostenible)

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només pot ser realitzada amb l'autorització del seus titulars, llevat de les excepcions previstes per la llei. Adreceu-vos al CEDRO (Centre Espanyol de Drets Reprogràfics, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necessiteu fotocopiar o escanejar algun fragment d'aquesta obra.

ISBN (PDF): 978-84-19023-37-7

ISBN (paper): 978-84-19023-73-5

Dipòsit legal: B 20222-2021

Disseny i producció:

Editorial Octaedro

Bailèn, 5, pral. – 08010 Barcelona

Tel.: 93 246 40 02 – Fax: 93 231 18 68

[octaedro@octaedro.com](mailto:octaedro@octaedro.com) – [octaedro.cat](http://octaedro.cat)

Disseny de la coberta: Tomàs Capdevila

Impressió: Ulzama

Imprès sobre paper ecològic

Imprès a la UE – *Printed in EU*

# Sumari

Prefaci	9
1. Els reptes davant la transició energètica	11
2. Concepte de <i>itinerari energètic integral</i>	17
3. Itinerari energètic amb camins alternatius	37
4. L'alimentació energètica dels vehicles	47
5. Principis per a un sistema energètic sostenible	65
6. Conclusions	77
7. Bibliografia	83

*Als meus nets Lluç, Dídac i Aran.*



# Prefaci

Avui dia, els humans ens dirigim a una doble crisi relacionada amb els combustibles fòssils: el col·lapse de l'actual economia del creixement basada en d'aquests recursos finits i irrepetibles a escala de temps humana, propers al seu exhauriment; i l'alteració de l'equilibri climàtic a causa dels gasos d'efecte hivernacle indissolublement associats al seu ús (la combustió), amb conseqüències greus per a les civilitzacions actual i futures. A més, aquesta crisi energètica i climàtica s'acompanya de l'amenaça d'exhauriment de matèries primeres escasses que han esdevingut estratègiques.

El col·lapse és evitable si som capaços de fer una canvi de rumb, ja que rebem del Sol energia renovable suficient per a una vida digna de tots els habitants de la Terra; alhora, els ecosistemes tenen notables capacitats de readaptació a les alteracions del clima si no se sobrepassen determinats límits. Tanmateix, cal modificar la nostra actitud envers el planeta i la resta d'éssers vius amb canvis radicals en els valors, els comportaments, les tecnologies i les formes d'organització econòmica, social i política.

Fins ara, cada nova civilització s'ha acompanyat d'una transició energètica (el foc i la biomassa, l'agricultura i la ramaderia, les veles i els molins, els combustibles fòssils i la fissió nuclear) que han aconseguit capacitats i potències energètiques més elevades. Ara, però, cal transitar per primer cop vers unes fonts energètiques renovables menys intensives (tot i ser abundants), distribuïdes i accessibles.

El sistema energètic renovable es basa en l'energia que la Terra rep de la irradiació del Sol en cada moment (en lloc de l'energia acumulada durant milions d'anys) i obliga a desplegar una gran extensió d'instal·lacions de captació i una important capacitat de dispositius d'emmagatzematge en un context de bona gestió i usos adequats. Això no serà possible sense un capgirament mental col·lectiu: entre altres coses, cal passar del sistema actual de gestió de l'oferta, on en cada moment es genera l'energia que demanen els usuaris sense més limitació que el preu, a un sistema energètic de *gestió de la demanda*

en què en cada moment caldrà adaptar en el possible els usos a la disponibilitat d'unes fonts energètiques renovables majoritàriament intermitents i aleatòries.

El procés de transició actual topa amb diverses dificultats que, per desgràcia, es reforcen mútuament: d'una banda, la despreocupació d'una gran part dels ciutadans que tan sols relacionen l'energia amb el preu i, de l'altra, l'avidesa d'unes grans companyies (l'oligopoli energètic) que controlen aquests recursos i que han configurat el sistema energètic en benefici propi. Tanmateix, aquest canvi permet desplegar el que anomenem la *transició energètica dels ciutadans* (fonamentalment d'*autoconsum*), o sigui, l'obtenció, l'ús, la gestió i el control d'una part de l'energia destinada fonamentalment a usos propis (o comunitaris) dels ciutadans, de les empreses i de les administracions properes.

El present text exposa el nou concepte de *itinerari energètic integral*, que inclou en una mateixa eina tant la incidència dels rendiments de les transformacions de l'energia des de la font fins a l'energia útil i els usos com els efectes de la taxa de retorn energètic (TRE; en anglès EROI, *energy return on investment*) que, seguint el camí invers, relaciona l'energia obtinguda a la sortida de cada etapa de l'itinerari amb l'energia grisa (definida més endavant) dels *inputs*, equips i infraestructures que hi intervenen i la fan possible. A fi d'establir un balanç energètic integrat, es proposa descomptar, en termes d'equivalència, les energies grises de l'energia disponible a la font.

L'emmagatzematge pren una importància central en el nou sistema energètic renovable, on les principals fonts (fotovoltaica, eòlica) generen electricitat de forma intermitent i/o aleatòria. El present treball analitza diversos itineraris energètics complexos en dos camps d'activitat on l'emmagatzematge serà determinant: l'alimentació energètica dels vehicles; i la xarxa elèctrica alimentada per fonts renovables amb emmagatzematge parcial.

Finalment, per tal de consolidar el canvi de paradigma mental que requereix la transició energètica, s'enuncien tres principis on cal emmarcar el nou sistema energètic renovable: el *principi d'equivalència energètica*, el *principi de guany energètic* i el *principi de d'autoreproducció energètica*.

# 1. ELS REPTES DAVANT LA TRANSICIÓ ENERGÈTICA

## 1.1. Introducció

Les successives civilitzacions humanes s'han caracteritzat per una capacitat creixent d'obtenir energia útil controlada i operable a partir dels recursos de la natura. Així va ser amb el domini del foc, amb el desenvolupament de l'agricultura i la ramaderia, amb l'aprofitament dels vents i corrents d'aigua per mitjà de veles i molins, amb l'explotació dels combustibles fòssils en els darrers dos-cents anys i amb l'energia nuclear en les darreres cinc dècades, essent aquestes dues darreres les que han possibilitat la nova civilització digital. L'electricitat i la xarxa elèctrica, desenvolupades fa poc més d'un segle, han facilitat molt les aplicacions de l'energia, però no són una nova font, sinó un vector energètic (o portador d'energia; en anglès, *energy carrier*), intermediari entre les fonts d'energia i les aplicacions.

La llenya per al foc, els cultius, els corrents d'aigua, els vents... són tots ells recursos procedents en darrera instància de l'energia solar rebuda en el mateix moment de ser obtinguda o en lapses de temps anteriors molt breus en termes geològics. En canvi, els fòssils es basen en energia solar acumulada durant centenars de milions d'anys a partir de matèria orgànica d'essers vius i l'urani és el resultat de processos físics que van tenir lloc en formar-se el sistema solar.

La present crisi dels fòssils i la conseqüent crisi climàtica ens encamina de nou vers unes fonts energètiques renovables abundants i basades en fluxos naturals permanents a escala de temps humana, però menys intensives. El present escrit se centra en la noció de *itinerari energètic* i en noves metodologies amb vista a analitzar l'obtenció d'energia en el marc de la transició vers les fonts renovables.

## 1.2. Claus de la transició energètica actual

La humanitat està a les portes d'haver d'afrontar unes transformacions transcendentals en passar d'una economia adaptada als combustibles fòssils, recursos energètics d'estoc (de capital), concentrats però finits en el temps, a una nova economia encara per construir basada altre cop en energies renovables procedents de fluxos naturals (anàlogues a un salari energètic), abundants però menys concentrades, que ens obliguen a ser molt més curiosos i exigents en l'obtenció, transformació i ús de l'energia.

Lamentablement, amb el soroll del dia a dia, els veritables reptes que hi ha darrere del canvi climàtic i la transició energètica resten ocults a la major part de la població i, també, a molts dels seus dirigents intel·lectuals, socials, econòmics i polítics. Aquests reptes s'emmarquen en un doble vessant: per un costat, hi ha la necessitat d'un canvi profund en els valors predominants i en els comportaments socials i polítics; i, per altre costat, cal d'avançar en la comprensió de les dinàmiques i els límits dels processos físics en una Terra finita i adaptar l'acció tecnològica i econòmica a un nou equilibri sostenible i compatible amb la dinàmica dels sistemes ecològics amb recursos limitats.

### Vessant dels valors

El canvis de valors afecten conceptes fortament arrelats a les mentalitats actuals (com la *espiral de creixement continu*) i serà molt difícil gestionar-los sense la complicitat d'àmplies majories de població.

L'obsessió productivista d'avui dia condueix a impulsar grans projectes de generació els quals (seguint la paradoxa de Jevons) solen provocar un rebot de sentit contrari, com ja passa amb el fet que la major part de les energies renovables incorporades recentment al sistema energètic no substitueixen els consums de les energies fòssils no renovables, sinó que s'hi sumen.

Cal invertir l'ordre de les preocupacions: en comptes de generar o captar molta energia com a senyal de millora econòmica, s'ha d'esbrinar primer quina és l'energia necessària per a les activitats realment importants i valuoses per a la ciutadania; i, després, adaptar el sistema energètic a aquestes necessitats, atès que aquest té uns costos que convé minimitzar.

L'atenció s'ha de centrar en donar solució a les necessitats bàsiques dels ciutadans (alimentació, habitatge, mobilitat, béns bàsics, serveis, cultura) a partir de les noves fonts renovables i l'ús responsable dels recursos finits de la Terra, tot abandonant el marc mental productivista i consumista. Aquesta

actitud tendeix a generar un efecte pedagògic en visualitzar les capacitats i límits del nou sistema energètic, a fomentar una inclinació vers els usos eficients i adequats dels recursos i a impulsar la participació i l'apoderament de la ciutadania en la construcció d'una societat més justa i resilient.

Això significa capgirar l'obsessió per les fonts primàries (avui majoritàriament fòssils) i centrar l'atenció en els usos tot cercant aigües amunt les fonts primàries renovables més adequades. Aquesta nova visió posa de manifest els veritables requeriments energètics de les nostres necessitats (generalment molt inferiors als usos d'avui dia) i, alhora, predisposa a donar valor a tots els recursos energètics tant els explícits (els fluxos renovables) com els implícits (il·luminació solar, climatització passiva, aliments de temporada, aparells manuals), encara que siguin de dimensió petita.

## Vessant de les tecnologies

La major part dels ciutadans donen avui dia l'energia per descomptada (els darrers estocs de fòssils encara ho avalen) i només s'hi relacionen a través dels preus. L'energia és extreta majoritàriament de jaciments de sota terra en localitzacions llunyanes que o bé no es perceben o bé són fàcils d'ignorar.

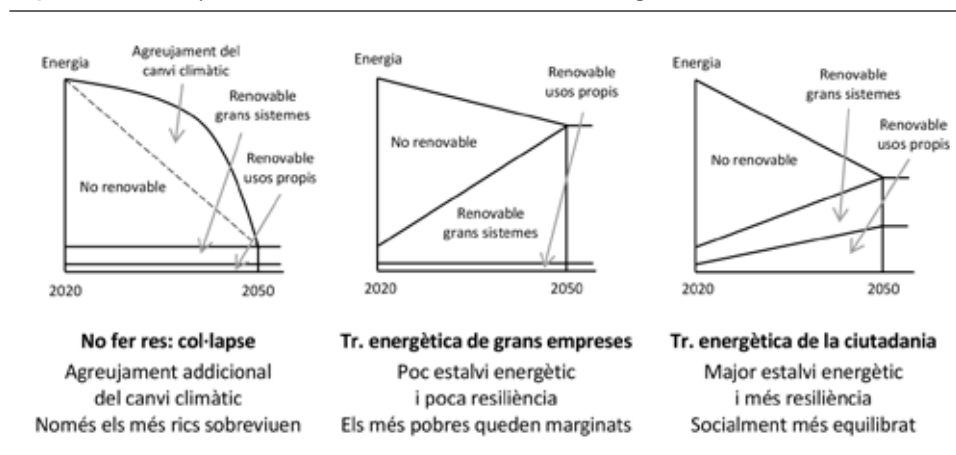
En el nou sistema renovable, l'energia s'obté a través de superfícies o espais de captació lligats al territori i, per tant, cal posar aquest aspecte en el centre de les preocupacions. Qualsevol nova activitat (sobretot si comporta una quantitat o una intensitat d'energia elevades) obligarà a preveure importants superfícies de captació i la seva ubicació en el territori.

Alhora, la transició a les fonts renovables produeix un altre efecte indirecte amb relació al territori: el transport (que avui externalitza la major part dels seus costos i impactes) experimentarà un encariment relatiu que incidirà en altres activitats que la globalització ha convertit en habituals i que difícilment podran continuar com fins ara: la segmentació dels processos productius i la seva dispersió geogràfica, el treball i les reunions presencials lluny de la residència, l'adquisició de productes o de serveis bàsics que tenen l'origen a gran distància, els grans esdeveniments esportius i culturals associats a una gran quantitat de viatges, o el turisme de masses.

### 1.3. Opcions de transició energètica i els seus efectes

La figura 1 esquematitza tres opcions bàsiques sobre com encarar la transició energètica, amb conseqüències ambientals, tecnològiques i socials diferents:

**Figura 1** Tres opcions alternatives de transició energètica.



#### No fer res

Aquesta opció condueix al col·lapse. No es preparen les infraestructures del demà i s'exploten els darrers recursos fòssils cada cop menys rendibles i de conseqüències climàtiques més difícils de revertir.

Arribats a un cert llindar, la disponibilitat d'energia pot caure de forma abrupta i deixar la major part de la població mundial en una situació de difícil subsistència. Tenint en compte que una alta proporció de l'alimentació humana depèn del petroli —ja sigui en els processos i *inputs* productius o perquè força sovint els aliments es consumeixen a gran distància del lloc de producció i han de ser transportats—, qualsevol caiguda brusca del proveïment de petroli pot tenir efectes devastadors per a la supervivència de milions de persones al món. Tan sols els més poderosos tindran capacitat d'acaparar les darreres reserves de fòssils i mantenir un sistema energètic en benefici propi, mentre que les capes socials menys afavorides quedaran abandonades a la seva sort.

Probablement, les societats pocs desenvolupades que viuen encara d'una economia allunyada dels combustibles fòssils poden ser, entre els pobres,

els que millor sortegin l'embat de la crisi energètica, sempre que la crisi climàtica no hagi deteriorat el seu medi o minvat i destruït els seus recursos.

Aquests efectes sobre el model agroalimentari es poden fer extensius als altres aspectes de la vida de les societats (indústria, transport, sanitat, etc.) que avui dia depenen intensament de l'ús de l'energia.

## Transició energètica a partir de grans empreses

Aquesta opció (continuar com ara, però amb fonts renovables) té com a conseqüències: per un costat, combina la comoditat d'una part majoritària de la ciutadania (que delega aquest servei bàsic) amb l'avidesa dels grans capitals per continuar acaparant recursos i poder; i, per l'altre, reforça la despreocupació de la població pels processos d'estalvi i racionalització energètica amb els interessos de les grans empreses de l'oligopoli per obtenir més beneficis venent com més energia millor. Aquesta opció atorga a aquestes empreses un gran poder per configurar tot el sistema energètic, amb efectes perversos com ara no donar prioritat a l'actitud d'estalvi, a la rehabilitació tèrmica d'edificis o a la revisió dels processos productius.

Les seves conseqüències són un major consum d'energia que la tercera opció (la transició energètica de la ciutadania), ja que elimina la implicació col·lectiva en l'estalvi i, la continuïtat de les tendències de consum actuals, fet que comportarà unes afectacions territorials molt superiors amb instal·lacions de sistemes renovables que, probablement, tendiran a ser molt poc respectuoses amb els ecosistemes i amb altres usos del territori. Alhora prefigura un sistema social menys resilient que, sota la batuta dels interessos del capital privat, tendirà a marginar els sectors socials més febles.

De fet, aquest és el camí que hem iniciat avui dia, quan encara estan per desplegar la gran majoria de potencialitats d'obtenció d'energia per a usos propis o en comunitats locals d'energia.

## Transició energètica de la ciutadania

En aquesta tercera opció, la participació de gran part de la població, de forma individual o col·lectiva, en sistemes d'obtenció d'energia fonamentalment per a usos propis (individuals o col·lectius) té uns efectes pedagògics molt positius en relació amb les necessitats i als usos de l'energia amb un potencial molt gran d'estalvi sense repercutir en la qualitat de vida.

Per descomptat, més enllà de l'obtenció d'energia per a usos propis, faran falta sistemes d'obtenció complementaris que caldrà confiar a empreses especialitzades; però, en una societat sensibilitzada, coneixedora de les necessitats i implicada en la solució del nou sistema energètic renovable, és d'esperar que les instal·lacions siguin més respectuoses amb els ecosistemes i amb els altres usos del territori.

Atès el caràcter estratègic de l'energia en totes les activitats humanes i les implicacions múltiples de la seva captació per a la societat i el territori, convé considerar l'energia com a *bé comú* que cal administrar al servei de l'interès general, i evitar que esdevingui un recurs per a negocis privats. Les administracions públiques hauran de tenir un paper determinant en la regulació de les grans empreses energètiques especialitzades per garantir el proveïment dels grans usuaris (grans indústries, serveis i sistemes de transport).

Els avantatges d'aquesta solució mixta són que genera un control i una participació més grans, fomenta l'estalvi i els bons usos de l'energia, implica unes afectacions territorials menors i més ajustades i crea un sistema més resilient on molts ciutadans, empreses i administracions properes cobreixen una part essencial de les seves necessitats energètiques directes amb recursos propis.

Des del punt de vista energètic, l'era dels combustibles fòssils ha estat presidida per l'obsessió per augmentar les capacitats d'explotació d'aquests recursos, fora de tota preocupació pel seu caràcter finit i d'una veritable consciència sobre la seva incidència en el canvi climàtic. Avui dia ens estem acostant perillosament a tots aquests límits quan encara les veus hegemòniques dels dirigents de la nostra societat continuen ancorades en el vell paradigma del creixement continu, sense percebre que cal avantposar la transició energètica a les fonts renovables a tota altra acció. Sense unes fonts adequades d'energia neta i renovable, i amb un clima cada vegada més advers, la mateixa subsistència de la vida humana estarà en entredit i totes les altres accions resultaran inútils.

L'articulació d'aquesta darrera alternativa, la transició energètica de la ciutadania, demana la presa de consciència de tothom. Però, alhora, requereix el desenvolupament de noves concepcions, metodologies i eines per gestionar aquestes fonts d'energia renovable que, tot i ser suficientment abundants a la natura, tenen unes característiques físiques, tecnològiques i geopolítiques molt allunyades de les dels combustibles fòssils.

Entre aquestes noves eines i metodologies hi ha el concepte de *itinerari energètic integral*, que és l'objecte del present treball.



# Índex

Prefaci	9
<b>1. Els reptes davant la transició energètica</b>	11
1.1. Introducció	11
1.2. Claus de la transició energètica actual	12
Vessant dels valors	12
Vessant de les tecnologies	13
1.3. Opcions de transició energètica i els seus efectes	14
No fer res	14
Transició energètica a partir de grans empreses	15
Transició energètica de la ciutadania	15
<b>2. Concepte de <i>itinerari energètic integral</i></b>	17
2.1. Definició de termes	17
Itinerari energètic	17
Fonts d'energia	18
Recursos i reserves en les fonts d'estoc	18
Característiques de les fonts de flux	19
Vectors energètics	19
Energia útil, efector i rendiments	20
Energia grisa i taxes de retorn energètic (TRE)	21
2.2. Valors dels rendiments i de les taxes de retorn energètic (TRE)	23
Eficiència de la captació fotovoltaica	24
Taxes de retorn energètic (TRE)	25
Taxa de retorn energètic (TRE) d'una bateria d'ió liti	25
2.3. Elements de l'itinerari energètic integral	26
Itinerari energètic principal	27
Itinerari d'energia dissipada	28
Itinerari d'energia grisa i taxa de retorn energètic (TRE)	30
Itinerari energètic integral en funció dels rendiments i de les TRE	31
Exemple: cas de la bicicleta elèctrica	32

2.4. Incidència de la TRE en el balanç energètic	34
<b>3. Itinerari energètic amb camins alternatius</b>	<b>37</b>
3.1. Model d'itinerari amb camins alternatius	37
3.2. Crítica a les conclusions de Barnhart i Benson	44
<b>4. L'alimentació energètica dels vehicles</b>	<b>47</b>
4.1. Alternatives en el sistema renovable	47
Agrocarburants i motors tèrmics	48
Bateria d'ió liti i motor elèctric	49
Hidrogen, pila de combustible i motor elèctric	49
Catenària, tròlei i motor elèctric	50
4.2. Model d'itinerari energètic en els vehicles	50
4.3. Itineraris energètics en vehicles elèctrics	52
Vehicle elèctric alimentat amb bateria d'ió liti	52
Vehicle elèctric alimentat amb H <sub>2</sub> i pila de combustible	54
Vehicle elèctric alimentat amb catenària i tròlei	55
4.4. Itineraris energètics en vehicles alimentats amb agrocarburants	57
Evolució de la producció d'agrocarburants	57
Vehicle alimentat amb bioetanol	60
Vehicle alimentat amb biodièsel	61
4.5. Comparació entre vectors energètics alternatius per a vehicles	63
<b>5. Principis per a un sistema energètic sostenible</b>	<b>65</b>
5.1. Enunciat dels principis	65
Principi d'equivalència energètica	65
Principi de guany energètic	66
Principi d'autoreproducció energètica	67
5.2. Comptabilitat energètica a la llum d'aquests principis	68
Nova referència energètica: l'electricitat	69
Resoldre el component brut de les energies renovables	69
La preocupació pel guany energètic	72
Els materials escassos	73
<b>6. Conclusions</b>	<b>77</b>
<b>7. Bibliografia</b>	<b>83</b>

**Si voleu més informació  
o adquirir el llibre  
adreceu-vos a:**

**[www.octaedro.com](http://www.octaedro.com)**



# Itinerari energètic integral

Obtenció d'energia  
útil en un sistema  
renovable

Avui dia, els humans ens encaminem a una doble crisi relacionada amb els combustibles fòssils: per un costat, el col·lapse de l'economia del creixement continu i, per l'altre, l'alteració de l'equilibri climàtic a causa dels gasos d'efecte hivernacle; a més, aquesta doble crisi s'acompanya de l'amenaça d'exhauriment de matèries primeres estratègiques. Si som capaços de fer un canvi de rumb, el col·lapse és evitable; però caldrà modificar la nostra actitud envers el planeta i la resta dels éssers vius, mitjançant canvis radicals en els valors, els comportaments, les tecnologies i les formes d'organització econòmica, social i política i, alhora, dotar-nos de noves eines.

Aquest text exposa el nou concepte de *itinerari energètic integral*, que inclou en una mateixa eina tant la incidència dels rendiments de les transformacions de l'energia des de les fonts fins a l'energia útil i els usos com els efectes de la taxa de retorn energètic (TRE; en anglès EROI), que relaciona l'energia de sortida de cada etapa amb l'energia grisa dels *inputs*, equips i infraestructures que la fan possible. A fi d'establir un balanç energètic integral, es proposa descomptar, en termes d'equivalència, les energies grises de l'energia disponible a la font.

Finalment, amb l'objectiu de consolidar el canvi de paradigma mental que exigeix la transició energètica, on l'emmagatzematge tindrà una importància cabdal, s'enuncien tres principis que el nou sistema energètic renovable hauria de complir: *el principi d'equivalència energètica, el principi de guany energètic i el principi de d'autoreproducció energètica.*

## **Carles Riba Romeva**

Doctor enginyer industrial nascut a Palma de Mallorca el 1947, ha estat professor de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) des del 1971 fins al 2017, i actualment és professor emèrit. Del 1979 al 1983 va ser alcalde de Sant Joan Despí i vicepresident de la Corporació Metropolitana de Barcelona. Entre el 1995 i el 2013 va ser president del Centre d'Estudis Comarcals del Baix Llobregat (CECBLL), i del 2006 al 2019, vicepresident de la Coordinadora de Centres d'Estudis de Parla Catalana i membre del Patronat de l'Institut Ramon Muntaner (IRMU). Des del 2012 és president del Col·lectiu per a un Nou Model Energètic i Social Sostenible (CMES).