

# **La transformació del sistema energètic**

## Recursos, raons i eines





**Eduard Furró Estany**

**La transformació  
del sistema energètic**  
Recursos, raons i eines



Col·lecció Transició energètica

*La transformació del sistema energètic. Recursos, raons i eines*

Primera edició: febrer del 2019

© Eduard Furró Estany

© 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: 978-84-17219-80-2

Dipòsit legal: B. 4185-2019

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*

## Nota d'agraïment

Tots els llibres beuen, en menor o major grau, de les fonts de pensament que a poc a poc anem posant tots en comú.

Avui és pràcticament impossible aconseguir crear nou pensament sense que aquest hagi estat, d'alguna forma, inspirat, modelat o induït per aquest ideari que anem compartint.

De fet, les actituds i els pensaments que ens transmetem són peces d'un puzle que, tot i que presenta formes diverses, acaben encaixant les unes amb les altres per acabar configurant un mosaic d'imatge comuna.

D'aquí ve el meu agraïment a totes aquelles persones, i especialment les del meu entorn més proper, que dia a dia van compartint inquietuds, cabòries i maneres d'entendre com podria ser un futur cada cop millor i més just i que lluiten i treballen per fer-ne una difusió pedagògica al servei de tothom.

Una feina callada i sovint altruista, moguda en gran mesura per aquest sentiment ecologista innat, que alguns no són encara ben bé conscients que la tenen, però que esdevé una eina fonamental per a la preservació del futur de la vida i, per tant, de tots els ecosistemes que la fan possible.

*Eduard*



# Sumari

Pròleg. Canviar de model energètic o transformar el sistema?	11
Introducció	13
<b>LES RAONS</b>	
1. Els elements determinants del canvi: raons i perquè d'un nou sistema energètic	19
<b>ELS RECURSOS</b>	
2. La suficiència de les fonts renovables	49
<b>LES FONTS</b>	
3. Les principals fonts renovables d'accés a l'energia	71
<b>EL MODEL</b>	
4. Els elements determinants de la transformació	133
<b>LES EINES</b>	
5. Les eines socials del canvi	149
6. Les eines tecnològiques del canvi	183
7. L'emmagatzematge de l'energia	207
<b>EL TERRITORI</b>	
8. Energia renovable i territori	225
<i>Sobre l'autor</i>	245
<i>Índex de figures i taules</i>	247
<i>Índex</i>	251







# PRÒLEG

## Canviar de model energètic o transformar el sistema?

La substitució de l'actual model energètic, basat en uns magatzems finits de combustibles fòssils i urani, és un repte que requerirà la participació de tota la humanitat.

No podem mirar aquest canvi des d'un punt de vista exclusivament tecnològic. El canvi ha de ser impulsat i conduït a través de l'acció coordinada de tres actors claus que són la societat, els coneixements i l'acció política.

És evident que el nou model, basat en l'aprofitament de les fonts renovables de l'energia, porta implícita la necessitat dels coneixements tecnològics, com també de noves formes d'entendre l'energia, de com utilitzar-la i de com posar-la a l'abast de tothom com un dret universal.

A parer meu, la substitució de l'actual model energètic obre nous horitzons de futur i va més enllà d'un canvi, per esdevenir una veritable transformació del sistema energètic i social.

En aquest sentit, doncs, i convençut que la divulgació pedagògica dels coneixements (per més modesta que sigui) ha de tenir un paper cabdal, he pensat que pagava la pena intentar redactar aquest llibre des d'una exposició conceptual de les raons dels perquè del canvi, de la suficiència de les fonts renovables d'accés a l'energia, dels actors clau de la transformació i d'algunes eines que la poden facilitar.

Una exposició conceptual que he mirat de complementar amb algunes justificacions tècniques, a fi que el conjunt pugui resultar més amè i de més fàcil comprensió per a tots els diferents actors artífexs d'aquesta transformació.

Espero haver-me acostat, ni que sigui mínimament, a aquest objectiu. Almenys aquesta ha estat la meva humil intenció.



# INTRODUCCIÓ

Estem ja en ple primer quart del segle XXI. L'espècie *Homo* fa dos milions i mig d'anys que està evolucionant sobre un planeta que posa a la nostra disposició tots els recursos i els escuts protectors necessaris per al desenvolupament de la vida.

Amb tot, per a la nostra espècie, aquest concepte de desenvolupament no queda restringit al concepte *vida* tal com l'entenem dirigit a qualsevol altre organisme viu.

El do de poder imaginar, comprendre i raonar ens obre nous horitzons sobre com transitar quantitativament i qualitativament per aquesta vida, a la recerca de respostes a les incògnites pel que fa al nostre paper al cosmos i als motius de la pròpia existència.

Al llarg d'aquests dos milions i mig d'anys hem anat utilitzant la intuïció per copsar el medi, generalment mitjançant accions de causa-efecte per, progressivament, anar comprenent les raons dels resultats d'aquestes accions.

Això ens facilita avançar en els coneixements sobre el funcionament de la vida i els seus entorns, els seus riscos, les seves fortaleses i també les seves necessitats.

I un lloc prioritari d'aquestes necessitats l'ocupen les bàsiques com ara l'aigua i els aliments, però de manera especialment rellevant l'ús de fonts d'energia com a peça clau per a la satisfacció de qualsevol tipus de necessitat, tant les elementals com les de confort i progrés.

Així ho van fer els nostres avantpassats al llarg dels darrers 400.000 anys, cremant tota mena de fustes i aprofitant la força de la tracció animal, de les aigües i dels vents.

El descobriment de grans reservoris enterrats de restes fòssils de carboni vegetal i bosses de restes orgàniques descompostes, però, va permetre fer un salt decisiu quant a les quantitats d'energia disponible i avançar, de forma accelerada, durant els últims dos-cents vint anys. Un salt immens que el segle passat encara vam «potenciar» arran del descobriment, mal emprat, de les reaccions

exotèrmiques de la fissió nuclear, encara avui dedicades, dissortadament, a la fabricació d'esgarrafos enginys de destrucció massiva i incorporades, com a excusa, a la generació d'energia en forma de potencial elèctric.

I amb aquesta espiral frenètica, de creixement poblacional i, per tant, de necessitats bàsiques i creatives, accelerada per l'ús abusiu (especialment per part d'una minoria social que anomenem *desenvolupada*) d'aquests reservoris de fusta, carbó, petroli, gas, urani i un xic de renovables, hem encetat el segle XXI amb quatre realitats constatades i tres reptes ineludibles que hem d'afrontar.

Quant a les **realitats**:

- La fi palpable dels recursos finits d'aquests reservoris fòssils i nuclears.
- La insostenible contaminació de l'atmosfera i les aigües, deguda a la brutal aportació de residus procedents de l'obtenció, la distribució i la crema d'aquests combustibles.
- La contaminació radioactiva dels ecosistemes, causada per l'obtenció, el processament, els residus de les reaccions nuclears de fissió, les fuites i els accidents durant les seves transformacions en energia utilitzable.
- El desgavell de l'equilibri termodinàmic del planeta, com a conseqüència de la crema precipitada d'aquests combustibles fòssils, que s'està traduint en un increment de la temperatura mitjana, origen del qual en diem *canvi climàtic* i dels efectes que ja estem començant a patir.

Quant als **reptes**:

- La substitució imminent d'aquest model d'obtenció d'energia per un de net, inesgotable a escala humana i respectuós amb la vida.
- Els canvis de comportament social vers l'ús eficient dels recursos i, en particular, de l'energia i de l'adaptació a les noves fonts netes i renovables.
- La mitigació dels efectes que ja està començant a produir l'esmentat canvi climàtic sobre tots els ecosistemes i el sosteniment de la vida, així com la reducció de l'afectació destructiva sobre els diferents assentaments amb què hem anat ocupant el planeta.

El meu darrer llibre, *Custodiar la Terra, la voluntat d'un canvi*, en el qual va col·laborar la Maria del Mar Furró, el vam dedicar a tractar d'obrir reflexions de canvi sobre els comportaments socials cap a un futur respectuós, socialment més just i basat en l'aprofitament sostenible de l'immens potencial dels recursos del planeta.

L'objectiu d'aquest nou llibre és, d'una banda, oferir una visió global al voltant de la necessitat de posar fi a l'actual model energètic (principal responsable de posar en entredit el progrés de la vida), i de l'altra, obrir la mirada a possibles eines que puguin facilitar la transició vers un model fonamentat en l'aprofitament de les fonts renovables d'accés a l'energia.

No ens queda altre camí que admetre aquestes realitats i encarar aquests reptes.

Qualsevol iniciativa en aquesta direcció, no importa com sembli, de modesta, i qualsevol pla d'acció, per més perllongat que resulti en el temps, serà molt millor que restar passius tot esperant esdeveniments. Uns esdeveniments que no fan sinó fer camí cap a la destrucció dels ecosistemes, l'enverinament dels medis i l'esgotament dels recursos. En altres paraules, la destrucció de la vida en un escenari de lluites per la consecució dels darrers combustibles, cabals d'aigua neta i territoris habitables.

Avui ja gairebé ningú amb un mínim de criteri i de coneixements no pot dubtar d'aquestes realitats i de la bondat i la suficiència d'un nou model energètic basat en l'aprofitament de les fonts renovables de l'energia.

Fins a 195 estats ho van admetre en la darrera cimera de les Nacions Unides, celebrada a París l'any 2015, en la qual van expressar la seva voluntat, no imposada, d'encarar la necessària transformació del model energètic per posar fi a la breu era dels combustibles fòssils. Així ho va manifestar també el principal líder espiritual catòlic, el Papa Francesc, en la seva encíclica *Laudato Si* del 2015, i, fins i tot, també el president Obama, com a líder del país, possiblement, més mercantilista del món dels combustibles fòssils.

La transformació del model en un de nou basat en la captació i l'aprofitament dels fluxos energètics que rep el planeta, provinents amb escreix del Sol, i en menor grau a través del seu propi potencial geotèrmic, combinats amb els coneixements tecnològics adquirits, és sens dubte el camí per afrontar noves possibilitats per tal de progressar i recuperar l'imprescindible potencial de la salut de tots els ecosistemes.

Alhora, la bondat de les fonts renovables i el fet que aquestes restin reparatides arreu del planeta obre també la possibilitat per a nous comportaments socials, accions de cooperació amb la mirada posada en nous horitzons comuns, la transversalització de la riquesa i, per tant, també en la construcció d'un món socialment més just.

Cal posar fil a l'agulla i passar a l'acció.



# Sobre l'autor

EDUARD FURRÓ ESTANY, nascut a Barcelona, va cursar estudis de Peritatge Industrial i Enginyeria en l'especialitat d'Electricitat.

Ha dedicat la seva activitat professional al disseny de múltiples implantacions industrials –serveis públics–, al projecte i la construcció d'equips i sistemes de control de processos i maquinària i a l'aplicació de tecnologies a la captació i depuració de l'aire i gasos procedents de tota mena d'activitats i combustions industrials.

El seu interès per l'ecologia i la seva dedicació com a membre assessor del GOB Menorca (Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Natura, <[www.gobmenorca.com](http://www.gobmenorca.com)>) l'han portat a redactar i col·laborar en nombrosos estudis adreçats a fer compatibles les activitats humanes i la conservació dels valors naturals i els ecosistemes.

És membre del consell de la Xarxa de Custòdia del Territori de Catalunya (<[www.custodiaterritori.org](http://www.custodiaterritori.org)>) i actualment coordinador del CMES (Col·lectiu per a un Nou Model Energètic i Social Sostenible, <[www.cemescollective.org](http://www.cemescollective.org)>).





# Índex de figures i taules

## Figures

1. Avaluació de l'actual model energètic a Catalunya	21
2. Diagrama de l'actual model energètic	21
3. Diagrama d'exhauriment dels combustibles fòssils i urani	23
4. Diagrama de contaminació de l'actual model energètic	25
5. Concentracions de CO <sub>2</sub> registrades del 1960 al 2016.	26
6. Espectre de potència de la radiació solar	28
7. Font de potència solar rebuda al límit de l'atmosfera	29
8. Absorció selectiva de l'energia solar	30
9. Esquema del balanç energètic del planeta Terra	32
10. Espectre energètic radiat pel planeta Terra	34
11. Evolució de la temperatura mitjana del planeta	36
12. Possibles escenaris d'increments de temperatura - IPCC	37
13. Energia solar anual absorbida pel planeta	51
14. Radiació solar sobre la superfície de la Terra	53
15. Radiació solar directa i difusa	54
16. Barcelona: energia solar difusa + directa	55
17. Tarragona: energia solar difusa + directa	55
18. Lleida: energia solar difusa + directa	56
19. Girona: energia solar difusa + directa	56
20. Diagrama bàsic del sistema fòssil i nuclear	63
21. Diagrama bàsic dels usos de l'energia	64
22. Diagrama bàsic del nou model energètic	66
23. Gràfic de capacitat temporal d'un captador termosolar tipus	73
24. Diagrama tipus d'un panell termosolar pla	75
25. Esquema tipus d'un captador termosolar pla. Temperatura: 40-80 °C	76
26. Captador termosolar parabòlic. Temperatura: 200-400 °C	77
27. Captador termosolar Fresnel. Temperatura: 200-400 °C	78

28. Tub de buit tipus Siemens	78
29. Camp termosolar de torre	80
30. Esquema tipus de cogeneració	82
31. Diagrama de l'aprofitament energètic de la biomassa	83
32. Estructura interior de la Terra	85
33. Aflorament termal	87
34. Esquema tipus d'una central geotèrmica	88
35. Vista d'una central geotèrmica a Islàndia	88
36. Primers aprofitaments de l'energia hidràulica	90
37. Esquema tipus d'un aprofitament hidroelèctric	91
38. Esquema tipus d'una central elèctrica de riu	94
39. Estratificació de l'atmosfera	97
40. Circulacions atmosfèriques	98
41. Possible acció del canvi climàtic relacionat amb el doll polar	99
42. Tipologia dels vents de marinada i terrals	101
43. Tipologia dels vents a Catalunya	102
44. Corba de potència d'un captador eòlic tipus	104
45. Variacions d'intensitat dels vents dominants (excepte marinades) a Catalunya	105
46. Esquema tipus d'una cèl·lula fotovoltaica	114
47. Circuit equivalent d'un panell fotovoltaic	116
48. Corbes de potencial/Intensitat d'una cèl·lula de silici d'1 cm <sup>2</sup>	117
49. Característiques orientatives de panells fotovoltaics tipus	118
50. Aprofitament energètic de les mareas	127
51. Salt qualitatiu de la transició energètica	133
52. Diagrama estructural i configuratiu del nou sistema energètic	134
53. Els vectors configuratius del model	135
54. Diagrama de proposta de transició energètica a Catalunya	143
55. Diagrama d'implementació dels vectors energètics estructurals	144
56. Diagrama tipus d'usos energètics domèstics	152
57. Classificació energètica de la CEE	153
58. Mecanismes de regulació de la temperatura corporal	157
59. Diagrama psicomètric de l'àrea de confort	158
60. Diagrama d'ús de l'aire de renovació	161
61. Diagrama tipus de funcionament d'un enllumenat d'espais exteriors públics	162
62. Despeses d'energia per a la captació i distribució de l'aigua	164
63. Esquema tipus de captació d'energia per a usos propis d'una petita comunitat	171

64. Mesures externes complementàries d'aïllament tèrmic	186
65. Diferències de pressió degudes al vent	187
66. Esquema del funcionament de la bomba de calor reversible segons hivern-estiu	188
67. Esquema de producció d'aigua calenta: termosolar/fotovoltaica + bomba de calor	190
68. Esquema de producció d'aigua freda i calenta: termosolar + bomba de calor	191
69. Diagrama evolutiu de la tracció elèctrica aplicada al transport	199
70. Vehicles elèctrics amb bateries	203
71. Esquema de la pila de combustible hidrogen	204
72. Vehicles elèctrics amb pila de combustible hidrogen	204
73. Evolució de les corbes horàries d'ús de l'energia	208
74. Diagrama d'utilització horària de les fonts renovables a Catalunya	210
75. Esquema d'un sistema d'emmagatzematge d'energia per bombeig	214
76. Cicle: Energia - aigua - hidrogen - aigua - energia	218
77. Rendiments energètics del vector hidrogen	219
78. Possibles repercussions d'un model energètic basat 100 % en fonts renovables	227
79. Diagrama d'ocupació ordenada del territori	240
80. Diagrama circular de l'energia i els productes en una civilització de nivell 1	242

## Taules

1. Repercussió en ‰ de l'energia utilitzada respecte de la solar absorbida	52
2. Energia solar difusa	54
3. Energia solar rebuda a Catalunya	56
4. Capacitat d'un captador termosolar tipus pla (1,7 m <sup>2</sup> )	73
5. Aplicacions dels col·lectors termosolars de tipus pla	76
6. Composició de l'atmosfera	96
7. Tipologia de vents dominants segons les latituds	100
8. Dades orientatives del possible aprofitament eòlic a Catalunya	106
9. Percentatge de captació d'energia per a ús propi en el sector domèstic	172
10. Percentatge de captació d'energia per a ús propi en el sector dels serveis	172
11. Percentatge de captació d'energia per a ús propi en el sector industrial	172
12. Percentatge de captació d'energia per a ús propi en el sector de l'agricultura, la ramaderia i la pesca	173

13. Percentatge de captació d'energia per a ús propi en el sector de la mobilitat	173
14. Usos i fonts d'energia en blocs multifamiliars	175
15. Comportament de la bomba de calor durant la transició	193
16. Principals índexs de bateries aplicades a la tracció elèctrica	202
17. Comparativa dels sistemes d'alimentació de la tracció elèctrica	205
18. Comparativa de capacitats d'emmagatzematge d'energia	221
19. Petjada de l'energia respecte al territori de Catalunya	229
20. Potencial i petjada de les fonts renovables respecte al territori de Catalunya	237

# Índex



<i>Nota d'agraïment</i>	7
<i>Sumari</i>	9
<b>Pròleg. Canviar de model energètic o transformar el sistema?</b>	11
<b>Introducció</b>	13
<b>LES RAONS</b>	
<b>1. Els elements determinants del canvi: raons i perquè d'un nou sistema energètic</b>	19
1.1. El rendiment energètic de l'actual model	20
1.2. L'exhauriment dels combustibles fòssils i nuclears	22
1.3. Una segona raó: la contaminació	24
1.4. I una tercera raó, encara més important: el canvi climàtic	26
1.5. El cost econòmic	41
1.6. Les conseqüències socials de l'immobilisme	43
<b>ELS RECURSOS</b>	
<b>2. La suficiència de les fonts renovables</b>	49
2.1. Reserves inexhauribles	49
Energia solar rebuda en cada punt de la superfície del planeta	53
2.2. L'estructura conceptual del nou sistema energètic	62
<b>LES FONTS</b>	
<b>3. Les principals fonts renovables d'accés a l'energia</b>	71
3.1. Els potencials fototèrmics	72
El captador termosolar de tipus pla	74

El captador fototèrmic concentrador	77
Camps de miralls plans	79
3.2. La biomassa	80
3.3. L'energia geotèrmica	84
3.4. Els potencials hidràulics	89
3.5. L'energia eòlica	95
3.6. El potencial fotovoltaic	114
3.7. Els moviments marins	126

## EL MODEL

<b>4. Els elements determinants de la transformació</b>	133
4.1. Els vectors configuratius	135
La societat	136
L'acció política	137
Els coneixements	138
4.2. Els vectors estructurals	139
Eficiència energètica	139
Captació d'energia per a ús propi	140
Xarxa elèctrica	141
Hidrogen	142
4.3. Com encarar la transició	143

## LES EINES

<b>5. Les eines socials del canvi</b>	149
5.1. L'estalvi energètic	150
L'àmbit domèstic	150
a) La selecció i el bon ús dels aparells	152
b) Les temperatures de confort	156
c) El control de l'aire exterior de renovació	160
Enllumenats públics i espais exteriors privats	162
Els usos de l'aigua	164
5.2. La captació d'energia per a ús propi	165
Captació d'energia per a usos tèrmics propis	166
Captació d'energia per a usos elèctrics propis	166
Funcionament «en illa»	167
Captació d'energia acoblada a la xarxa elèctrica comuna sense bescanvi d'energia	167
Captació d'energia amb possibilitat de bescanvi d'energia amb la xarxa elèctrica comuna	167

Quantitat d'energia elèctrica sobrant que es pot aportar a una xarxa elèctrica comuna	168
Capacitat i fonts de captació d'energia per a ús propi	171
Habitatges en blocs multifamiliars (grans conurbacions)	174
Habitatges unifamiliars amb prou espais disponibles	174
Activitats agroramaderes	175
Activitats industrials	175
5.3. Els horaris d'ús de l'energia	177
5.4. Les eines socials d'acció indirecta	178
<b>6. Les eines tecnològiques del canvi</b>	183
6.1. Els aïllaments tèrmics	183
6.2. La bomba de calor	187
6.3. La tracció elèctrica aplicada al transport	197
Catenària electrificada	200
Bateries elèctriques	200
Pila de combustible hidrogen	203
<b>7. L'emmagatzematge de l'energia</b>	207
7.1. Els potencials d'emmagatzematge tèrmic	212
7.2. Els potencials d'emmagatzematge hidràulics	213
7.3. Les bateries elèctriques	216
7.4. El vector hidrogen	217
<b>EL TERRITORI</b>	
<b>8. Energia renovable i territori</b>	225
8.1. Fonts renovables i territori	231
Els potencials hidroelèctrics	231
Els potencials eòlics	231
1) Criteris territorials	233
2) Criteris tècnics	233
3) Criteris constructius	234
Els potencials fotovoltaics	234
1) Criteris territorials	235
2) Criteris paisatgístics	235
3) Criteris tècnics	236
4) Criteris constructius	236

Els potencials termosolars	236
Resum comparatiu	237
8.2. Ocupació ordenada de territori	239
8.3. Energia, territori i desenvolupament	241
<i>Sobre l'autor</i>	245
<i>Índex de figures i taules</i>	247