



# ESTUDI DE POTENCIAL DE DESENVOLUPAMENT D'ENERGIES RENOVABLES I EFICIÈNCIA ENERGÈTICA A BARCELONA

ESTUDI TÈCNIC  
PECQ 2011-2020



AGÈNCIA D'ENERGIA  
DE BARCELONA



Ajuntament  
de Barcelona



Barcelona  
pel Medi  
Ambient



Els continguts d'aquesta publicació estan subjectes a una llicència de **Reconeixement (by)**. Es permet qualsevol explotació de l'obra, incloent-hi una finalitat comercial, així com la creació d'obres derivades, la distribució de les quals també està permesa sense cap restricció, sempre que se'n citi la font.

La llicència completa es pot consultar a

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ca>

#### **Estudi sectorial**

Estudi de potencial de desenvolupament d'energies renovables i eficiència energètica a Barcelona,

#### **Autors**

Energia Local

#### **Coordinació i revisió**

Agència d'Energia de Barcelona (AEB)

Elisabet Gallardo

Fermín Jiménez

Gerard Pol

Irma Soldevilla

Emma Santacana

Manel Torrent

#### **Edició**

Antoni Paris – Socioambiental.cat

Aquest estudi forma part del conjunt de documents sectorials que han servit de material tècnic de base per a la redacció del Pla de l'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire de Barcelona 2011-2020 (PECQ) i de la Diagnosi energètica de Barcelona. Tots aquests documents i els seus annexos, així com el propi PECQ, es poden trobar al web d'Energia i Qualitat ambiental de l'Àrea de Medi Ambient de l'Ajuntament de Barcelona. <http://w110.bcn.cat/portal/site/MediAmbient>.

# CONTINGUTS

<b>Introducció i antecedents</b>	<b>5</b>
<b>Àmbit de treball</b>	<b>6</b>
▪ Àmbit territorial	6
▪ Àmbit tecnològic	6
▫ Energies renovables	6
▫ Eficiència energètica	6
<b>1 - L'ESTAT DE LA TECNOLOGIA</b>	<b>7</b>
1.1 - Introducció	7
1.2 - Energia solar tèrmica	7
▫ Principi de funcionament	7
▫ Història	8
▫ Estat actual de desenvolupament	9
▫ Implementació a Barcelona	9
▫ Estat normatiu	9
▫ Aspectes condicionants	9
▫ Economia	10
1.3 - Energia solar fotovoltaica	10
▫ Principi de funcionament	10
▫ Història	11
▫ Estat actual de desenvolupament	12
▫ Implementació a Barcelona	12
▫ Estat normatiu	12
▫ Aspectes condicionants	13
▫ Economia	13
1.4 - Energia minieòlica	13
▫ Principi de funcionament	13
▫ Història	13
▫ Estat actual de desenvolupament	14
▫ Implementació a Barcelona	14
▫ Estat normatiu	14
▫ Aspectes condicionants	15
▫ Economia	15
1.5 - Energia de la biomassa	15
▫ Principi de funcionament	15
▫ Història	17
▫ Estat actual de desenvolupament	17
▫ Implementació a Barcelona	17
▫ Estat normatiu	18
▫ Aspectes condicionants	18
▫ Economia	18
1.6 - Energia minihidràulica	18
▫ Principi de funcionament	18
▫ Història	19
▫ Estat actual de desenvolupament	19
▫ Implementació a Barcelona	20
▫ Estat normatiu	20
▫ Aspectes condicionants	20
▫ Economia	20

1.7 - Aprofitament del freàtic	20
▫ Principi de funcionament	20
▫ Història	21
▫ Estat actual de desenvolupament	21
▫ Implementació a Barcelona	21
▫ Estat normatiu	22
▫ Aspectes condicionants	22
▫ Economia	22
1.8 - Energia geotèrmica	22
▫ Principi de funcionament	22
▫ Història	24
▫ Estat actual de desenvolupament	24
▫ Implementació a Barcelona	24
▫ Estat normatiu	25
▫ Aspectes condicionants	25
▫ Economia	25
1.9 - Cogeneració	25
▫ Principi de funcionament	25
▫ Història	27
▫ Estat actual de desenvolupament	27
▫ Implementació a Barcelona	28
▫ Estat normatiu	28
▫ Aspectes condicionants	29
▫ Economia	30
1.10 - Sistemes urbans de generació i distribució de fred (district heating and cooling)	30
▫ Principi de funcionament	30
▫ Història	30
▫ Estat actual de desenvolupament	30
▫ Implementació a Barcelona	31
▫ Estat normatiu	31
▫ Aspectes condicionants	31
▫ Economia	31
1.11 - Turboexpanders de gas natural	32
▫ Principi de funcionament	32
▫ Història	32
▫ Estat actual de desenvolupament	32
▫ Implementació a Barcelona	32
▫ Estat normatiu	32
▫ Aspectes condicionants	32
▫ Economia	33
<b>2 - ESTUDIS DE POTENCIAL PARTICULARITZATS</b>	<b>34</b>
2.1 - Metodologia i bases de càlcul	34
▫ Metodologia	34
▫ Bases de càlcul	34
2.2 - Energia solar tèrmica	35
▫ Escenari tendencial	35
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	36
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	36
2.3 - Energia solar fotovoltaica	37
▫ Escenari tendencial	37
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	37
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	38
2.4 - Energia minieòlica	38
▫ Escenari tendencial	38
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	38
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	40

2.5 - Energia de la biomassa	40
▫ Escenari tendencial	40
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	40
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	40
2.6 - Aprofitament del freàtic	41
▫ Escenari tendencial	41
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	41
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	41
2.7 - Energia geotèrmica	42
▫ Escenari tendencial	42
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	42
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	42
2.8 - Cogeneració i microcogeneració	43
▫ Escenari tendencial	43
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	43
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	43
▫ Potencial en edificis existents	43
2.9 - Sistemes urbans de generació i distribució de fred (district heating and cooling)	44
▫ Escenari tendencial	44
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	44
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	44
2.10 - Turboexpanders de gas natural	44
▫ Escenari tendencial	44
▫ Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions	44
▫ Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions	46
2.11 - Taula resum de potencials tecnològics	46
<b>3 - ESCENARI DE COL-LISIÓ DE TECNOLOGIES. BALANÇ ENERGÈTIC GLOBAL</b>	<b>48</b>
3.1 - Escenari de col·lisió de tecnologies	48
▫ Escenari global	49
▫ Escenari corresponent a edificis de nova construcció	50
▫ Escenari corresponent a edificis rehabilitats	51
3.1 - Resum	52
3.3 - Conclusions	53
<b>4 - ANNEX: SOFTWARE DE COL-LISIÓ DE TECNOLOGIES</b>	<b>54</b>
4.1 - Introducció	54
4.2. - Bases de càlcul	56
4.3 - Funcionament del software	58
<b>Bibliografia</b>	<b>60</b>

## INTRODUCCIÓ I ANTECEDENTS

Barcelona és una ciutat amb una especial sensibilitat en la protecció del medi ambient, tal com ho ha demostrat al llarg dels darrers anys amb accions i plans estratègics per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle al municipi.

El compromís de la ciutat per la sostenibilitat ambiental s'ha materialitzat en l'adscripció a un seguit d'acords internacionals com ara: Declaració d'Amsterdam (1993), Declaració de Heidelberg (1994), Carta d'Aalborg (1995) i la participació com a membre de l'Associació Internacional Klimabündnis. L'any 1998 es va crear el Consell Municipal de Medi Ambient i Sostenibilitat. Aquest fet, sumat a altres com per exemple el Pacte Ciutadà per la Sostenibilitat va desembocar en el que es coneix com Agenda 21 (Agència d'Energia de Barcelona, 2003).

L'Agenda 21 va ser el pas previ a l'aprovació l'any 2002 del Pla de Millora Energètica de Barcelona 2002-2010 (PMEB) amb l'objectiu de reduir la contaminació atmosfèrica i potenciar les energies renovables. Aquest pla es troba en fase de finalització actualment.

Degut a que el *PMEB* està arribant a la seva fi és necessari actualitzar la situació i dissenyar un nou full de ruta, responent a aquesta necessitat l'Agència d'Energia de Barcelona està realitzant en l'actualitat El Pla d'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire (PECQ) amb abast temporal 2010-2020. El *PECQ* té com a objectiu posicionar la ciutat de Barcelona en l'escenari energètic actual a nivell català, espanyol i europeu mitjançant una estratègia energètica amb noves mesures i objectius. Aquesta estratègia energètica està relacionada amb l'estratègia municipal referent al canvi climàtic i la contaminació de l'aire. Aquest Pla no només té vistes al present més immediat, sinó que vol situar Barcelona com una ciutat altament competitiva a nivell energètic i ambiental en un horitzó de 10 anys.

L'Agència d'Energia de Barcelona (AEB) ha contractat els serveis d'ENERGIA LOCAL per realitzar un estudi sobre el potencial de desenvolupament de les tecnologies d'energies renovables i eficiència energètica a Barcelona. Cal destacar que aquest estudi, que constitueix una part bàsica del PECQ, mai s'ha desenvolupat amb anterioritat i que per tant suposa un repte per a la política de sostenibilitat de la ciutat.

L'objectiu del present projecte és doncs:

- Determinar l'escenari de potencial màxims de tecnologies d'energies renovables i eficiència energètica a Barcelona.
- Determinar el potencial realitzable a la ciutat de cada tecnologia, en funció de criteris econòmics, ambientals i de col·lisió de tecnologies.
- Establir una eina per tal de comparar els resultats mediambientals de la implementació de diferents tecnologies en diferents tipus d'edificis. Aquesta eina ha estat realitzada en suport informàtic i s'adjunta al present document.

## ÀMBIT DE TREBALL

### Àmbit territorial

L'àmbit territorial del present treball és el municipi de Barcelona.

### Abast tecnològic

#### *Energies Renovables*

El primer dels dos grups tecnològics en què s'ha dividit l'estudi el formen les energies renovables. El ventall d'aquestes és força ampli ja que inclou set tecnologies diferents, les quals proporcionen energia tèrmica, ja sigui en forma de calefacció i/o refrigeració, o bé en forma d'electricitat.

Les energies renovables incloses en aquest estudi són les següents:

- Energia solar tèrmica
- Energia solar fotovoltaica
- Energia minieòlica
- Energia de la biomassa
- Energia minihidràulica
- Aprofitament del freàtic
- Energia geotèrmica

#### *Eficiència energètica*

L'eficiència energètica constitueix el segon gran eix de l'estudi de potencial. Les tecnologies que formen aquest grup no tenen caràcter renovable però sí que tenen capacitat d'aportar un rellevant estalvi d'energia primària a la ciutat.

Les tecnologies incloses en aquest segon grup són les següents:

- Cogeneració i microcogeneració
- Connexió a xarxes urbanes de distribució de fred i calor - *District Heating and Cooling* (DH&C)
- Sistemes expanders de gas natural

# 1. ESTAT DE LA TECNOLOGIA

## 1.1 INTRODUCCIÓ

Al present capítol es descriu l'estat de l'art per a cada una de les diferents opcions de millora energètica a la ciutat de Barcelona, s'inclouen aspectes com ara el principi de funcionament, element clau per avaluar l'impacte que té cada tecnologia en el medi ambient, quin tipus d'energia proporciona i com s'obté. També es descriu el grau d'implementació que té a Barcelona, així com la seva viabilitat econòmica.

En aquesta nova secció es desglossa l'estudi de l'escenari tendencial de cada tecnologia. Així es construeix una predicció de l'evolució de cadascuna d'aquestes a la ciutat de Barcelona durant els propers 10 anys, és a dir, pel mateix període de validesa que té el nou PECQ.

Aquest capítol, a més conté un estudi particularitzat de cada tecnologia per determinar el seu escenari de màxims en funció de la superfície, nova i rehabilitada, que es proporcionarà a Barcelona els propers 10 anys. Aquest mètode constitueix un càlcul de potencial per conèixer el sostre tecnològic de les diferents alternatives existents per separat.

## 1.2 ENERGIA SOLAR TÈRMICA

### Principi de funcionament

El principi d'aquesta tecnologia es basa en l'aprofitament de l'energia solar per produir calor útil, normalment en forma d'aigua calenta per a diversos usos: aigua calenta sanitària (ACS), calefacció i fins i tot refrigeració mitjançant una màquina d'absorció (tècnica denominada refrigeració solar).

L'energia solar tèrmica també es pot aprofitar per fer electricitat: en aquest cas estem parlant de la tecnologia denominada solar termoelèctrica. En aquesta aplicació el calor captat s'usa en generar vapor d'aigua (o d'altres fluids), que és dirigit a una turbina de vapor acoblada a un generador elèctric.

Existeixen dos grans grups de captadors solars: sense o amb concentració. La diferència principal resideix en la temperatura de treball; els primers no superen els 70 °C i, per tant, són coherents amb

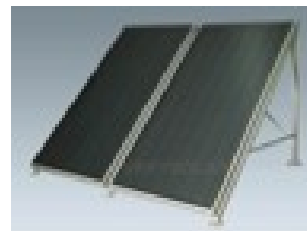
aplicacions de baixa temperatura (per exemple: ACS); els segons són capaços de treballar a temperatures superiors gràcies a tècniques òptiques de concentració de la radiació, per tant els seus usos són per energia tèrmica de mitja i alta temperatura. En els sistemes d'alta temperatura es disposa d'un sistema de seguiment per aconseguir que el col·lector estigui permanentment orientat al sol.

Normalment, en aplicacions d'energia solar tèrmica s'usen captadors sense concentració. Els captadors amb concentració es dediquen habitualment a les aplicacions termoelèctriques.

#### ■ Col·lectors solars sense concentració

- **Col·lector solar de placa plana:** Disposen d'una coberta transparent de vidre o plàstic format per tubs de coure, els quals absorbeixen la radiació solar i la transmeten al fluid que travessa l'interior (normalment aigua). Aplicacions: ACS, climatització de piscines i calefacció.

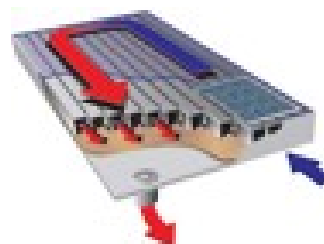
FIGURA 1.  
COL·LECTOR SOLAR DE PLACA PLANA



ArchiExpo, 2010)

- **Col·lectors d'aire:** El fluid transportador de calor és l'aire. El col·lector és de tipus pla. Aplicacions: calefacció.

FIGURA 2.  
COL·LECTOR SOLAR D'AIRE

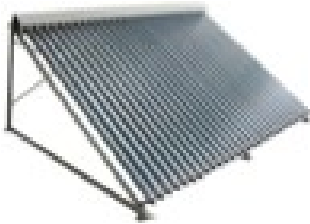


(Torsolar, 2007



- ▣ **Col·lectors de buit:** Tenen una doble coberta hermèticament tancada i aïllada tant de l'interior (fluid d'intercanvi) com de l'exterior en la que s'ha fet el buit. L'objectiu és minimitzar les pèrdues per convecció. Com a inconvenients: tenen un preu més elevat i perden la seva capacitat de buit amb el pas del temps. Aplicacions: ACS i climatització de piscines.

**FIGURA 3.**  
COL-LECTOR SOLAR DE BUIT



(Enat, 2010)

- ▣ **Tubs de calor:** Dos tubs concèntrics; un exterior de vidre i un interior pintat de negre o pintura selectiva, que és per on circula el fluid. Aplicacions: calefacció.

**FIGURA 4.**  
COL-LECTOR SOLAR DE TUBS DE CALOR



(ArchiExpo, 2010)

- ▣ **Col·lectors cònics o esfèrics:** El tret diferencial d'aquest tipus és que simultàniament són unitats de captació i emmagatzematge. La superfície de captació és cònica o esfèrica amb una coberta de vidre de la mateixa geometria, la raó és que així s'aconsegueix tenir la superfície il·luminada durant el dia sigui constant en absència d'ombra. Els inconvenients principal és la petita dimensió que té la superfície útil de captació i problemes d'estratificació d'aigua. Aplicacions: ACS.

- ▣ **Col·lectors solars de concentració:**

- ▣ **Concentradores cilíndrics:** La superfície reflectora és la meitat d'un cilindre. Aplicacions: Producció de vapor en una central tèrmica.

**FIGURA 5.**  
COL-LECTOR SOLAR CILÍNDRIC



Soliclíma, 2009

- ▣ **Concentradores paraboloïdes:** La superfície reflectora té una geometria de paraboloïde de revolució. Aplicacions: Producció de vapor en una central tèrmica.

**FIGURA 6.**  
COL-LECTOR SOLAR CILÍNDRIC



Fisicanet, 2010)

## Història

El primer indici que es té d'aprofitament d'energia solar és cap a l'any 2000 a.C. a Mesopotàmia, quan els sacerdots encenien el foc sagrat dels altars mitjançant un sistema de miralls corbats d'or polit. Durant l'època dels egipcis es van construir estàtues sonores del faraó Amenhotep III (any 1450 a.C.), el soroll que provenia de l'interior era degut a aire escalfat pel Sol. Des de l'antiguitat fins als nostres dies la història està plena de fites que han marcat l'evolució de l'energia solar tal i com es coneix actualment.

L'energia solar tèrmica es va començar a desenvolupar durant els anys 70 i 80 degut principalment a la crisi del petroli, gràcies a aquest fet la gran majoria dels països occidentals van dedicar molts esforços en les energies renovables, en el cas d'Espanya es va apostar per l'energia solar tèrmica. En col·laboració amb Alemanya es

crea el gran centre d'investigació "Plataforma Solar de Almería (PSA)", amb un alt nivell de les seves instal·lacions i d'investigadors, actualment és el centre d'investigació, desenvolupament i assaigs més gran d'Europa.

### Estat actual de desenvolupament

Es pot afirmar que la tecnologia associada a l'energia solar tèrmica és madura. Gràcies a normatives com ordenances municipals i el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) s'està implementant de forma generalitzada al sector terciari.

Per tal que la instal·lació subministri calor a l'usuari de forma confortable, econòmica i fiable, és bàsic que la instal·lació estigui dissenyada i executada correctament, i que es realitzin les tasques de manteniment pertinents.

Actualment s'està treballant des de diverses institucions per consolidar la indústria, cercant la protecció del medi ambient, independència energètica i generació de llocs de treball, tot oferint al mercat una proposta fiable i de garantia. S'estan estudiant diverses mesures per aconseguir aquests objectius, com ara la creació d'Empreses de Serveis Energètics (ESEs) amb energia solar tèrmica.

Aquesta iniciativa i possible nova regulació haurà de tipificar aspectes rellevants com ara els tipus de contractes d'energia emprats, determinació de l'energia consumida, modes de facturació i pagament, finançament de les inversions, possible prima a ajut al kWh generat, compatibilitat amb el CTE, etc.

Per altra banda és possible generar aigua freda a partir d'energia solar. Aquesta tecnologia anomenada refrigeració solar acostuma a emprar una màquina d'absorció de simple efecte alimentada amb aigua calenta (almenys a 90 °C) provinent de les plaques. Aquesta solució és una alternativa a la instal·lació d'equips refredadors convencionals.

Un cas on s'ha aplicat aquesta tecnologia són les oficines de l'empresa Electracaldense a Caldes de Montbui (Barcelona).

### Implementació a Barcelona

L'any 1999 l'Ajuntament de Barcelona va aprovar l'Ordenança solar tèrmica (OST) amb l'objectiu de regular la instal·lació de captadors solars per generar ACS. Aquesta Ordenança va ser modificada l'any 2006 amb la finalitat d'aplicar-la a tots els edificis nous i rehabilitats de la ciutat. La

ordenança fixa que l'aportació solar tèrmica mínima en un edifici ha de ser aquella necessària per tal de cobrir el 60% de la demanda anual d'ACS.

Els efectes de l'Ordenança des de que va entrar en vigor fins l'any 2009 han estat molt positius, amb una superfície de captadors solars instal·lats equivalent a més de 6 illes de l'Eixample, cosa que implica un rati de 42 m<sup>2</sup>/1.000 habitants. La producció energètica durant aquest període (50.200 MWh/any aproximadament) equival al consum anual de 67 hospitals de Sant Pau i es calcula que l'estalvi d'emissions a l'atmosfera ha sigut aproximadament de 8.836 TeqCO<sub>2</sub>/any (Agència d'Energia de Barcelona, 2009). Com es pot observar el balanç ambiental és totalment positiu.

L'energia solar tèrmica gaudeix, per tant, d'una maduresa consolidada i d'una legislació apropiada a Barcelona.

### Estat normatiu

Tal i com s'ha comentat amb anterioritat existeixen diverses normatives aplicables a les instal·lacions d'energia solar tèrmica a Barcelona:

- Codi Tècnic de l'Edificació (CTE HE4): imposa cobrir una part del consum d'ACS depenent de la demanda energètica de l'edifici i de la zona climàtica a on estigui localitzada la instal·lació (existeixen cinc a Espanya).
- L'Ordenança solar tèrmica de l'Ajuntament de Barcelona: imposa cobrir la demanda d'ACS en un 60 % mitjançant aquesta tecnologia.
- Decret d'ecoeficiència
- Directiva 2002/91/CE

L'entorn normatiu és l'adequat per la promoció d'aquesta tecnologia.

### Aspectes condicionants

En general es pot afirmar que una instal·lació solar tèrmica es pot instal·lar a qualsevol tipus d'edifici amb un teulat disponible, ja que normalment els panells solars es col·loquen a les teulades. Un dels aspectes condicionants és la disponibilitat real de superfície lliure a aquests terrats, tradicionalment ocupats per antenes de televisió, ràdio i telefonia, radiadors de sistemes d'aire condicionat, etc.

És rellevant, tanmateix, la localització del terrat ja que pot existir al llarg del dia un percentatge important d'hores d'ombra provocades per edificis més alts que es trobin al voltant. A més a més cal tenir en compte l'ombra que genera un panell sobre els altres. Tots aquests aspectes redueixen

considerablement a efectes pràctics la superfície realment disponible per la col·locació de panells solars.

Cal destacar també les magnífiques condicions de radiació solar de les que gaudeix Barcelona, i que afavoreixen la implantació amb èxit d'aquesta tecnologia.

### Economia

Un dels aspectes més importants en qualsevol projecte és l'economia que aporta la tecnologia emprada als seus usuaris. La solar tèrmica és una tecnologia amb economia de llarg termini, ja que el període de retorn de la inversió es troba entre quinze i vint anys. L'estalvi econòmic és proporcional a la reducció de l'ús de combustible fòssil, que en la gran majoria de casos (sobretot a Barcelona) és gas natural. Aquest combustible té associat un preu baix en comparació amb d'altres com el gasoil.

També és destacable que existeix un cost de manteniment, que si bé en relació al cost d'inversió és poc rellevant, en la fase d'explotació no és menyspreable ja que afecta directament als usuaris (normalment en forma de derrama per veï) i és una despesa significativa en relació a l'estalvi anual realment obtingut.

Com ja s'ha comentat l'economia en un projecte de solar tèrmica es basa en l'estalvi de combustible obtingut. La inversió en la instal·lació és de l'ordre de 1.200 €/m<sup>2</sup> de placa. En cas de substituir consum de gas natural, el període de retorn d'una instal·lació sol ser de 20 anys sense considerar cap subvenció. En el cas de desplaçar l'ús de gas-oil, aquest període s'escurça fins a uns 12-14 anys aproximadament.

Tot i el benefici ambiental que provadament aporta aquesta tecnologia, el fet que l'estalvi econòmic sigui només l'imputable a l'estalvi de combustible, i no existeixi cap tipus de prima o ajut adicional (per exemple un incentiu per kWh generat) fa que l'economia no resulti atractiva. És per això que des de diverses institucions es reclama una implantació d'un incentiu per tal d'impulsar l'ús d'aquesta tecnologia, inclús en àmbits on no sigui d'obligat compliment.

Segons les estimacions d'ENERGIA LOCAL caldria un incentiu de l'ordre de 40-42 €/MWh generat per tal d'obtenir un període de retorn de la inversió de l'ordre de 10 anys.

## 1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

### Principi de funcionament

Els panells solars fotovoltaics converteixen la llum solar en electricitat basant-se en el principi fotovoltaic. El procés és força complex ja que implica fenòmens de mecànica quàntica. Quan un raig de llum incideix en una placa (emissor), alguns electrons reben suficient energia com per ser alliberats de l'emissor. El potencial positiu del circuit, proporcionat per una bateria, fa que aquests electrons siguin atrets pel col·lector (potencial negatiu). Aquesta diferència de potencial provoca el corrent d'electrons i per tant l'efecte electromagnètic.

Les energies dels electrons estan restringides per barreres energètiques, anomenades bandes. Aquestes bandes estan separades per espais d'energia als quals els electrons no hi poden accedir. L'estructura de bandes d'un material és bàsic per determinar tant les propietats físiques com la conductivitat elèctrica i les propietats òptiques. Els nivells energètics dels electrons estan restringits a dues bandes, la de valència i la de conductivitat; aquestes estan separades per un buit energètic. Aquest espai entre les dues bandes és característic de cada material i és la quantitat d'energia que els electrons han de guanyar com a mínim per saltar de banda i així generar l'electricitat (Krothapalli, 2009).

Existeixen tres tipus de plaques solars fotovoltaïques:

- **Monocrystal·lines:** Reben el nom degut a que es componen de seccions d'un únic cristall de silici, cal que aquest sigui d'una puresa molt elevada i que l'estructura cristal·lina sigui gairebé perfecta. Són les més cares del mercat però les que presenten un millor rendiment, al voltant del 15-17 %.

FIGURA 7.  
PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA MONOCRISTAL·LINA

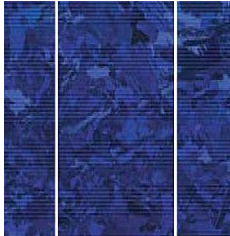


Direct Industry, 2010

- **Policristal·lines:** Estan formades per petites partícules cristal·litzades. Les planxes policristal·lines estan fetes mitjançant la

modelació de silici fos, fet que provoca que siguin més econòmiques degut al baix cost de producció, però alhora implica un rendiment més baix degut a les imperfeccions en l'estructura cristal·lina, sobre el 10-12 %.

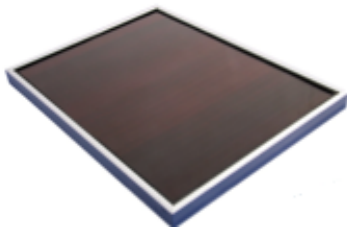
**FIGURA 8.**  
PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA POLICRISTAL·LINA



Direct Industry, 2010)

- **Amorfes:** Aquest tipus de placa contenen el silici sense cristal·litzar mitjançant la tecnologia coneguda com de làmina prima. Es crea dipositant silici sobre un substrat de vidre d'una gas reactiu com el Silà ( $\text{SiH}_4$ ). Tenen grans avantatges, com ara la facilitat d'acoblament, la capacitat per ser dipositades en materials de construcció de baix preu, la facilitat de la producció en massa i la gran conveniència per aplicacions a gran escala. Com a inconvenient cal mencionar que el seu rendiment és el més baix de tots, al voltant del 8-10 %.

**FIGURA 9.**  
PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA AMORFA



Solar Kit, 2010

Un altre tipus de classificació és segons si les plaques disposen de seguidor solar o no. Un seguidor solar és un dispositiu mecànic que fa possible l'orientació dels panells cap al Sol, fent així perpendicular la incidència dels raigs sobre la placa. D'aquesta manera s'aprofita al màxim l'energia solar durant totes les hores de llum. La producció es veu incrementada en un 30-40 %, mentre que el preu de la instal·lació és un 10-20 % superior.

**FIGURA 10.**  
PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA AMB SEGUIDOR

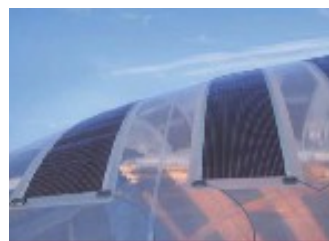


Solid Enginyeria, 2009

Per últim esmentar que, cada cop més, està creixent un nou concepte de panell fotovoltaic: els panells solars flexibles també coneguts com BIPVs (Building Integrated Photovoltaics). Aquests proporcionen un ventall d'avantatges respecte les plaques solars convencionals degut a la seva flexibilitat: ocupen molt menys espai que les plaques convencionals, són més fàcils d'instal·lar i es poden implantar en finestres, teulades i façanes. A més el fet de ser panells fins i flexibles permetria fer-ne un ús en dispositius mòbils (cotxes, vaixells, etc.). Com avantatge més destacable, remarcar que tenen un cost molt més baix que les plaques rígides, tant d'instal·lació com de compra, de l'ordre de 4 vegades més barat.

D'altra banda, com a inconvenients, del BIPVs s'ha de dir que és una tecnologia poc madura la qual cosa es reflexa en els rendiments d'aquestes que ronda el 6-7% i que no arriben a una vida útil de 25 anys com ho fan les plaques convencionals.

**FIGURA 11.**  
PANELL FOTOVOLTAICA FLEXIBLE SOBRE MEMBRANA ETFE PNEUMÀTICA



Solar Next, 2008

## Història

L'efecte fotovoltaic va ser descobert l'any 1838 pel físic francès Becquerel. Aquest és el principi en el qual es basa aquesta tecnologia. Durant el segle XIX es va aconseguir generar electricitat a partir de llum solar gràcies a petits avanços, tot i que la quantitat d'electricitat produïda era molt reduïda ja quedava oberta la porta a una futura aplicació. Aquesta no va arribar fins a l'any 1953 quan es va fabricar la cel·la de silici i es van fer millores per

tal d'obtenir aplicacions pràctiques, tot i que el gran problema era el gran cost econòmic de producció del kWh elèctric (Asociación de la Indústria Fotovoltaica, 2009).

Un dels factors claus en el desenvolupament de l'energia solar fotovoltaica va ser la seva aplicació com a proveïdors d'energia elèctrica dels satèl·lits espacials. Un pas molt important a l'hora d'implantar aquesta tecnologia a nivell terrestre va ser la creació d'una cel·la de silici molt més barata. Reduint la puresa del mateix, el cost es va reduir en un 80 %. Durant els darrers anys s'ha anat reduint el cost i l'eficiència s'ha aconseguit augmentar lleugerament de manera que s'ha experimentat un augment exponencial en la implementació d'aquesta tecnologia a nivell mundial.

### Estat actual de desenvolupament

Es tracta d'una tecnologia madura, si bé els fabricants estan molt focalitzats encara en millorar els rendiments de conversió, que són de l'ordre del 10 al 20 % actualment.

L'energia solar fotovoltaica ha gaudit d'un creixement continuat d'ençà els anys 70, quan es realitzaven principalment instal·lacions aïllades de la xarxa en l'àmbit rural. A partir de l'any 2000 es va produir un creixement força pronunciat degut a l'increment significatiu d'instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica, principalment degut a una normativa molt favorable tant pel que fa a la connexió com per les primes que els usuaris reben per la producció, sobretot arrel de la publicació del Reial Decret 661 l'any 2007. A Espanya hi ha connectats a xarxa un total aproximat de 3.400 MW.

Cal destacar que l'objectiu marcat al RD661/2007 era de 371 MW per la solar fotovoltaica i de 500 MW per la termosolar. Com pot comprovar-se s'ha superat llargament la potència objectiu. Això ha suposat per la tarifa elèctrica un sobrecoast rellevant que actualment el Govern estatal està en vies de limitar, rebaixant les primes d'aquesta tecnologia en un 30% aproximadament (segons previsions actuals).

Aquest fet pot condicionar fortament el desenvolupament d'aquesta tecnologia al nostre entorn. Les ubicacions apropiades per instal·lacions fotovoltaïques són totes aquelles superfícies (terra o teulat) amb bona radiació, sense ombres ni cap millor ús alternatiu.

### Implementació a Barcelona

Barcelona es troba en una situació geogràfica privilegiada per l'aprofitament de l'energia solar. Anualment gaudeix, en promig, de 2.477 hores de sol, el que representa una radiació solar diària mitjana de 1.502 kWh/m<sup>2</sup> (Miguel, 2007). L'Agència d'Energia de Barcelona (AEB) va posar en marxa l'any 2003 un projecte anomenat "Escoles per l'Energia" que consistia en instal·lar en vuit escoles una minicentral d'energia solar fotovoltaica.

Un dels símbols de Barcelona des de l'any 2004 és una gran instal·lació d'energia solar fotovoltaica, la pèrgola del Fòrum de les Cultures. Altres instal·lacions emblemàtiques en edificis municipals són les que estan situades a l'Ajuntament (Edifici Nou i Edifici Novíssim) i el Punt Verd de Vallbona. L'any 2006 hi havia una superfície instal·lada de plaques solars fotovoltaïques de més de 5.874 m<sup>2</sup>, una potència instal·lada de 702 kWp i una producció elèctrica aproximada de 868 MWh/any (Agència d'Energia de Barcelona, 2006).

Actualment s'està duent a terme el "Pla de millora energètica dels edificis municipals 2009-2011", el qual inclou diverses mesures de millores energètiques, entre les quals s'inclou l'energia solar fotovoltaica. Es proposa l'execució d'una instal·lació fotovoltaica al voltant de 10 edificis (Agència d'Energia de Barcelona, 2009).

### Estat normatiu

L'economia de les plantes està regulada al RD1578/2008, que va substituir el RD661/2007. Així doncs, qualsevol instal·lació de solar fotovoltaica nova es regeix pel RD1578/2008. Aquests decrets han promocionat l'ús de la tecnologia solar fotovoltaica i per tant han estat molt favorables, tant per instal·lacions grans com per petites.

En quant a l'obligatorietat d'instal·lació, actualment a Barcelona s'aplica el mateix que a la resta d'Espanya: el CTE (apartat HE5). La normativa del Codi Tècnic d'Edificació no té caràcter obligatori, per tant els edificis no es veuen forçats a instal·lar plaques fotovoltaïques. El CTE indica diversos paràmetres com ara la potència a instal·lar segons uns determinats coeficients d'ús i climàtics. Cal que els mòduls segueixin les especificacions UNE-EN 61215:1997 en cas de silici cristal·lí o bé UNE-EN 61646:1997 pels de capa prima. A l'Ajuntament de Barcelona s'està treballant per impulsar una nova ordenança municipal que obligui als promotors d'edificis de nova construcció i rehabilitació a instal·lar plaques fotovoltaïques.

## Aspectes condicionants

Els condicionants per a la implementació d'aquesta tecnologia són bàsicament els mateixos que s'han explicat anteriorment. Per l'energia solar tèrmica: disponibilitat de superfície lliure en teulats i absència d'ombres per part d'altres edificis adjacents o antenes.

Un altre aspecte crític en aquests projectes és la connexió a la xarxa elèctrica, ja que comporta multitud de tràmits administratius i amb la companyia distribuïdora, i no estan simplificats pel cas d'instal·lacions senzilles. A més, cal entregar diversos avals a l'Administració i a la companyia distribuïdora abans de la construcció de la obra.

## Economia

L'economia d'un projecte solar fotovoltaic està basat gairebé exclusivament en el cost d'inversió i la venda d'electricitat a xarxa. No existeixen despeses rellevants de manteniment ni de personal de supervisió.

No es sol generar electricitat pel consum propi de centres o edificis, ja que el preu per un habitatge o un establiment del sector terciari és d'uns 100 a 150 EUR/MWh, inferior a les tarifes del RD1578. En cas d'injectar a la xarxa la tarifa retribuïda és actualment, segons aquest Reial Decret, de 340 EUR/MWh per instal·lacions de menys de 20 kW i de 320 EUR/MWh per instal·lacions de més de 20 kW. Per instal·lacions de menys de 100 kW la inversió específica és d'uns 3.800 €/kWp instal·lat de manera que el període de retorn de la inversió està al voltant dels 8 anys.

## 1.4 ENERGIA MINIEÒLICA

### Principi de funcionament

El principi de funcionament de l'aprofitament de l'energia eòlica és el mateix tant per instal·lacions a gran escala com a petita escala. El moviment del vent fa moure les pales del molí, que amb el seu moviment giratori produeixen un corrent d'electricitat gràcies a un generador. El generador transforma l'energia mecànica de rotació de les pales en energia elèctrica. L'energia elèctrica produïda pels aerogeneradors es ven generalment a la xarxa elèctrica.

Existeixen diverses classificacions de miniaerogeneradors. Una de les més utilitzades és segons la disposició del l'eix:

- **Eix vertical:** Són coneguts com VAWT's (Vertical Axis Wind Turbines) en el món de

l'energia eòlica, no són gaire utilitzats degut a que el seu rendiment és inferior als d'eix horitzontal. És una tecnologia poc usada actualment.

FIGURA 12.  
MINI-AEROGENERADOR D'EIX VERTICAL



Biocarburante, 2009

- **Eix horitzontal:** Coneguts a la indústria com HAWT's (Horizontal Axis Wind Turbines) constitueixen el gruix dels aerogeneradors existents actualment. Els HAWT's aprofiten molt millor l'energia del vent degut a l'alçada a la que es pot arribar a situar l'eix. Aquesta tecnologia ha avançat molt en els últims anys. La potència dels generadors més grans que hi ha al mercat arriba fins als 4,5 MW en l'actualitat.

FIGURA 13.  
MINI-AEROGENERADOR D'EIX HORIZONTAL



Prqu, 2009

### Història

L'ésser humà ha fet servir l'energia del vent des de fa més de 5.000 anys. L'ús més antic que es coneix és com a mitjà de tracció; existeixen dibuixos egipcis d'aquesta antiguitat que mostren vaixells amb veles impulsades pel vent. Segles més tard, cap a l'any VI d.C., es van inventar les primeres màquines eòliques. Eren uns molins d'eix vertical que servien per moldre el gra i bombejar aigua. Fa 500 anys aproximadament ja es feien servir molins de vent amb finalitats industrials.

El primer molí de vent que es va fer servir per generar electricitat es va construir l'any 1888 a Cleveland (EUA). Va ser un gran èxit que va obrir les portes a l'expansió a nivell mundial dels aerogeneradors. Pel que fa referència a Catalunya, es va instal·lar el primer aerogenerador l'any 1984. Aquest va ser un dels primers quatre de tot l'estat Espanyol, prova que Catalunya va ser pionera en el desenvolupament de l'energia eòlica a Espanya.

L'energia minieòlica és una branca de l'energia eòlica. De baixa potència, teòricament fins a 100 kW. A la pràctica rarament es superen els 20 kW, i amb una àrea d'escombrat inferior a 20 m<sup>2</sup>. L'energia elèctrica produïda es pot vendre a la xarxa (opció més generalitzada) o fer-se servir per autoconsum (en zones rurals i/o aïllades).

### Estat actual de desenvolupament

Actualment la tecnologia minieòlica no gaudeix d'un estat de maduresa com ara la solar tèrmica o fotovoltaica, o la mateixa energia eòlica a gran escala. Hi ha diversos motius que han portat a aquesta situació durant els darrers anys, com ara el baix rendiment i baixa fiabilitat, gran cost inicial, soroll, vibracions i coneixement limitat de la tecnologia.

A països com ara Portugal o França s'està intentant promocionar la minieòlica mitjançant tarifes de venda especials. En altres indrets com ara Holanda, Regne Unit o EUA la minieòlica ja és una realitat. A Espanya no s'ha desenvolupat encara aquesta tecnologia. No obstant l'any 2007 va haver-hi dos esdeveniments claus en el que ha de ser el seu desenvolupament futur: la creació de la secció corresponent a la minieòlica dins de l'Associació de Productors d'Energies Renovables (APPA) i un projecte impulsat pel Ministeri d'Educació i Ciència i el centre tecnològic especialitzat *Robotiker* anomenat "Proyecto Singular y Estratégico Minieólica", que tenia per objectiu investigar en totes les àrees tècniques referents a un aerogenerador: aerodinàmica, aeroelasticitat, electrònica de potència... (Rico, 2007)

Existeixen tres punts clau per la impulsió d'aquesta tecnologia (Cruz, 2009):

- ▣ El preu que tenen els miniaerogeneradors és elevat.
- ▣ Cal un procediment d'avaluació de recurs adequat, especialment en entorns urbans.
- ▣ Cal realitzar més assaigs i una legislació adient.

Existeixen unes directrius per tal d'orientar el desenvolupament de l'energia minieòlica cap a la

consolidació al mercat que afecten des de la fabricació de les pales fins a la monitorització de la instal·lació, passant per la instal·lació i la reducció del nivell acústic. Els problemes que presenten la introducció dels miniaerogeneradors als nuclis urbans són la dificultat d'avaluar l'efecte que tenen obstacles en el rendiment de l'aerogenerador, el flux turbulent del vent i les grans variacions d'espai en pocs metres. Generalment s'instal·len als terrats ja que és la zona dels edificis més exposades al vent. També s'està estudiant la possibilitat de combinar minieòlica i fotovoltaica per generar electricitat.

S'ha intentat, no amb gaire èxit, integrar els miniaerogeneradors als edificis, com per exemple la torre SACYR a Madrid o el World Trade Center de Bahrein.

### Implementació a Barcelona

A la ciutat de Barcelona, a l'igual que a la resta d'Espanya, la minieòlica encara no és una realitat. Per exemple, Endesa Ingeniería va promocionar un projecte de 5 kW que es va desmantellar per problemes tècnics (vibracions).

### Estat normatiu

El marc legal normatiu específic per la minieòlica a Espanya és inexistent. La legislació actual (RD661/07) no discrimina per potència i està pensada per a grans parcs eòlics. No hi ha cap normativa específica a nivell estatal per aquesta tecnologia. Actualment, en cas de voler legalitzar una instal·lació de minieòlica cal realitzar les mateixes gestions que per una instal·lació de gran escala, procés que sol requerir un termini de dos anys.

A nivell estatal s'ha elaborat el "Plan de Energías Renovables 2010-2020", la versió definitiva del qual ha sortit publicat al Juliol del 2010. En aquest document es presenta la minieòlica com un projecte de llei, de tal manera que es pugui presentar una llei definitiva amb una regulació pròpia l'any 2011 i amb una prima específica.

Aquesta llei proporcionaria tràmits administratius viables i ràpids, forçaria a que la generació d'electricitat estigués en el lloc de consum (els camps minieòlics quedarien exclosos d'aquesta llei ja que no es legalitzaria cap instal·lació a camps, terrenys o ubicacions a on no hi hagués línies o transformadors ja instal·lats de consum) i la capacitat màxima de generació seria del 150% respecte al contracte amb la companyia.

També es vol introduir un concepte amb molt bona acollida a diferents països, el *Net Metering*. Aquest es basa en el fet que l'energia generada pels aerogeneradors sigui consumida pels usuaris, i l'excident restant sigui venuda a la xarxa.

### Aspectes condicionants

L'energia minieòlica es situa normalment als terrats dels edificis, ja que és la zona a on menys obstacles hi ha perquè el vent incideixi sobre les pales i a on més exposat està l'aerogenerador a aquesta influència del vent.

Això implica problemes similars als que hi ha amb la solar tèrmica i fotovoltaica: la disponibilitat de superfície a les teulades, la negativa influència dels obstacles en el camí del vent cap a les pales i la problemàtica d'interferències entre els aerogeneradors en cas d'haver-hi diverses unitats o bé altres instal·lacions de solar tèrmica o fotovoltaica. Un inconvenient afegit, sobretot en entorns urbans, és el soroll provocat per aquest tipus de turbines.

### Economia

Actualment un projecte de minieòlica no és una inversió econòmicament atractiva, per diversos motius. Un d'ells és la tarifa de venda a la xarxa, al voltant dels 80 EUR/MWh (la mateixa que per parcs eòlics de 100 MW). Aquesta retribució no permet retornar la inversió adequadament per potències de menys de 10 kW.

FIGURA 14. COST ESPECÍFIC D'UNA INSTAL·LACIÓ EÒLICA

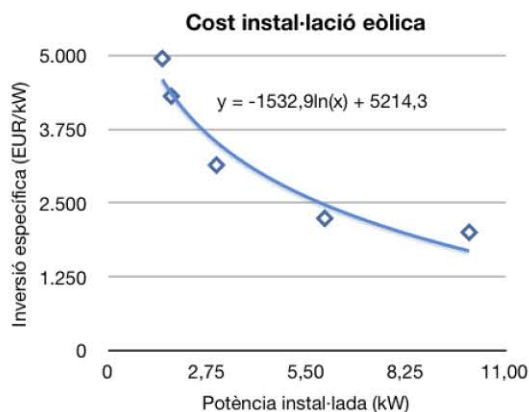
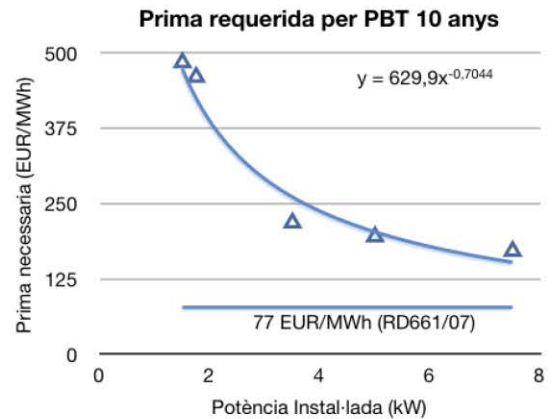


FIGURA 15. TARIFA NECESSÀRIA PER UN PERÍODE D'INVERSIÓ DE 10 ANYS



Tal com es pot observar la retribució de l'electricitat generada no permet arribar a un *Pay-back time* adequat.

Com a reacció a aquesta situació sorgeix la necessitat de crear un marc normatiu adequat i actualitzat per regular el mercat i promocionar la viabilitat d'aquest tipus de projectes. Això és el que s'intentarà fer amb la llei de la qual es vol fer un avanç al "Plan de Energías Renovables 2010-2020". A part dels avantatges ja esmentats en l'apartat 3.5 *Estat normatiu*, el document inclou també situar el preu entre 250 i 450 €/MWh, de tal manera que la inversió es recuperaria adequadament. Segons l'estudi econòmic fet per ENERGIA LOCAL el preu tarifari per tal d'obtenir un període de retorn de 10 anys oscil·laria entre 480 €/MWh, en cas d'utilitzar aerogeneradors de molt baixa potència, i 175 €/MWh en d'utilitzar-ne de potències més elevades.

## 1.5 ENERGIA DE LA BIOMASSA

### Principi de funcionament

L'energia de la biomassa és la que s'extreu de tot tipus de residus vegetals o animals i que normalment s'aprofita mitjançant combustió directa per obtenir electricitat o energia tèrmica, o bé per la fabricació de biocombustibles.

Són exemples de biomassa les restes vegetals forestals o de parcs i jardins, residus industrials de indústries com ara el moble, el biogàs ja sigui de EDAR o de dejeccions animals, residus de la indústria agroalimentària com la sansa d'oliva o de raïm, etc



L'ús més generalitzat de la biomassa és per a la generació d'energia tèrmica, sobretot en entorns rurals domèstics.

Si bé també s'usa en la generació d'electricitat (normalment en cicles Rankine de vapor d'aigua o fluids orgànics com el pentà), l'àmbit del nostre estudi serà en l'aprofitament tèrmic de la biomassa.

En efecte, actualment hi ha en construcció una planta de generació d'electricitat a partir dels residus de poda de l'Àrea de Medi Ambient. Aquest projecte, ubicat a la Zona Franca i emmarcat dins d'un projecte de generació i distribució de calor i fred de districte (DH&C), disposarà d'una turbina de vapor de 2 MW de potència elèctrica (dels quals 1,3 MW provindran de la biomassa de Parcs i Jardins, i la resta de biomassa d'altres orígens). Sembla clar que la biomassa generada localment al municipi té doncs una destinació clara, i el potencial restant l'hem de buscar doncs a aplicacions tèrmiques amb combustibles tals com pèl·let o estella.

La aplicació tèrmica de la biomassa es basa en l'aprofitament de la combustió o oxidació d'aquesta, amb l'objectiu de transmetre calor a un procés que el requereixi (escalfar una piscina, alimentar amb vapor les calandres d'una bugaderia, calefacció d'espais, aigua calenta sanitària...). Normalment s'usa un fluid per transmetre aquesta calor, que sol ser aigua, vapor o oli tèrmic.

La biomassa es considera neutra a efectes d'emissions de CO<sub>2</sub>, ja que va absorbir en la seva gènesi el mateix CO<sub>2</sub> que emetrà en una combustió. El diòxid de carboni alliberat en la combustió a més és exactament el mateix que es deixa anar a l'atmosfera durant la descomposició, per tant l'equilibri mediambiental queda intacte.

Existeixen cinc tipologies d'instal·lacions:

- ▣ Estufes i llars de foc
- ▣ Calderes domèstiques
- ▣ Calderes mitjanes i grans per edificis terciaris
- ▣ Xarxes de distribució del calor (*District Heating*)
- ▣ Instal·lacions a nivell industrial

Existeixen tres grans tipologies de biomassa:

- **Natural:** La que la natura produeix sense cap mena d'intervenció humana (per exemple la biomassa forestal). El gran inconvenient és la gestió d'adquisició i el cost energètic de la generació i transport fins a la central de valorització.
- **Residual seca:** Residus que es generen en les activitats agrícoles, forestals, en la indústria de la fusta i agroalimentària.

- **Residual humida:** Residus provinents d'abocaments biodegradables com ara aigües residuals urbanes i industrials, així com residus generats a la ramaderia.
- **Procedent de cultius energètics:** Biomassa produïda en cultius dedicats exclusivament a finalitats energètiques.

En l'entorn domèstic i de sector terciari existeixen dues tipologies de producte:

- **Estelles:** La fusta s'estella i per tant es redueix en trossos petits i irregulars per facilitar la combustió a la caldera. L'espai necessari per emmagatzematge és considerable i el seu poder calorífic inferior (PCI) és al voltant de 3.000 kcal/kg. La estella cal que sigui emmagatzemada en condicions seques per evitar que agafi humitat i perdi prestacions per exemple a l'estiu o en èpoques de no ús de la instal·lació.

FIGURA 15.  
BIOMASSA EN FORMA D'ESTELLES



Calor Natural, 2010

- **Pèl·lets:** Són peces fabricades a partir d'estelles comprimides, en unitats de dimensions al voltant de 2 cm de llargària. Tenen una gran densitat energètica, fet que proporciona una millor combustió, provoca que les calderes puguin ser realimentades i funcionar de manera més autònoma, redueix l'espai d'emmagatzematge i facilita el transport i comercialització. El seu PCI és aproximadament entre 4.000 i 4.500 kcal/kg.

FIGURA 16.  
BIOMASSA EN FORMA DE PÈL·LETS



Agrotterra, 2010

## Història

Sens dubte la biomassa, juntament amb la solar, ha estat la primera i, durant milers d'anys, l'única font d'energia renovable usada en la història de la humanitat. Abans de l'inici de l'ús del carbó durant la revolució industrial al s. XIX, la biomassa es feia servir gairebé de forma exclusiva per cobrir les necessitats de calor tant domèstiques com industrials.

Tot i el massiu ús de combustibles fòssils la biomassa encara es fa servir en aplicacions domèstiques i industrials. Segons estudis del Fons de les Nacions Unides per l'Alimentació i l'Agricultura (FAO) els països menys desenvolupats encara avui en dia obtenen el 90% de la seva energia de la llenya i altres biocombustibles.

## Estat actual de desenvolupament

Durant els anys 2005-2007 es va dur a terme un projecte molt ambiciós anomenat Establishing Local Value Chains for Renewable Heat (ELVA) per promoure calefacció en grans edificis i blocs d'habitatges mitjançant biomassa arreu d'Europa dut a terme per diverses institucions europees, com ara *Austrian Energy Agency*, *The Edinburgh centre for Carbon Management (ECCM)* i *The Energy Saving Trust* entre d'altres (Bioheat, 2007).

En general els països amb més recursos forestals (els escandinaus) és a on està més estès l'ús per a valorització energètica de la biomassa.

El consum de biomassa dins del total del consum d'energia primària de l'Estat espanyol és el 2,9% (IDAE, 2006). Gairebé la totalitat d'aquesta quantitat està destinada a un ús tèrmic en habitatges i indústries. No obstant això a Espanya es vol impulsar la tecnologia de la biomassa mitjançant mesures específiques referents a diversos aspectes, com ara el transport, el qual es vol facilitar mitjançant les fonts nacionals i també els intercanvis comercials (Ministerio de Indústria, Turismo y Comercio, 2010).

Pel que fa a la generació d'electricitat a partir de biomassa, l'objectiu de potència establert al RD661/98 és de 1.317 MW (grups b.6 i b.8), dels quals només s'ha assolit 130 MW (MITYC, 2009).

A Catalunya la biomassa disponible és sobretot d'origen forestal (el 60% del nostre territori és cobert per boscos). Actualment la explotació forestal és una activitat sense benefici, que es realitza de forma subvencionada sobretot per evitar el perill d'incendis. S'estima que s'acumulen al voltant de 4,0 milions de tones anuals de fusta

residual als nostres boscos, de les quals només s'arriben a enretirar al voltant de 0,5 milions de tones a l'any. D'aquestes només el 40% van destinades a la indústria (Minguell, 2010). Existeixen diverses associacions de propietaris forestals, entre elles Boscat per exemple (la més propera a Barcelona) que faciliten l'explotació de boscos tot fent una gestió unificada.

Existeixen diverses instal·lacions de biomassa per aprofitament tèrmic al territori català, com ara el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya a Solsona (3.500 m<sup>2</sup> de superfície i un consum anual de 60 tones d'estella), la presó de St. Joan de Vilatorrada (consum de 500 tones anuals d'estella) o la xarxa de calor urbana amb biomassa a Molins de Rei, on es subministra aigua calenta per a calefacció i ACS a 700 habitatges (consum anual de biomassa de 2.200 tones).

## Implementació a Barcelona

L'ús de la biomassa a Barcelona no està gens estès. Com ja s'ha dit ja està en marxa un projecte a l'àmbit territorial de la Marina-Zona Franca per instal·lar una planta de cogeneració de 2 MW elèctrics utilitzant biomassa provinent de l'Àrea de Medi Ambient de Barcelona.

Actualment no hi ha cap altra iniciativa ni en el camp de l'aprofitament tèrmic ni en la generació d'electricitat. Les raons d'aquesta manca d'ús cal trobar-les a:

- En general no hi ha cultura d'ús a la ciutat en cap àmbit, ni residencial ni d'equipaments. Aquesta cultura és més pròpia de zones rurals. La logística d'aprovisionament no seria un problema (hi ha biomassa abundant i disponible a menys de 30 km de la ciutat) però tampoc hi ha tradició en aquest sentit per part de promotors, arquitectes i enginyers.
- El cost de l'espai a Barcelona és elevat: una planta de biomassa estàndard a sector terciari requereix una sitja d'entre 3.000 i 5.000 l. A més la caldera ocupa el doble que una caldera de gasoil que sol tenir un tanc de 1.000 l-2.000 l.
- A Barcelona el combustible evitat en consumir biomassa seria gas natural, que té un preu de mercat del 50 % aproximadament del gasoil. Per tant la economia del projecte no és tan atractiva en el cas de substitució del gas natural com el del gasoil (més propi de les zones rurals).

En general, l'aplicació de l'energia de la biomassa en municipis es redueix a la producció d'energia tèrmica per cobrir les necessitats de calefacció i ACS, ja sigui a nivell domèstic o de districte.

## Estat normatiu

La biomassa per a ús tèrmic no disposa d'un marc legislatiu particular, essent el marc el mateix que seria aplicable a qualsevol altra caldera de combustible líquid o gas: reglament d'aparells a pressió, emissió de gasos contaminants...

## Aspectes condicionants

Existeixen diverses raons per les quals les calderes de biomassa no proliferen amb facilitat, especialment en nuclis urbans com ara Barcelona:

- ▣ Espai que requereix una instal·lació de biomassa.
- ▣ Tot i que les calderes actuals estan completament automatitzades aquesta moderna tecnologia en general no és coneguda. Per exemple l'extracció de cendres es fa un cop cada dues-quatre setmanes.
- ▣ Recel a la problemàtica del tractament de gasos (emissions de partícules), tot i que els fabricants tenen les emissions controlades i els requisits legals es compleixen perfectament.
- ▣ La inversió necessària és el doble que el d'una caldera de gasoil.

Un altre aspecte condicionant des del punt de vista ambiental és la energia invertida en posar el residu a disposició del client des del bosc fins a casa de l'usuari. Tenint en compte tota la despesa energètica que es produeix en els treballs de recol·lecció i trituració, la distància màxima recomanada és un radi de l'ordre de 30-50 km, per tal d'aconseguir estalvi en energia primària i per tant estalvi d'emissions de diòxid de carboni (Minguell, 2010).

Cal evitar l'ús de pèl·lets fabricats amb fusta reciclada de indústries com ara la del moble, ja poden contenir pintures i vernissos, fet que implica emissions de gasos contaminants a l'atmosfera. És molt important garantir que la fusta tingui un origen sostenible i locals.

## Economia

La instal·lació d'una caldera de biomassa té una inversió associada aproximadament d'uns 300 EUR/kWt, mentre que una instal·lació de gasoil el cost és d'uns 120 EUR/kWt. Al cas del gas natural són uns 90 EUR/kWt. En equipaments, la sobreinversió que suposa l'ús de biomassa té un període de retorn de l'ordre de:

- En cas de substitució de gasoil:
  - ▣ 3 a 5 anys en cas de usar estella.
  - ▣ 5 a 8 anys en cas d'usar pèl·let.

- En cas de substitució de gas natural:
  - ▣ 9 a 13 anys en cas d'usar estella.
  - ▣ superior a 20 anys en cas d'usar pèl·let.

Aquests valors són sense considerar l'opció de rebre una subvenció per part de l'ICAEN. En cas de rebre aquests ajuts el període de retorn és menor, en la proporció que l'ajut ho permeti. Existeix una diferència important entre el cost del pèl·let (entre 160 i 210 €/t) i el de l'estella (uns 72 €/t actualment). També existeix una diferència substancial entre el preu del gas natural (50-55 EUR/MWh<sub>PCI</sub>) amb el del gasoil (70-75 EUR/MWh<sub>PCI</sub>). Aquest entorn de preus fa que un projecte de biomassa a Barcelona, a on el gas natural és gairebé l'únic combustible en ús, sigui només viable en equipaments d'alt consum energètic com ara gimnasos, centres esportius, escoles o bé serveis geriàtrics.

## 1.6 ENERGIA MINI-HIDRÀULICA

### Principi de funcionament

L'energia hidràulica s'obté de l'aprofitament de les energies potencial i cinètica de l'aigua en moviment. La força motriu s'aprofita turbinant l'aigua, que gràcies al moviment rotatori i a un alternador es produeix electricitat. Aquest principi de funcionament és vàlid també per la minihidràulica, amb la diferència que aquesta té una potència instal·lada de 10 MW o inferior, criteri recollit al Reial Decret 661/2007.

Entre els avantatges que suposa la tecnologia minihidràulica cal destacar la proximitat entre el centre generador i els centres consumidors més propers, fet que permet evitar la utilització de grans xarxes d'alta tensió i que alhora comporta reducció de les pèrdues en el transport de l'electricitat. Un altre punt a favor molt important és que l'impacte en l'entorn és mínim degut principalment a que aquesta tecnologia aprofita salts d'aigua en general ja existents.

La tecnologia minihidràulica és adient per llocs aïllats de zones habitades amb un petit salt d'aigua disponible. Exemples d'aplicació són les canalitzacions d'aigua potable, industrial, de rec, etc. També els canals de reflux de sobreeximent de cabal i circuits de refredament de condensadors de centrals amb motors tèrmics. Als nuclis urbans, com ara Barcelona, es podria instal·lar en la xarxa de clavegueram aprofitant els salts d'aigua ja existents. Les instal·lacions minihidràuliques es poden destinar per autoconsum o per la venda d'energia elèctrica mitjançant connexió a xarxa.

Existeixen dos tipus d'instal·lacions minihidràuliques:

- **Centrals d'aigua fluent:** Es desvia una petita part del riu per crear un canal el qual es porta fins a la turbina. L'aigua sortint es torna al riu.

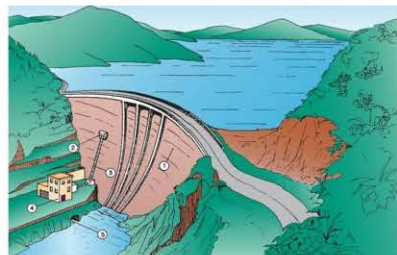
**FIGURA 17.**  
INSTAL·LACIÓ MINI-HIDRÀULICA D'AIGUA FLUENT



Egocheaga, 2009

- **Centrals a peu de presa:** L'aigua del riu es retinguda en un petit embassament, des de qual es vehicula fins a la turbina. L'aigua es retorna al riu.

**FIGURA 18.**  
INSTAL·LACIÓ MINI-HIDRÀULICA A PEU DE PRESA



Egocheaga, 2009

Segons la potència de la instal·lació es poden classificar com:

- Pico centrals: potència menor de 5 kW
- Micro centrals: potència menor de 100 kW
- Mini centrals: potència menor de 1.000 kW
- Petites centrals: potència menor de 10 MW

## Història

L'energia de l'aigua s'ha aprofitat des de l'antiguitat. Antigament s'utilitzava per moldre el gra o triturar materials mitjançant molins d'aigua, que aprofitaven la força motriu dels rius per moure tot un seguit de mecanismes. No va ser fins l'arribada de la revolució industrial quan tècnicament es va tenir la capacitat de fer servir l'aigua per la producció d'energia elèctrica. La

primera central hidroelèctrica va ser construïda al Regne Unit l'any 1880. A finals del segle XIX i principis del segle XX l'energia hidroelèctrica va gaudir un desenvolupament tècnic molt ràpid, especialment degut a l'aparició del generador elèctric i les millores de les turbines. Durant el segle XX es van continuar desenvolupant tècniques per millorar el rendiment d'aquests equips.

Actualment és l'energia renovable més utilitzada arreu del món (22% de l'electricitat mundial), tot i que el gran inconvenient segueix sent el gran impacte ambiental que aquestes instal·lacions, sobretot les de grans dimensions amb embassament, produeixen en el seu entorn.

Per consums menors s'aplica la tecnologia coneguda com minihidràulica, els principis són els mateixos que l'energia hidràulica però a petita escala, amb una potència màxima de 10 MW. L'origen d'aquest tipus d'instal·lacions són de principis del segle XX quan es van construir per cobrir les necessitats de petits municipis o indústries, però amb el pas dels anys van quedar en desús. Actualment s'està intentant recuperar aquestes instal·lacions abans de construir-ne de noves de grans dimensions degut al menor impacte ambiental causat.

## Estat actual de desenvolupament

La tecnologia minihidràulica es troba en fase de maduresa. La majoria d'instal·lacions s'ubiquen en zones rurals i aïllades de les zones habitades. Les instal·lacions a ciutats encara no són gaire comunes, tot i que existeixen plantes ja en funcionament que serveixen com exemple per futurs projectes. Una instal·lació a destacar és la projectada a la ciutat d'Amman (Jordània), la qual s'integra dins d'un ampli projecte de construcció d'una nova planta de tractament d'aigües residuals, col·locant la turbina entre l'estació de pretractament i la planta depuradora, aprofitant la diferència d'alçada existent (Denis, 2008).

Pel que fa referència a Espanya, l'IDAE ha calculat un potencial de 6.700 MW de potència instal·lada per instal·lacions minihidràuliques. Durant la dècada dels anys 60 es va assolir el màxim nombre de preses d'aquest tipus, 1.740. Actualment continuen en funcionament al voltant de 1.135, tot i que mitjançant una política d'incentius s'està intentant recuperar-les. Està previst tenir una potència instal·lada de 2.380 MW per l'any 2011 segons el Pla de Foment de les Energies Renovables (WWF Spain, 2010). A Catalunya hi ha diverses centrals minihidràuliques, com ara la "Central hidroelèctrica St. Quintí" situada al Ripollès, d'uns 200 kW.

## Implementació a Barcelona

A Barcelona, la planta de referència és la que està situada a Trinitat, és propietat de l'empresa Aigües Ter-Llobregat (ATLL). Aquesta estació té dues funcions bàsiques, la primera és distribuir i regular l'aigua procedent d l'ETAP (Estació de Tractament d'Aigua Potable) del Ter a la xarxa de Barcelona. La segona funció és la generació d'energia elèctrica mitjançant dues centrals amb dues turbines i alternadors respectivament, al voltant de 6 milions de kWh/any (Agència d'Energia de Barcelona, 2004).

A dins del nucli urbà es contempla l'opció de col·locar microturbines en la xarxa de clavegueram de la ciutat, aprofitant els petits salts d'alçada existents al llarg dels diferents recorreguts. A més a més, la xarxa de clavegueram disposa d'uns 8 dipòsits d'acumulació d'aigües pluvials d'uns 15 m d'alçada que s'omplen entre 10 i 15 vegades a l'any. Així doncs també es va considerar l'opció d'implantar unes turbines a 2 o 3 metres d'alçada respecte (per la decantació de partícules) el terra per aprofitar aquest potencial.

## Estat normatiu

Per la mitjana i gran hidroelèctrica existeix un marc normatiu estable i adient, però encara manca una legislació concreta per l'energia hidràulica de petita escala. L'única normativa de la qual es disposa actualment a Espanya la marca el RD661/2007, a on es classifica l'energia hidràulica menor de 10 MW com a grup "b.4" i per tant té assignada una tarifa i una prima. Manca per tant una tarifa específica per instal·lacions de petita potència.

## Aspectes condicionants

L'aspecte condicionant més clar i evident d'aquesta tecnologia és la disponibilitat d'un salt d'aigua suficient per la generació d'energia elèctrica.

En principi al cas de Barcelona el potencial caldrà trobar-lo en cabals i salts al sistema de clavegueram. S'haurà de tenir en compte les particularitats de turbinar un flux d'aigua residual, de manera que caldrà la instal·lació de filtres anteriors a la turbina per no malmetre les pales de l'equip.

## Economia

La inversió d'aquest tipus d'instal·lacions és de uns 7.000 EUR/kW en instal·lacions de l'ordre de 100 kW, i de 3.250 EUR/kW en cas de plantes de uns 2 MW.

Aquesta diferència en la inversió específica fa que si bé una planta de 2 MW tingui un PBT acceptable (8,4 anys), una planta de 100 kW presenti un PBT de més de 15 anys (s'han considerat els preus vigents del RD661/2007).

## 1.7 APROFITAMENT DEL FREÀTIC

### Principi de funcionament

L'energia aprofitable de les aigües freàtiques és una tècnica relativament nova. L'aigua freàtica és aquella que es troba al subsòl a una determinada profunditat, coneguda com nivell freàtic. L'aprofitament del freàtic, en el cas de Barcelona per exemple, ajuda a mantenir-ne el nivell i evitar així que augmenti de manera excessiva provocant seriosos problemes a les infraestructures subterrànies de la ciutat.

Existeixen dues maneres d'aprofitar el freàtic:

- **Usos no energètics:** S'utilitzen les aigües freàtiques per diverses finalitats, com ara el rec de parcs i jardins, neteja de carrers i clavegueram i la utilització en fonts ornamentals. També es pot fer servir per finalitats agràries.
- **Usos energètics:** S'aprofita l'energia associada al freàtic per climatització i calefacció d'edificis mitjançant un cicle de bomba de calor.

Aquests darrers són els que ens ocupen en aquest estudi. La instal·lació és basada en una bomba de calor estàndard de tipus aigua-aigua que fa servir l'energia associada al freàtic com a focus fred o calent per tal de dissipar el calor del condensador de la bomba. Refrigerar el condensador a una temperatura gairebé constant al llarg de l'any permet que el compressor de la unitat treballa amb un salt de pressió menor i per tant estalvia consum elèctric.

Cal fer una inversió inicial que consisteix en un mínim dos pous separats 10 m, un d'extracció i un altre d'injecció, disposats sempre en el mateix sentit que el flux de la capa freàtica. En el pou d'extracció es bombeja aigua de la capa freàtica cap a la superfície, aquesta es troba al voltant de 19°C. El pou d'injecció ha d'abocar l'aigua de retorn a una capa inferior a la d'extracció, ja que sinó s'estaria escalfant l'aigua que posteriorment s'extrauria per l'ús energètic. Cal tenir present la

gran inèrcia tèrmica del terra, per tant és molt important no escalfar l'aigua de refrigeració.

Com a inconvenient d'aquesta tecnologia es troba el fet que es retorna aigua a la capa freàtica en unes condicions fisicoquímiques diferents, s'altera la xarxa de flux i el nivell piezomètric, es modifica l'equilibri mineral i es possible l'auto-interferència entre pous de bombeig i injecció. També són notables els problemes que poden arribar a existir en la neteja dels filtres de les bombes, per la qual cosa es recomana la instal·lació de bescanviadors de titani (preparats per aigua de mar) prescindint del filtre anterior a la bombes, o bé de almenys dos pous de captació de manera que la neteja del filtre d'un dels pous no signifiqui la parada de la instal·lació.

**FIGURA 19.**  
**INSTAL·LACIÓ DE FREÀTIC**



Geo-Pro Design, 2009

## Història

Tradicionalment s'ha extret aigua subterrània tot construint pous fins a la capa freàtica. Aquestes extraccions han tingut les següents finalitats:

- ▣ Usos agrícoles
- ▣ Usos domèstics
- ▣ Usos urbans
- ▣ Usos industrials
- ▣ Drenatge i control de pressions sota preses

Pel que correspon a climatització, la primera instal·lació de bomba de calor geotèrmica de circuit obert va ser fabricada pel professor Carl Nielsen de la Universitat d'Ohio l'any 1948 (Brennan & Gaber, 2009), posteriorment va anar agafant popularitat, especialment en països del nord d'Europa, a on la finalitat gairebé exclusiva és atendre bombes de calor per calefacció.

## Estat actual de desenvolupament

La tecnologia de climatització mitjançant freàtic no està gaire estesa. És molt similar a la geotèrmia de baixa entalpia, que no és res més que una

instal·lació de bomba de calor de circuit tancat. Tot i això les instal·lacions d'aprofitament de freàtic resulten ser la millor opció si el lloc geogràfic disposa d'una alta capacitat de subministrament d'aigua del subsòl, ja que el paràmetre que mesura el rendiment (COP, Coeficient Of Performance) és lleugerament més alt que al cas la geotèrmia de circuit tancat.

A Espanya la referència en instal·lacions urbanes és la ciutat de Saragossa, que disposa al voltant de 90 pous per climatització, tot i que a Sevilla i Barcelona també existeixen bombes de calor que usen el freàtic. A diferència dels països del nord la refrigeració sí que té un paper important en països com Espanya a l'hora de dissenyar una instal·lació de bomba de calor amb freàtic; és per això que la gran majoria són reversibles, per tal de proporcionar calor durant l'hivern i fred durant l'estiu.

No existeix una base de dades amb la potència instal·lada a Espanya, però s'estima que aquesta podria estar sobre els 50 MWt de capacitat en bombes de calor.

## Implementació a Barcelona

A la ciutat de Barcelona tradicionalment s'han aprofitat els pous freàtics per a usos industrials, sobretot a la zona del Llobregat i a la zona industrial del Poble Nou. Tota aquesta activitat extractiva tradicionalment ha mantingut el nivell freàtic a un nivell relativament baix respecte al nivell que es pot esperar de forma natural, però l'abandonament dels pous sobretot a partir dels anys 50 (la indústria va anar desapareixent) va fer que el nivell freàtic tornés a poc a poc al seu nivell històric.

L'any 1998 mitjançant el "Pla per a l'aprofitament de l'aigua del subsòl de Barcelona" es va impulsar l'aprofitament de les aigües freàtiques per a usos no energètics. D'aquesta manera es buscava estalviar aigua potable i alhora es controlava la pujada del nivell freàtic. El creixement de l'ús del freàtic des de que es va posar en marxa el Pla fins l'any 2005 va ser d'un 138,4% (Agenda 21 BCN, 2006), una dada suficientment clarificadora de l'eficàcia de les mesures preses. L'any passat es va donar per finalitzat el Pla un cop es van assolir els objectius inicialment fixats. No obstant això l'ambició de seguir millorant l'eficiència i la sostenibilitat de la ciutat van provocar la creació d'un nou "Pla tècnic per a l'aprofitament dels recursos hídrics alternatius" (Ajuntament de Barcelona, 2009).

La instal·lació existent al Campus de la Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra és la referència a la ciutat de Barcelona. Al subsòl sota la Universitat existeix una gran bossa d'aigua, i per tant representa a efectes pràctics un recurs il·limitat per climatitzar l'edifici, controlant alhora que el nivell freàtic no pugi en excés, aspecte a tenir en compte ja que la biblioteca del centre està soterrada (López, 2009). Aquesta instal·lació ha servit d'exemple per diversos estudis que s'han realitzat a Barcelona, com ara el possible aprofitament del freàtic a la Central de generació urbana de fred i calor al sector audiovisual del districte 22@.

L'ús directe de l'aigua del subsòl per a refrigeració no és viable a la zona del 22@ degut a que la temperatura de l'aigua ronda els 18 °C i caldria que estigués a 14 °C per aprofitar el salt tèrmic (CLABSA, 2006). Aquest mateix estudi estimava un consum d'aigua freàtica de 3,9 hm<sup>3</sup>/any per torres de refrigeració mentre que per bescanviadors de calor el consum és de 81,9 hm<sup>3</sup>/any amb un rati de 93 frig/m<sup>2</sup>h per oficines.

### Estat normatiu

Actualment no hi ha cap regulació per aquest tipus d'instal·lacions. En reacció a aquesta situació l'Agència Catalana de l'Aigua va elaborar una Guia anomenada "CLIMACA" amb el fet de definir amb el màxim de claredat possible els permisos necessaris i garantir la protecció del medi. CLIMACA conté una revisió de la normativa i de criteris tècnics actuals en altres països, així com una avaluació de les tècniques analítiques i numèriques per valorar la viabilitat de les instal·lacions geotèrmiques (Agència Catalana de l'Aigua, 2010).

Segons aquesta guia cal sol·licitar i obtenir el permís d'investigació previ en cas de no existir pou preexistent en un emplaçament determinat; en cas que existeixi, cal demanar i obtenir la concessió administrativa, que inclou les dues accions d'extracció i injecció de l'aigua, sempre independentment del volum.

### Aspectes condicionants

Un requisit bàsic per la viabilitat d'una instal·lació de climatització per freàtic és disposar d'una font prou gran d'aigua freàtica relativament propera a l'edifici. Com més a prop millor ja que reduirà les despeses de perforació i canalització.

En els nuclis urbans com Barcelona resulta especialment difícil per la problemàtica de

perforacions en un sòl a on ja n'hi ha moltes corresponents a xarxes de metro, trens, etc. Tot i que es podrien aprofitar els pous ja existents de clavegueram per extreure i injectar l'aigua freàtica. En cas que l'abocament sigui al clavegueram, la temperatura no pot superar els 50°C, a més de pagar un cànon d'aigua i de clavegueram.

No cal oblidar aspectes de manteniment dels pous i de la instal·lació, ja que les aigües freàtiques contenen llots i objectes que malmeten els materials.

És bàsic tenir cura de l'abatiment que es realitza de l'aigua freàtica en edificis nous, aquest fet pot provocar la disminució de la cota a nivells negatius, ja que a nivell de mar un abatiment típic de 20-40 cm ja pot facilitar l'entrada d'aigua salina a l'aquífer, amb tots els inconvenients que això comporta. Per evitar aquest problema es poden realitzar injeccions d'aigua prèviament, però provoca un increment notable de la inversió.

### Economia

Aquest tipus d'instal·lacions requereixen una forta inversió inicial, especialment influenciada per les perforacions a realitzar, però degut al seu bon rendiment permeten un estalvi rellevant per l'usuari en la seva explotació.

El cost d'un pou d'extracció (80 cm de diàmetre, 10 m de profunditat, cabal 30 m<sup>3</sup>/h) és aproximadament 40.000 EUR. El cost d'un pou de recarrega fins a 30 m és de uns 50.000 EUR. El cost de l'estació de bombeig i bescanviadors de plaques seria d'uns 125.000 EUR.

Tenint en compte l'estalvi econòmic en electricitat consumida, i també en inversió evitada en una torre de refrigeració o en una bomba de calor refrigerada per aire, resulta un període de retorn de la inversió d'uns 10 anys.

## 1.8 ENERGIA GEOTÈRMICA

### Principi de funcionament

L'energia geotèrmica té dos orígens principals, un és la radiació solar i l'altre és el calor radio-gènica. Existeixen quatre tipus d'energia geotèrmica segons la seva finalitat:

- **Geotèrmia d'alta temperatura:** La temperatura és superior a 150°C. Aquest recurs s'aprofita per la producció d'electricitat. La profunditat es troba entre 1.500 i 3.000 m.
- **Geotèrmia de mitja temperatura:** El rang de temperatura es troba entre 100 i 150°C.

Normalment s'utilitza per generar energia elèctrica però amb menys rendiment, tot i que a vegades també per climatitzar sistemes urbans i processos industrials. La profunditat és molt variable, entre 1.000 i 4.000 m.

- **Geotèrmia de baixa temperatura:** La temperatura d'aquest recurs es troba entre 30 i 100°C. El gradient tèrmic no és tan elevat com els anteriors. El seu ús és per climatització i ACS en sistemes urbans i industrials mitjançant bomba de calor. Les profunditats típiques són entre 1.500 i 2.000 m.
- **Geotèrmia de molt baixa temperatura o somera:** La temperatura del subsòl sol ser constant i molt similar a la mitja anual de l'indret. L'energia tèrmica es troba emmagatzemada en el subsòl poc profund (menys de 250 m de profunditat) i en les aigües subterrànies. Només s'utilitza aquest recurs per climatització i ACS per mitjà de bomba de calor en cas que sigui necessari. L'energia es capta de manera molt eficient degut a l'estabilitat de la font enfront a l'oscil·lació estacional de l'entorn.

L'energia geotèrmica que s'estudia en aquest document és l'anomenada de baixa entalpia, de molt baixa temperatura o somera, ja que és la destinada a climatització d'edificis. Aquesta tecnologia té un principi de funcionament gairebé idèntic a la d'aprofitament del freàtic, amb la diferència que disposa d'un col·lector i per tant el circuit és tancat. Durant l'hivern, quan la bomba de calor es posa en marxa degut a una demanda d'aigua calenta, ja sigui per calefacció o ACS, el fluid secundari de treball comença a circular pel col·lector geotèrmic.

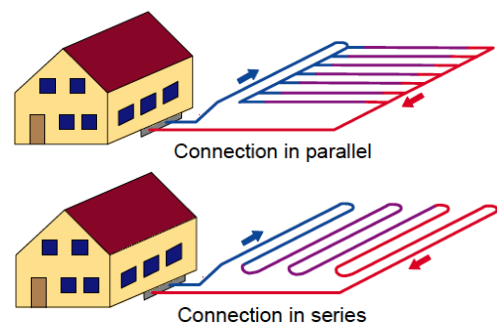
Aquest acostuma a ser una solució alcohòlica o glicolada per evitar congelacions a temperatures negatives. El fluid s'envia mitjançant una bomba cap al subsòl, durant el seu recorregut sota terra va guanyant calor gràcies al bescanvi que es produeix entre el terra i el fluid. Quan arriba a la superfície amb un guany de temperatura respecte a l'entrada s'envia cap a l'evaporador de la bomba de calor, a on cedeix la calor al fluid refrigerant que està fent el propi cicle de bomba de calor. Aquest entrega la calor a l'aigua mitjançant un condensador, d'aquesta manera es genera l'aigua calenta que es destinarà a calefacció i/o ACS.

En països a on la necessitat de refrigeració és notable s'incorpora un dispositiu inversor que permet fer el cicle invers per proporcionar fred durant l'època d'estiu. El cicle és el mateix però el que canvia és el sentit dels bescanvis de calor.

Aquests tipus de instal·lacions es classifiquen segons el tipus de col·lector geotèrmic:

- **Col·lector horitzontal:** És el sistema més fàcil d'instal·lar. Els tubs de PE es col·loquen a uns 2 m de profunditat i la superfície requerida sol estar entre els 100 i 400 m<sup>2</sup>. Un altre avantatge afegit a la facilitat d'instal·lació és el cost econòmic, però per contra aquests tipus de col·lectors no es poden instal·lar en indrets on no hi ha la superfície requerida lliure. Sobre dels col·lectors no es pot ni edificar ni pavimentar, el més recomanable és enjardinar la zona, és per això que en llocs com ciutat és del tot inviable. Existeixen dues configuracions, en sèrie i en paral·lel.

FIGURA 20.  
INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA AMB COL·LECTOR HORIZONTAL



Mands & Sanner, 2002

- **Col·lector en espiral:** És el menys comú de tots els que existeixen al mercat. Es col·loquen bobines de PE sota terra a una profunditat de 5 m aproximadament. És simplement una variable dels col·lectors horitzontals força utilitzada als EUA popularment coneguda com "Slinky". El principal inconvenient d'aquesta tecnologia és que està sotmès a variacions apreciables de temperatura i al grau d'humitat, tot plegat penalitza el rendiment estacional.

FIGURA 21.  
INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA AMB COL·LECTOR EN ESPIRAL



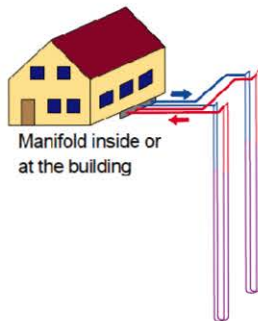
Mands & Sanner, 2002

- **Col·lector vertical:** Es col·loquen els tubs de PE de manera vertical al subsòl, amb una profunditat compresa entre 30 i 200 m, tot i que la normal a Espanya sol ser 100 m. A l'hora de dimensionar la instal·lació cal fer sondeigs i estudis de les propietats del terreny anomenats



TRT (*Thermal Response Test*). El gran inconvenient dels col·lectors verticals és la inversió inicial, sensiblement superior als altres tipus. Per contra el ventall d'avantatges és força ampli: l'ocupació de terreny és molt baixa el que causa que l'impacte visual sigui negligible i la temperatura del subsòl es manté pràcticament constant per sota dels 10 m.

**FIGURA 22.**  
INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA AMB COL·LECTOR VERTICAL



Mands & Sanner, 2002

## Història

L'energia geotèrmica és aquella emmagatzemada en forma de calor al subsòl. El primer coneixement que es té de la seva utilització és de 1000 anys a.C. quan a Xina es construïen importants balnearis i a Grècia i l'Imperi Romà es fan servir aigües termals per higiene i calefacció. Una fita molt important en la història d'aquesta tecnologia va tenir lloc al segle XIX, quan comença a funcionar la primera calefacció geotèrmica a EUA. Més tard, l'any 1930, a Islàndia es desenvolupa el que es pot considerar com la primera xarxa de districte geotèrmic del món per habitatges (Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (Geoplat), 2010). A principis del segle XX es realitza el primer experiment per produir electricitat a partir de l'energia provinent del terra a Itàlia (Comunidad de Madrid, 2008).

Durant el segle XX es van fer diversos avenços claus per arribar a l'estat actual, especialment durant els anys 70 i 80 quan degut a la crisi del petroli i al desenvolupament dels plàstics comercials la geotèrmia de baixa entalpia disposa de preus competitiu de mercat.

A Espanya la geotèrmia va aparèixer per aquestes dècades degut també a les crisis energètiques. L'any 1974 es realitza el primer document anomenat "Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas en el Territorio Nacional".

## Estat actual de desenvolupament

En aquest estudi només s'analitza el potencial del darrer tipus.

Avui en dia els dos principals referents mundials de geotèrmia de baixa entalpia són EUA i Suècia, en aquest últim hi ha actualment més de 400.000 bombes de calor geotèrmiques instal·lades. Tot i això a Espanya la geotèrmia somera o de baixa entalpia és una realitat, tot i que no tan estesa com en altres països europeus com ara Alemanya, França o la mateixa Suècia. En el conjunt europeu es calcula que hi ha quasi 15.000 MWt instal·lats (Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (Geoplat), 2010).

El "Llibre blanc de l'energia renovable" prèvia l'any 1997 una potència instal·lada l'any 2010 de 5.000 MWt, a l'any 2007 ja s'havia doblat aquest valor i actualment quasi s'ha triplicat la previsió. És una dada molt significativa del creixement que està experimentant aquesta tecnologia durant la darrera dècada. Actualment s'estan duent a terme arreu d'Europa més de 50 projectes (Groundmed, 2009).

Pel que fa a l'estat Espanyol resulta molt complicat fer cap previsió i inclús saber la potència instal·lada degut a una falta de dades estadístiques. Existeixen dades disponibles de subvencions a nou Comunitats Autònomes, entres les que no hi és Catalunya, fet que de ben segur incrementaria el valor de 8,4 MW a finals de 2008 de potència instal·lada conegut fins al moment. Altres estudis i estimacions asseguren que la potència instal·lada a finals de 2009 era de 15 MWt. S'estima un creixement anual del sector del 100 %.

## Implementació a Barcelona

La instal·lació més emblemàtica d'energia geotèrmica a Barcelona es troba en el monument a Cristòfor Colom, que es va convertir en el primer monument català en fer servir aquesta tecnologia. Disposa d'un col·lector de sis sondes doble U amb una profunditat de 100 m. Una instal·lació de bomba de calor geotèrmica per als espais interiors del monument, suposa una solució molt adient en aquest cas, ja que no suposa cap impacte visual i calia preservar la imatge de una de les icones de la ciutat.

Un dels projectes més ambiciosos que s'estan duent a terme actualment a Barcelona és precisament d'energia geotèrmica. Es vol instal·lar a l'antic Hospital de Sant Pau la instal·lació més gran d'Europa amb una longitud de col·lector de 37 km, amb un nombre de perforacions al voltant de 400 (Vinyals, 2010).

En entorns urbans com Barcelona és pràcticament impossible una altra configuració que no sigui la vertical, ja que l'horitzontal i l'espiral tenen uns requisits més alts d'espai i no permeten construir ni pavimentar sobre el col·lector.

### Estat normatiu

El gran problema que té aquesta tecnologia a Espanya és la falta de legislació adequada que reguli les instal·lacions. L'absència de marc legal per la geotèrmia somera provoca greus problemes de competències entre diferents organismes, com ara el Col·legi de Mines, l'Autoritat Hidràulica i Medi Ambient; aquest problema s'agreuja encara més degut a grans diferències existents entre les comunitats Autònomes. Una conseqüència d'aquesta falta de legislació és que no existeix un registre de les instal·lacions construïdes, això dificulta els estudis de previsió i evolució de la tecnologia. Aquest fet és un gran problema per complir la directiva 2009/28/CE que fixa uns objectius per aquesta tecnologia, i per tant fa necessari un registre de les instal·lacions.

Ja l'any 1990 la geotèrmia somera va patir un greu retràs per aquest mateix motiu en la seva implementació, que pot repetir-se en l'escenari actual.

### Aspectes condicionants

La primera restricció a la que s'enfronta l'energia geotèrmica en nuclis urbans és l'espai disponible, ja que resulta força complicat poder realitzar perforacions en un sòl a on hi ha moltes instal·lacions subterrànies. És per això que cal buscar recursos geotèrmics singulars com ara túnels existents, estructures de formigó, murs de contenció... En aquest tipus d'indrets pot haver-hi un excés d'energia tèrmica clarament reaprofitable.

Un altre aspecte important és l'adequat manteniment dels pous i de les sondes, ja que és possible que es facin malbé per culpa de roques i altres agents. Per tant cal comprovar el seu estat periòdicament i portar a terme el manteniment correctiu pertinent si cal.

### Economia

A part de totes les avantatges tècniques i mediambientals que presenten les instal·lacions de bomba de calor geotèrmica cal sumar-li un cert atractiu econòmic, ja que el període de retorn previsible de la inversió sol situar-se entre els 5 i

10 anys. Tot i implicar una alta inversió inicial, especialment deguda a les perforacions a realitzar (6.000 € per 100 m de pou), aquesta es recupera ràpidament ja que els costos de manteniment són molt baixos, la despesa d'electricitat és molt reduïda degut a l'alt rendiment (paràmetre COP) que presenta i el cost de l'energia tèrmica d'entrada al sistema és zero.

Aquests factors positius es donen sobretot en instal·lacions amb alta demanda tèrmica i el més perllongada en el temps possible.

## 1.9 COGENERACIÓ

### Principi de funcionament

El terme cogeneració significa generació simultània i eficient de calor i electricitat. Aquesta tecnologia és el més eficient entre els sistemes de generació d'electricitat a partir de combustibles fòssils. Aquests combustibles poden ser gasosos (gas natural, biogàs), combustibles líquids (fuel-oil, gas-oil, GLP) o bé sòlids (carbó, biomassa, residus municipals). La generació d'electricitat es produeix en equips com motors alternatius, turbines de gas, turbines de vapor o piles de combustible.

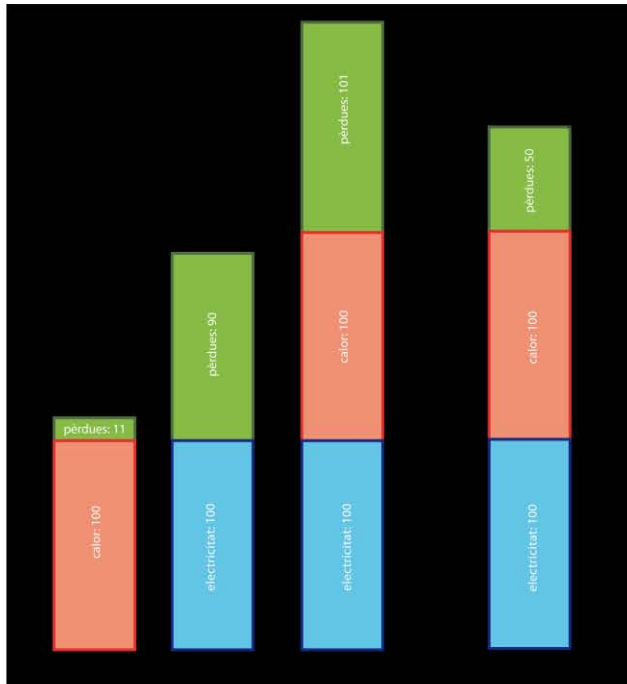
L'alta eficiència s'aconsegueix tot aprofitant el calor residual que la generació d'electricitat provoca, tot transmetent-lo a un consumidor que el requereix i per tant obtenint un estalvi d'energia primària a les calderes d'aquest centre consumidor.

De fet la Directiva Europea de Foment de la Cogeneració d'alta eficiència (2004/8/EC) estipula tres raons que justifiquen la promoció d'aquesta tecnologia a la UE:

- Garantia de subministrament energètic (generació distribuïda).
- Competitivitat econòmica.
- Estalvi d'energia primària en forma de combustible.

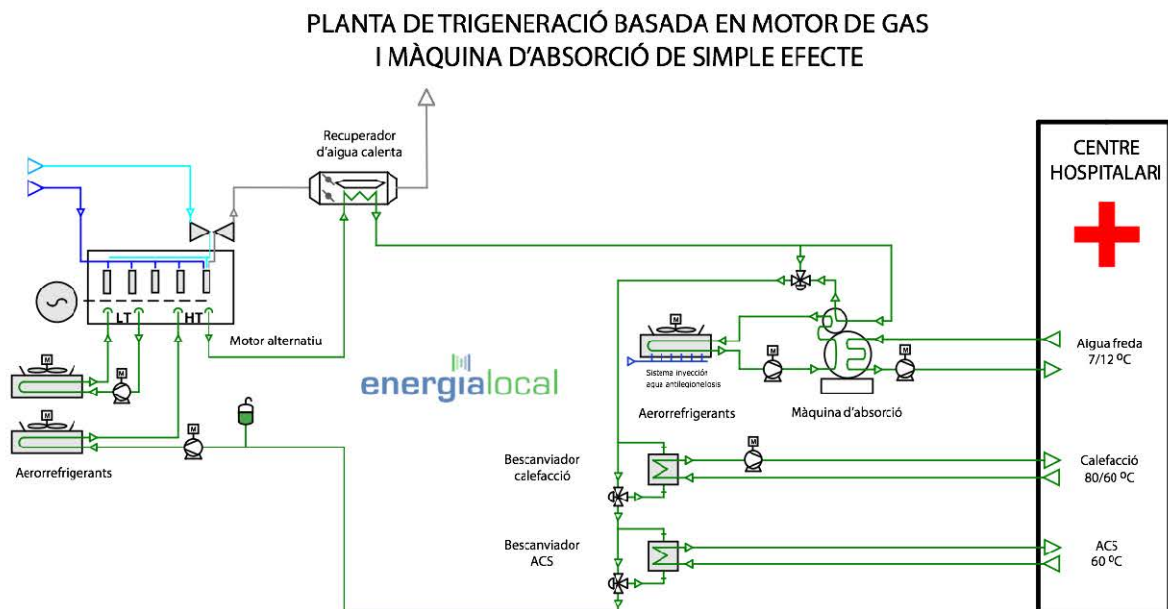
Cal destacar que la cogeneració estalvia energia primària quan la comparem amb la generació alternativa de la electricitat amb combustibles fòssils. El concret la Directiva fixa que els càlculs d'estalvi d'energia primària s'han de realitzar tot considerant que s'evita l'ús del mateix tipus de combustible en la generació d'electricitat i de calor.

**FIGURA 23.**  
CÀLCUL DE L'ESTALVI D'ENERGIA PRIMÀRIA



Projecte de cogeneració a una centre que consumeix 100 unitats d'energia en forma de calor i 100 unitats en forma d'electricitat.

**FIGURA 24.**  
CICLE TERMODINÀMIC D'UNA PLANTA DE TRIGENERACIÓ (GENERACIÓ DE CALOR, FRED I ELECTRICITAT)  
ESQUEMA DE PROCÉS D'UNA TRIGENERACIÓ A UN CENTRE HOSPITALARI

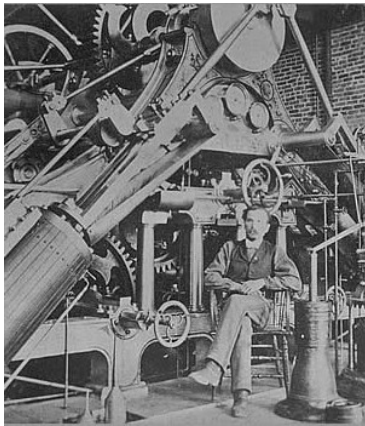


## Història

Després de la primera planta de generació d'electricitat construïda al 1882 per Thomas Edison a Pearl Street (Nova York), no es va trigar gaire a fer el pas següent en optimitzar el cicle termodinàmic que no era altra que aprofitar el calor residual generat.

Efectivament els orígens de la cogeneració es remonten a l'any 1903 quan la Detroit Edison Company va construir a Michigan una planta de generació d'electricitat (basada en l'ús de motors alternatius de vapor) i aprofitament del vapor d'escapament (cap a una xarxa urbana de distribució, soterrada, amb 12 clients inicialment) (The American Society of Mechanical Engineers, 1985). Posteriorment a la dècada dels anys 20 es van introduir les turbines de vapor en substitució dels motors de vapor, amb millors eficiències i economia d'escala.

**FIGURA 25.**  
BIRDSILL HOLLY



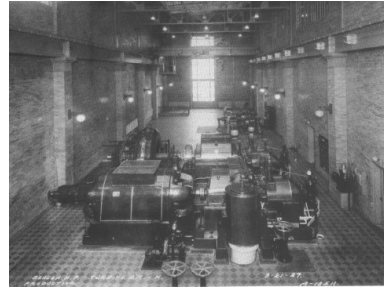
Lockportcave, 2010

**FIGURA 26.**  
PLANTA DE COGENERACIÓ DE DISTRICTE A BEACON STREET, MICHIGAN



Lockportcave, 2010

**FIGURA 27.**  
TURBINES DE VAPOR A BEACON STREET PLANT,  
INCORPORADES EL 1926



Lockportcave, 2010

Actualment l'ús de la cogeneració està implementat a tot el món, sobretot al sector industrial i les centrals de generació de calor de districte.

## Estat actual de desenvolupament

La cogeneració és una tecnologia completament madura a nivell industrial i de gran escala. No obstant això al sector terciari encara no s'hi ha implementat de forma generalitzada. La principal raó ha estat la manca de tecnologia i legislació adequada per a instal·lacions de microcogeneració (potència < 100 kW) i de cogeneració a petita escala (potència < 1 MW).

Podem afirmar que actualment el sector està fent a nivell europeu un salt qualitatiu molt important, en el qual s'està vivint la implementació amb èxit de nombrosos projectes, molts d'ells pioners en el sector d'aplicació (Dijkstra, 2009). Les empreses de serveis energètics estan actualment fent un esforç molt important en implementar l'estalvi energètic al nostre país, en molts casos a través d'una instal·lació de cogeneració. Un exemple és l'associació que es va promoure l'any 2008 entre Gas Natural i Baxi Calefacció per tal d'impulsar aquest tipus d'instal·lacions (Baxi Calefacció, 2008). L'IDAE té com a objectiu 55 MW de potència instal·lada en microcogeneració durant els pròxims anys fins al 2020, dels quals 20 MW en edificis residencials (IDAE, 2008).

A Espanya la cogeneració representa el 12 % de la generació elèctrica, amb una potència instal·lada superior als 6.000 MW. Aproximadament el 95 % d'aquesta potència es troba a la indústria (del paper, química, refineries, agroalimentària, ceràmica) (ACOGEN, 2010).

## Implementació a la ciutat de Barcelona

A la ciutat de Barcelona existeixen diverses plantes en funcionament (MITYC & ENERGIA LOCAL, 2009):

- ▣ Planta de trigeneració a la Ciutat Sanitària de la Vall d'Hebrón (1996): 4,2 MW elèctrics en base a turbina de gas.
- ▣ Planta de cogeneració a Bunge, al port de Barcelona (2006): 10,0 MW en base a tres motors alternatius.
- ▣ Planta de cogeneració a Cailà y Parés, a la Zona Franca (1998): 4,8 MW en base a turbina de gas.
- ▣ Planta de cogeneració de Tradebe, al Port de Barcelona (2009): 4,0 MW en base a motor alternatiu.
- ▣ Planta de cogeneració de Miquel y Costas & Miquel (1996): 4,7 MW en base a turbina de gas.
- ▣ Planta de cogeneració a l'hotel Ayre Rosselló (2009): 30 kW en base a microturbina de gas.
- ▣ Planta de trigeneració a la seu de Gas Natural (2008): 200 kW en base a una pila de combustible.

Totes elles usen el gas natural com a combustible, excepte la de Tradebe que opera principalment amb fuel oil recuperat de vaixells.

**FIGURA 28.**  
MICRO-TURBINA EN UN HOTEL



MicroPower Europe

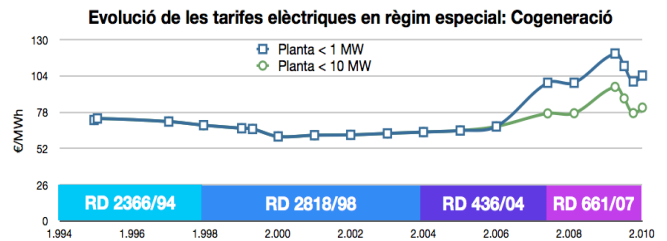
**FIGURA 29.**  
PILA DE COMBUSTIBLE DE 200 KW (SEU CORPORATIVA DE GAS NATURAL FENOSA)



## Entorn normatiu

La cogeneració ha estat tradicionalment un sector subjecte a grans canvis legislatius. Des de l'any 1994, al que va entrar en vigor el primer Reial Decret de Règim Especial RD2366/94, han existit quatre marcs legislatius significativament diferents en la seva filosofia.

**FIGURA 30.**  
EVOLUCIÓ DE LES TARIFES ELÈCTRIQUES EN RÈGIM ESPECIAL DE COGENERACIÓ (DES DE 1994)



Una planta de cogeneració és eficient o no en funció del centre consumidor que té al costat. Per exemple al cas d'una planta sobredimensionada respecte al consum de calor.

En la legislació espanyola sempre s'ha usat el rendiment elèctric equivalent (REE) com a indicador d'eficiència.

$$REE = \frac{E}{F - \frac{H}{Ref H_\eta}}$$

Fórmula de càlcul de l'REE, a on E= Electricitat generada | F= combustible consumit | H= calor útil

Els llindars mínims que s'han de complir per tal d'estar acollit al Règim especial de producció elèctrica són:

- ▣ REE mínim del 49,5% per motors alternatius de gas natural de potència elèctrica inferior o igual a 1 MW.
- ▣ REE mínim del 55,0% per motors alternatius de gas natural de potència superior a 1 MW.
- ▣ REE mínim del 53,1% per turbines de gas de potència elèctrica inferior o igual a 1 MW.
- ▣ REE mínim del 59,0% per turbines de gas de potència elèctrica superior a 1 MW.

La Directiva Europea 2004/8/EC fixa l'estalvi d'energia primària com a objectiu prioritari de la cogeneració a Europa. Estableix un mínim del 10% d'estalvi en forma de combustible per tal que les plantes siguin considerades cogeneració d'alta

eficiència. Actualment el RD661/07 representa el millor marc per la cogeneració en la història d'aquest país. Els motius són:

- Possibilitat (a escollir pel cogenerador) d'exportació de la totalitat de l'electricitat o només l'excedent després d'haver alimentat el centre consumidor de calor
- Possibilitat (a escollir pel cogenerador) d'exportar la electricitat a un preu fix (tarifa) o bé fer-ho a preu de mercat al qual s'hi afegeix una prima
- Percepció en el preu de la electricitat d'un complement per eficiència.

### Aspectes condicionants

La cogeneració es pot implementar en tots aquells centres, industrials o de sector terciari, a on es consumeixi energia tèrmica. El preu de l'energia (ja sigui elèctrica com en forma de combustible) influeix fortament en la decisió econòmica d'emprendre un projecte d'aquest tipus.

A la indústria la cogeneració està ja implementada en tots aquells sectors que demanen calor de forma més rellevant (paper, químic, ceràmic etc.). En aquests sectors el pes de l'energia en el cost de producció és important, i per tant han estat optimitzats oportunament en la majoria dels casos.

El sector terciari és tècnicament un bon camp a on implementar una central de cogeneració. No obstant és important considerar dos aspectes principalment:

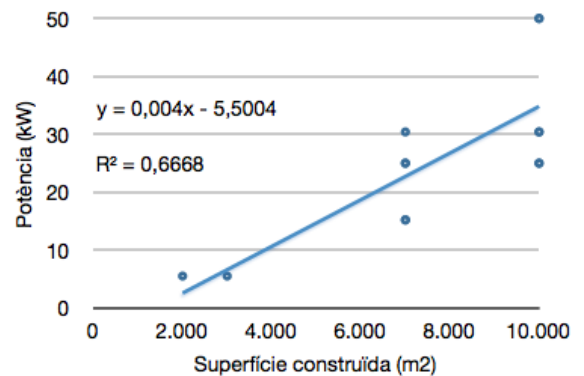
- Convé aprofitar al màxim l'energia residual en forma de calor, evitant que es desaprofiti dissipant-la a l'atmosfera
- Per tal que siguin viables econòmicament els projectes de cogeneració convé que les hores d'ús de la instal·lació siguin el més grans possibles.

Així per exemple en un hotel a Barcelona una cogeneració pot satisfer la demanda de calor per aigua calenta sanitària tot l'any, i una part també de la calefacció a l'hivern. Però a l'estiu l'hotel no requereix calefacció sinó refrigeració. La trigeneració és llavors una bona solució tècnica, ja que permet l'ús de la instal·lació al llarg de tot l'any, a costa d'un cert increment en la inversió. La solució és doncs instal·lar una planta de trigeneració que funcioni tot l'any, o bé una planta més petita, que satisfaci la demanda d'aigua calenta sanitària únicament.

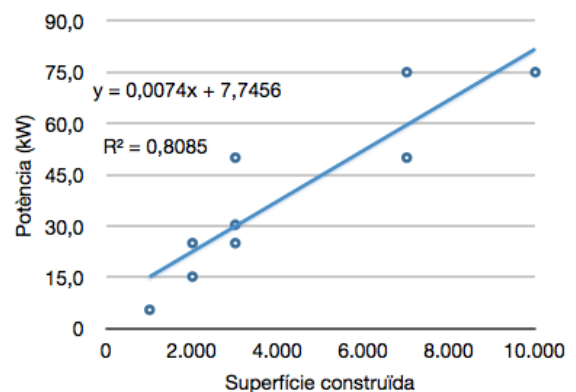
En el present estudi s'ha realitzat un anàlisi de la factibilitat tècnica de la implementació d'aquesta tecnologia a diferents tipus d'edificis. Veiem que

existeix un llindar mínim de superfície d'aquests edificis per tal que tingui sentit tècnic el projecte de cogeneració.

**FIGURA 31.**  
POTÈNCIA DE COGENERACIÓ INSTAL·LABLE A EDIFICIS PLURIFAMILIARS



**FIGURA 32.**  
POTÈNCIA DE COGENERACIÓ INSTAL·LABLE A EDIFICIS D'OFICINES



Una planta de cogeneració en el sector terciari ha d'estar preferentment connectada a la xarxa de gas natural de pressió superior a 4 barg. En cas contrari els preutges de gas són prou elevats com per fer la inversió no rendible.

Quant a sorolls i vibracions, una planta correctament dissenyada no ha de presentar problemàtiques en aquests aspectes en el seu entorn, ja que tècnicament aquests aspectes estan resolts de fa anys.

El cas de la trigeneració és especialment dedicat perquè requereix l'ús de torres de refrigeració per refredar el condensador de la màquina d'absorció. Aquests equips no són especialment benvinguts a entorns urbans i aquest aspecte sol ser problemàtic tot i que sempre existeix una solució

tècnica adequada que permeti prevenir qualsevol problema com ara *legionel·losi*, plomalls de vapor d'aigua condensat, etc.

## Economia

Un projecte de cogeneració és un projecte notablement complex, tant des de el punt de vista de requeriments de coneixement especialitzat d'enginyeria i construcció, com posteriorment en la explotació i manteniment.

L'estalvi del projecte es basa en l'estalvi de combustible en calderes (o electricitat en màquines refredadores) i en la venda d'electricitat. Per altra banda hi ha despeses associades a aquesta activitat, que són principalment la compra del combustible, el manteniment dels equips (sobretot motors i turbines de gas), i el personal de conducció de la planta.

El règim econòmic de la venda d'electricitat està regulat al RD661/2007.

La inversió dels projectes depèn fortament de l'escala de la planta. Així, una planta de trigeneració de potència 3 MW té una inversió associada de 1.100 EUR/kW, mentre que una planta de microcogeneració de l'ordre de 5 a 30 KW inversió específica és de 2.000 a 5.000 EUR/kW.

El període de retorn de les instal·lacions al sector terciari és de 6 a 8 anys. És un temps de retorn inferior al d'altres tecnologies, si bé cal tenir en compte la major complexitat d'aquest tipus de projectes, i per tant majors riscos associats.

## 1.10 SISTEMES URBANS DE GENERACIÓ I DISTRIBUCIÓ DE FRED I CALOR (DISTRICTE HEATING AND COOLING)

### Principi de funcionament

*District Heating and Cooling* és un sistema de distribució d'energia en forma d'aigua calenta i aigua freda per finalitats de climatització, ACS i processos industrials que requereixen escalfament o refredament. Aquesta distribució es fa mitjançant canonades soterrades en districtes municipals, polígons industrials o del sector terciari i conjunt d'edificacions, com ara aeroports o hospitals. Les xarxes de DHC estan formades pels següents elements:

- **Central de producció d'energia:** On es realitza la producció industrial d'aigua calenta i freda

mitjançant tecnologies convencionals o amb energies renovables.

- **Xarxa de distribució:** Està formada per les canonades que han d'estar perfectament aïllades per garantir el bon subministrament. És el nexa d'unió entre la central de producció i els punts de consum.
- **Punts de consum:** A l'anomenada subestació tèrmica s'instal·len els bescanviadors de calor per passar l'energia del circuit primari al secundari. Aquest és el que s'utilitza per subministrar calefacció, refrigeració i ACS.

Aquesta tecnologia suposa una manera fiable, eficient i viable econòmicament de climatitzar edificis. Depenent de la manera que es generi l'aigua calenta i freda a la central de producció la instal·lació serà més o menys contaminant a nivell global. El més recomanable és mitjançant energies renovables (principalment biomassa) o cogeneració. DHC ajuda a l'estalvi d'emissions i també al d'energia.

### Història

L'any 1877 l'inventor i empresari Birdsill Holly va implementar a Lockport (New York) el primer projecte de District heating de la història (The American Society of Mechanical Engineers, 1985). La companyia que va crear, la American District Steam Heat Corporation, disposava d'una caldera de vapor i una xarxa subterrània de distribució. L'any 1880, un cop demostrat l'èxit d'aquest model de generació i distribució, més eficient que la generació de moltes petites calderes, ja existien diverses companyies de DHC als Estats Units.

Esmentar com a dada curiosa que inicialment la factura de calor al consumidors era una quantitat fixa. El Sr. Holly sospitava que amb aquest sistema els usuaris malgastaven el calor, de manera que el 1881 va patentar i instal·lar un sistema de comptadors de vapor per tal que els clients paguessin per volum de vapor consumit. La demanda es va reduir a la meitat (Fredickson, 1996). Aquest exemple demostra d'una manera ostensible que és important per una societat de disposar de sistemes de generació eficient, però que encara ho és més realitzar una gestió racional de la demanda per tal aconseguir el mínim impacte ambiental possible.

### Estat actual de desenvolupament

EL DHC és una tecnologia completament madura i més gaudeix d'un moment d'expansió actualment, present a més de 5.000 ciutats europees. És una tecnologia molt consolidada al nord, centre i est

d'Europa, a on superen el 50% de quota de mercat de calor. En el total del continent aquest valor és un 10 %. Una dada molt important a destacar és que el 80% del calor subministrat mitjançant *District Heating* prové d'energies renovables o de recuperació de calor de processos industrials o producció d'electricitat (cogeneració) (Euroheat & Power, 2009). A París hi ha en funcionament la xarxa més gran de DHC, anomenada Climaespace, que dona servei a 500 edificis, entre els que es troba el Museu del Louvre.

La tendència actual és implementar el DHC al Sud d'Europa ja que és la zona a on no està consolidat. Els paràmetres més importants dels quals depèn la seva implementació és la climatologia de l'indret i de la font de calor disponible (renovable o no). Resulta del tot recomanable instal·lar xarxes de DHC degut a que és una manera de subministrar energia de manera neta, còmoda i fiable.

### Implementació a Barcelona

A Barcelona existeix una gran xarxa de DHC propietat de DISTRICLIMA a la zona del 22@ i Poble Nou. Va ser inaugurada l'any 2004 amb motiu del Fòrum de les Cultures celebrat a Barcelona i actualment és la xarxa de DHC més important a Espanya segons dimensió, diversitat de clients i implantació en una gran ciutat. Té una potència instal·lada de 35 MWt i 55 MWf. L'extensió de la xarxa és 11,3 km i la superfície climatitzada és aproximadament 488.000 m<sup>2</sup>. La central de producció es troba a la zona del Fòrum, tot i que es preveu la construcció d'una segona central per l'any 2011 (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2010).

Actualment hi ha en marxa un projecte molt ambiciós dut a terme per DALKIA i VEOLIA al Barri de la Marina, Gran Via de l'Hospitalet i el seu entorn. Disposarà de dues centrals de producció, una estarà situada a la Marina (23,75 MWf i 15 MWt de potència instal·lada) i l'altra a la Zona Franca (21 MWf i 34,9 MWt). Es crearà una planta de valorització de biomassa (2 MWe de potència elèctrica nominal) i una central de recuperació de fred de regasificació d'ENAGÁS (30 MW de potència màxima instal·lada), la qual tindrà una xarxa de transport fins a la central de Zona Franca. Està previst la connexió del 85% dels immobles previstos en el pla urbanístic i connectar els edificis a una distància de la xarxa de 100 m de mitja. L'última fase del projecte contempla l'expansió fins a les noves zones territorials de l'Hospitalet de Llobregat i els nous edificis de serveis de la Zona Franca (Dalkia, 2010).

### Estat normatiu

No existeix una normativa específica per aquest tipus de xarxes, però resulta essencial el suport de l'Administració pública en projectes de *District Heating and Cooling*, especialment en la fase inicial, que ha de contemplar la inversió necessària per fer possible el projecte i la promoció que cal fer a la societat per tal que els clients es connectin.

### Aspectes condicionants

A l'hora d'implementar una xarxa de DHC cal tenir en compte que és una instal·lació de gran escala, i per tant es requereix un gran espai per col·locar la central de producció. Un altre problemàtica és la xarxa en sí mateixa; cal soterrar totes les canonades corresponents a la impulsió i tornada tant de l'aigua calenta i freda, amb tot el treball que comporta d'obra, aixecament de carrers i respectar les canonades ja instal·lades de gas i aigua convencionals. En conjunt un xarxa de DHC requereix una gran infraestructura.

Un dels aspectes condicionants també és tot el referent al manteniment del global de la instal·lació, ja que cal garantir en tot moment el bon estat del sistema i de les màquines per assegurar el bon funcionament global. És important estudiar cada connexió a un punt de consum de manera detallada, ja que sovint sorgeixen barreres que dificulten aquesta connexió.

### Economia

Aquesta tecnologia requereix una inversió elevada, com per exemple la que es va realitzar inicialment a la xarxa de DISTRICLIMA a la zona Fòrum de Barcelona, que va superar els 32 MEUR (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2010). És una inversió que va incloure la central de producció, el sistema de canonades – primer tram del troncal – i els bescanviadors situats a 5 punts de consum.

Es tracta de projectes de llarga vida útil (concessions de l'ordre de 25-30 anys), intensius en capital inicialment i per tant amb períodes de retorn de la inversió perllongats, de l'ordre de 10 a 12 anys.

D'altra banda permet a l'usuari tèrmic beneficis econòmics, com és per exemple el fet de no haver d'invertir en equipaments als edificis com ara chillers, calderes o bombes de calor o escameses de gas. També representa un estalvi el fet de no haver de dedicar un espai dins l'edifici per ubicar



aquests equipaments evitats i les despeses d'operació i manteniment associades.

Actualment, el cost de connexió per un usuari, tant de DISTRICLIMA com de DALKIA és de l'ordre de 63,1 EUR/kW de Calor i 191 EUR/kW de fred contractats.

## 1.11 TURBOEXPANDERS DE GAS NATURAL

### Principi de funcionament

La tecnologia coneguda com *Gas expander* permet aprofitar el salt de pressió en una estació de gas (que d'altra manera es desaprofita) en energia mecànica al fer passar el gas natural per una turbina. El treball obtingut en la turbina es pot utilitzar per generar energia elèctrica o bé per accionar un compressor dins d'una instal·lació industrial.

L'eficiència de l'expander depèn de les condicions de procés, com ara pressions, temperatures i cabal de gas circulant. Aquestes turbines són de dimensions reduïdes, al voltant de 200 mm de diàmetre, però amb una potència generada que pot arribar a 1 MW d'electricitat.

### Història

El principi de turboexpander té més d'un segle d'història, quan a principis del segle XX es va construir la primera màquina que feia servir el concepte d'expansió isentròpica per liquidar aire. Però el concepte d'expander per la generació d'energia elèctrica en instal·lacions de gas natural és força més nou, ja que es va començar a aplicar cap a la dècada dels anys 80. Des d'aquests anys ençà, s'ha anat introduint a la indústria i en estacions de gas municipals.

Tradicionalment mai s'ha usat aquesta tecnologia enlloc de la simple expansió del gas en les estacions de la xarxa.

### Estat actual de desenvolupament

La tecnologia dels expanders està totalment consolidada a nivell industrial, amb un ampli ventall d'aplicacions: com a font de refrigeració en processos industrials com l'extracció de l'età i líquids de gas natural del propi gas natural, en processos de líquüefacció de gasos i altres aplicacions a baixa temperatura. També són força utilitzats en processos petroquímics i aplicacions de recuperació d'energia.

Es calcula que actualment la tecnologia dels expanders s'utilitza en cinc països europeus generant al voltant de 23 MW d'electricitat (Renewable Energy UK (REUK), 2009). Al sud de Califòrnia hi ha instal·lat un turboexpander a una xarxa municipal de gas la qual recupera 1.000 MWh/any en forma d'energia elèctrica (GE Oil & Gas, 2007).

A Espanya encara no s'ha implementat aquesta tecnologia, tot i que hi ha institucions com ENAGAS impulsant-la actualment.

### Implementació a Barcelona

A Barcelona no s'han implementat sistemes turboexpanders, tot i comptar amb 3 estacions de gas que redueixen la pressió de 32 a 11 barg de mitja de dimensions importants (de l'ordre de 70.000 a 240.000 Nm<sup>3</sup>/h de cabal de disseny cadascuna). En aquestes estacions el que es fa per baixar la pressió és fer passar el gas natural per vàlvules d'expansió.

A més a més, es compta amb 21 estacions més, de les quals 17 experimenten reduccions de pressió de 9,7 a 3 barg de mitja de dimensions més reduïdes (de l'ordre de 1.000 a 36.000 Nm<sup>3</sup>/h de cabal de disseny cadascuna) i les altres 4 experimenten increments de pressió per la zona de Barcelona en la que es troben. De manera que, la generació d'electricitat mitjançant turboexpanders podria utilitzar-se, en part, per alimentar els compressors d'aquestes 4 subestacions esmentades.

### Estat normatiu

Actualment hi ha una mancança de legislació respecta a aquesta tecnologia. No hi ha cap marc normatiu propi ni està considerat al RD661/2007 a on es classifiquen totes les energies incloses en règim especial.

### Aspectes condicionants

El fet principal que impedeix la implementació de turboexpanders en centrals de subministrament de gas natural és el reescalfament necessari que cal aplicar al gas natural abans d'entrar a la turbina, ja que el fluid arriba típicament a temperatura ambient (uns 15°C) i cal pujar la temperatura fins a 60°C. Si no es realitzés el procés de preescalfament la temperatura del gas natural podria arribar a valors molt baixos, de l'ordre de -50°C, i provocar la congelació de les canonades. Aquest preescalfament es pot realitzar

de diverses maneres, sempre i quan impliqui un estalvi d'energia primària i emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera.

El fet de que es requereixi un escalfament, i per tant una possible despesa en generar aquest calor, condiciona fortament l'ús d'aquesta tecnologia.

### Economia

La instal·lació de turboexpanders suposa una inversió de l'ordre de 3.300 €/kW per instal·lacions petites. El fet de que no hi ha retribució de règim especial per aquesta tecnologia fa que es compliqui la seva implantació. L'única retribució rebuda és la de venda d'electricitat a preu de mercat (*pool*, 40 EUR/MWh actualment) i amb aquests valors els PBT de les instal·lacions ronden els 10 anys amb rendiments isoentròpics reduïts (sobre el 67%) per instal·lacions menors de 100 kW.

Per instal·lacions més grans (450 kW) es poden arribar a valors de PBT de l'ordre de 7 anys la qual cosa podria fer més atractiva la implantació d'aquesta tecnologia. Aquests períodes de retorn són considerant que el calor necessari pel pre-escalfament és un calor residual, és a dir, gratuït. En cas de no ser així es dispararia la inversió i seria totalment inviable econòmicament sense cap retribució o prima.

## 2. ESTUDIS DE POTENCIAL PARTICULARITZATS

### 2.1 METODOLOGIA I BASES DE CÀLCUL

#### Metodologia

Per conèixer l'escenari de màxims de cada tecnologia es parteix de les dades corresponents a la superfície d'edificis de nova construcció i de rehabilitació, provinents del conjunt de documents generats pel PECQ. És important diferenciar els tipus d'edificis ja que les demandes energètiques varien sensiblement en el cas d'edifici nou o rehabilitat.


ENERGIA LOCAL ha desenvolupat un estudi per tal de conèixer els ratis de demanda d'energia elèctrica, frigorífica i tèrmica de cada una de les diferents tipologies d'edificis considerades en els estudis històrics realitzats en l'àmbit de la ciutat de Barcelona. El resultat ha permès l'estimació, conjuntament amb AEB, dels valors que s'han aplicat (taules 5 i 6).

#### Bases de càlcul

Com s'ha explicat anteriorment, els càlculs realitzats en aquest capítol per determinar els sostres que presenten cada una de les tecnologies es basen en els següents conjunts de dades:


- **Tipologia d'edificis:**
  - ▣ Habitatges plurifamiliars
  - ▣ Oficines
  - ▣ Comercial
  - ▣ Equipaments
  - ▣ Centres esportius
  - ▣ Hotels (quatre estrelles)
- **Promocions d'edificis de nova construcció:**
  - ▣ En total està previst que es construeixin 5.965.584 m<sup>2</sup>

**FIGURA 33.**  
SUPERFÍCIE DE NOVA CONSTRUCCIÓ A BARCELONA (PART 1)



Habitatges	305.986	134.000	3.000	181.000	0
Oficines	1.761.569	57.400	10.660	68.880	33.620
Comercial	85.930	2.800	520	3.360	1.640
Equipaments	150.377	4.900	910	5.880	2.870
Centres esportius	21.482	700	130	840	410
Hotels	128.895	4.200	780	5.040	2.460
Total	4.602.498	274.000	29.000	349.000	82.000

**FIGURA 34.**  
SUPERFÍCIE DE NOVA CONSTRUCCIÓ A BARCELONA (PART 2)



Habitatges	5.500	660.000	869.237	9.000	130.000
Oficines	17.056	29.520	258.644	4.100	18.860
Comercial	832	1.440	12.617	200	920
Equipaments	1.456	2.520	22.079	350	1.610
Centres esportius	208	360	3.154	50	230
Hotels	1.248	2.160	18.925	300	1.380
Total	47.100	72.000	1.500.077	19.000	176.000

**FIGURA 35.**  
SUPERFÍCIE DE NOVA CONSTRUCCIÓ A BARCELONA (PART 3)

Habitatges	81.000		41.532	18.987	169.600
Oficines	9.840	29.520		121.578	
Comercial	480	1.440		5.930	
Equipaments	840	2.520		10.378	
Centres esportius	120	360		1.483	
Hotels	720	2.160		8.896	
<b>Total</b>	<b>105.000</b>	<b>72.000</b>	<b>41.532</b>	<b>315.519</b>	<b>169.600</b>

**FIGURA 36.**  
SUPERFÍCIE D'EDIFICIS DE REHABILITACIÓ A BARCELONA

Habitatges	1.313.539
Oficines	414.270
Comercial	20.208
Equipaments	35.365
Centres esportius	5.052
Hotels	30.312
<b>Total</b>	<b>1.818.746</b>

**FIGURA 37.**  
DEMANDES ENERGÈTIQUES SEGONS TIPOLOGIA D'EDIFICI (kWh/m<sup>2</sup>/any) - RATIS

Habitatges	23	30	20
Oficines	4	32	93
Comercial	4	32	93
Equipaments	10	32	31
Centres esportius	31	53	58
Hotels	43	55	82

Per a l'obtenció d'aquests ratis, es va realitzar una taula on s'agrupaven diferents valors d'aquests, procedents de diversos estudis que ENERGIA LOCAL ha realitzat. Posteriorment, es va fer una elecció i es van proposar els valors a AEB. Finalment AEB va escollir la millor solució per caracteritzar les demandes energètiques amb la seva experiència

**FIGURA 38.**  
DEMANDES DE POTÈNCIA SEGONS TIPOLOGIA D'EDIFICI (W/m<sup>2</sup>) - RATIS

Habitatges	10	70	100
Oficines	1	80	117
Comercial	1	80	117
Equipaments	12	59	49
Centres esportius	22	75	79
Hotels	14	86	94

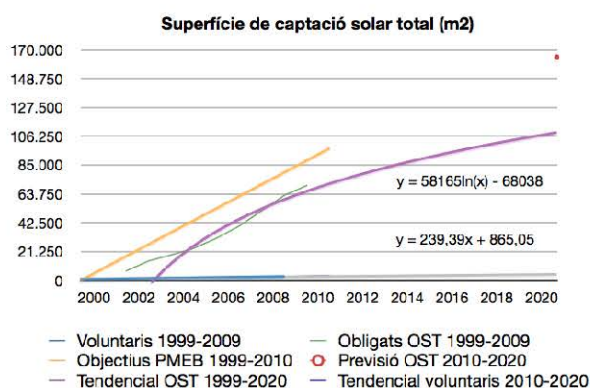
## 2.2 ENERGIA SOLAR TÈRMICA

### Escenari tendencial

A partir de l'històric de l'energia solar tèrmica proporcionat per AEB, s'ha fet una previsió temporal de l'evolució d'aquesta tecnologia dins l'àmbit municipal, mitjançant una regressió de tipus logarítmica. D'aquesta manera, es pot comparar la tendència actual amb el potencial calculat dins l'escenari normatiu. Aquest potencial contempla tant la previsió d'obra nova construcció com la previsió d'edificis rehabilitats a la ciutat de Barcelona. L'evolució es mesura en superfície de la placa solar instal·lada.

Adicionalment, s'ha previst l'evolució d'aquelles instal·lacions dutes a terme voluntàriament, ja que no entren dins el marc regulatiu de la normativa existent. A continuació es mostren els resultats obtinguts.

**FIGURA 39.**  
SUPERFÍCIE DE CAPTACIÓ SOLAR TOTAL TENDENCIAL



## Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

Amb l'objectiu d'establir el sostre del potencial de l'energia solar tèrmica a ciutat de Barcelona s'ha seguit la següent metodologia.

- En primer lloc s'ha caracteritzat la superfície de sostre construïda de la previsió futura d'actuacions urbanístiques proporcionada per AEB segons les tipologies definides amb anterioritat (nous habitatges, oficines...). Aquest procediment s'ha repetit per estimar la superfície de sostre rehabilitat segons tipologia.
- Un cop definits els edificis tipus s'ha obtingut la superfície total de terrat disponible. A continuació s'ha aplicat un factor reductor del 70% sobre el terrat total que respon a la disponibilitat d'aquest per la col·locació de plaques ja que es contempla la presència d'obstacles com ara antenes o xemeneies, la

complexitat geomètrica o la manca de radiació solar degut a ombres permanents.

- Es procedeix a calcular la superfície de terrat ocupada pels captadors, tenint en compte una inclinació de 45 graus respecte el pla horitzontal (òptima per la producció d'ACS) i una separació entre plaques atenent el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis (RITE, ITE 10.1).

S'ha considerat la possibilitat d'orientar totes les plaques al sud (0° azimuth) absorbint així el màxim radiació solar. El valor d'aquesta s'ha obtingut de l'Atlas de Radiació Solar de Catalunya. Aplicant la superfície útil d'absorció i el rendiment de tres models diferents de captadors s'ha calculat l'energia tèrmica aprofitable per al consum d'ACS. Els resultats obtinguts són els següents.

FIGURA 40.  
POTENCIAL TECNOLÒGIC DE SOLAR TÈRMICA

Nova construcció	950.706	313.717	246.991
Rehabilitació	296.568	97.862	77.047
Total	1.247.275,0	411.579	324.039

## Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

Després d'haver analitzat la inversió d'una instal·lació solar tèrmica per ACS s'ha constatat que el seu període de retorn considerant l'estalvi respecte el gas natural excedeix els 10 anys. S'ha pres, doncs, com potencial econòmic normatiu, únicament aquell exigít per la normativa en vigor.

Limitarem el potencial trobat a l'obligat per la normativa. L'OST de Barcelona contempla una cobertura d'ACS d'entre el 60 i el 70 per cent de la demanda total, en funció de la tipologia i el volum d'aigua calenta demandat per l'edifici estudiat.

En relació al manteniment de les instal·lacions, s'ha considerat un control rutinari cada sis mesos com a mesura de prevenció contra la degradació dels elements que componen la instal·lació i l'acumulació de brutícia en els mòduls solars. Els resultats obtinguts són els següents.

FIGURA 41.  
POTENCIAL ECONÒMIC I NORMATIU DE SOLAR TÈRMICA

Nova construcció	201.169	66.382	52.263
Rehabilitació	85.476	28.206	22.207
Total	286.645	94.588	74.470

A més a més, si tenim en compte el potencial voluntari, cal sumar aquest potencial al total. Segons l'evolució dels últims anys, s'ha estimat un potencial voluntari de: 4.517 m<sup>2</sup> plaques instal·lades que ocuparien uns 13.689 m<sup>2</sup> de

teulada i generarien al voltant de 3.557 MWh/a. Finalment, la taula de resultats considerant aquest potencial quedaria de la següent manera:

**FIGURA 42.**  
POTENCIAL TOTAL DE SOLAR TÈRMICA AMB EL POTENCIAL VOLUNTARI

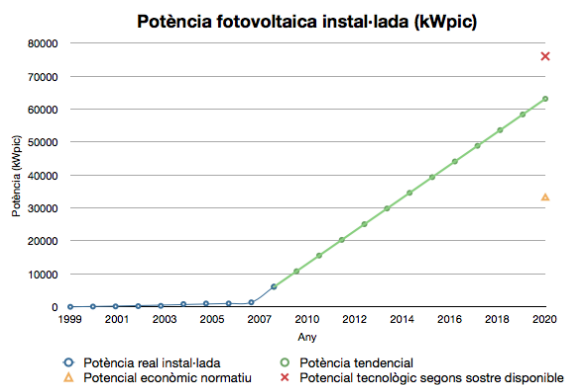
Nova construcció	201.169	66.382	52.263
Rehabilitació	85.476	28.206	22.207
<b>Voluntari</b>	<b>13.689</b>	<b>4.517</b>	<b>3.557</b>
<b>Total</b>	<b>300.334</b>	<b>99.106</b>	<b>78.027</b>

## 2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

### Escenari tendencial

A partir de l'històric de potència fotovoltaica instal·lada a la ciutat de Barcelona proporcionat per AEB s'ha comprovat un gran creixement entre l'any 2007-2008. Atès que en el Registre d'Instal·lacions de producció en Règim Especial (RIPRE) de l'any 2009 hi figuren 4,9 MWp i sabem que existeixen 11 MW més tramitats i en projecte, podem preveure un fort creixement d'aquesta tecnologia. La nova OST serà un fort impuls perquè això sigui possible.

**FIGURA 43.**  
POTÈNCIA FOTOVOLTAICA INSTAL·LADA (kWp)



### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

Per estimar el potencial de generació elèctrica mitjançant plantes solars fotovoltaïques s'han seguit els mateixos passos que amb l'energia solar tèrmica alhora d'estimar la superfície de terrat disponible.

Amb la finalitat d'absorbir la màxima radiació solar s'ha triat un angle d'inclinació de les plaques de 35° respecte la horitzontal amb una orientació sud (0° azimuth). Els rendiments considerats són els següents:

- Rendiment elèctric del mòdul: 13-14% (segons el model).
- Rendiment de l'inversor: 93%
- Rendiment per brutícia: 98%
- Rendiment per temperatura: 90%
- Rendiment del cablejat: 99%
- Rendiment per ombres: 99%

Coneguda la radiació, la superfície d'absorció instal·lable, els rendiments i la potència pic de cada model, s'ha calculat el potencial d'electricitat generable segons les previsions d'obra en el període 2010-2020.

**FIGURA 44.**  
**POTENCIAL TECNOLÒGIC DE SOLAR FOTOVOLTAICA**

Nova construcció	950.706	313.717	41,1	55.430
Rehabilitació	296.569	97.569	12,8	17.297
Total	1.247.275	411.580	53,9	72.720

### Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

Malgrat presentar un payback inferior a 10 anys, s'ha considerat únicament el potencial exigít per la normativa, corresponent a 7 Wp/m<sup>2</sup> (const.) en

funció de la superfície construïda i la tipologia de l'edifici considerat. S'ha prioritzat la solar tèrmica per a la cobertura d'ACS en aquells edificis on la ordenança també ho obliga, emprant la superfície restant disponible per les plaques fotovoltaïques.

**FIGURA 45.**  
**POTENCIAL ECONÒMIC I NORMATIU DE SOLAR FOTOVOLTAICA**

Nova construcció	200.206	66.065	9,2	12.453
Rehabilitació	30.132	9.943	1,4	1.874
Total	230.338	76.008	10,6	14.327

## 2.4 ENERGIA MINIEÒLICA

### Escenari tendencial

Pel que fa a la ciutat de Barcelona no hi ha tendència d'energia minieòlica ja que no s'ha realitzat cap projecte d'aquesta tecnologia amb èxit. Si mirem més enllà, per exemple a nivell estatal, podem trobar alguns exemples d'instal·lacions de minieòlica però en casos molt específics com s'ha comentat anteriorment. Cal dir que, en part, això és provocat pel fet de no comptar amb una legislació específica que faci factible la inversió en aquests projectes.

### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

La limitació d'aquesta tecnologia torna a ser els m<sup>2</sup> de teulada disponible. Així doncs s'ha partit d'aquest nombre i, mitjançant el radi d'actuació d'un aerogenerador, s'ha calculat el nombre màxim d'aerogeneradors que es podrien instal·lar. El valor d'aquest radi d'actuació s'ha calculat amb un programa d'una web Danesa experta en l'energia eòlica. A continuació es mostren els resultats.

**FIGURA 46.**  
**POTENCIAL TECNOLÒGIC DE MINIEÒLICA**

Nova construcció	950.706	201	3.783
Rehabilitació	296.569	201	1.180
Total	1.247.275	-	4.963

**FIGURA 47.**  
COMPARATIVA DEL POTENCIAL TECNOLÒGIC DE CINQUE MODELS DIFERENTS D'AEROGENERADORS



S'han utilitzat 5 models diferents d'aerogeneradors amb potències compreses entre 1.5 kW i 7.5 kW i s'ha calculat l'energia i la potència generada per aquests.

Cal dir que a l'hora d'escollir quin és el potencial de màxims s'ha considerat la implantació del model que més energia genera ( el model de 7,5 kW que proporciona 51.350 MWh/a). Aquest model proporcionaria més energia per unitat d'inversió, la qual cosa vol dir que si hi hagués una normativa adequada per regular aquesta tecnologia aquest model seria el més viable.

Aquests valors s'han obtingut mitjançant les freqüències dels vents de diferents anys. Amb la probabilitat dels vents i les fitxes tècniques dels aerogeneradors, on es proporciona la potència

generada per cada velocitat de vent, s'ha obtingut la potència generada per aerogenerador. Amb el nombre d'aerogeneradors disponibles s'ha obtingut el valor total de potència i energia generada (aquesta última considerant 8760 hores de funcionament a l'any).

A continuació es mostra una taula exemple (aerogenerador de 5 kW) del càlcul esmentat on es pot apreciar el recull de mostres de diferents velocitats al llarg de 4 anys i el valor final de potència proporcionada per aquest aerogenerador.

**FIGURA 48.**  
COMPARATIVA DEL POTENCIAL TECNOLÒGIC DE CINQUE MODELS DIFERENTS D'AEROGENERADORS

<1	6	9	4	5	24	1,2	0	0
<2	48	71	27	43	189	9,1	0	0
<3	91	160	63	77	391	18,7	250	46,9
<4	99	187	67	122	475	22,8	550	125,2
<5	80	177	54	60	371	17,8	780	138,7
<6	140	77	39	55	311	14,9	1.350	201,3
<7	43	33	38	42	156	7,5	1.800	134,6
<8	31	13	13	20	77	3,7	2.100	77,5
<9	8	8	4	6	26	1,2	2.700	33,7
<10	6	8	5	8	27	1,3	3.400	44,0
<11	5	7	5	6	23	1,1	4.400	48,5
<12	4	5	4	3	16	0,8	5.000	38,4
Total	561	755	323	447	2086	100,0		



**Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions**

Com ja s'ha comentat anteriorment, no hi ha un marc normatiu per la regulació de la petita eòdica de manera que econòmicament tot el potencial que hi ha no és viable. Així doncs, s'ha considerat que només un 3% de tot el potencial es realitzarà, consegüentment, l'energia proporcionada per

aquesta tecnologia queda restringida als valors de la taula següent.

Tal i com s'ha fet en l'estudi de potencial de màxims, s'ha calculat aquest nou potencial segons la implantació de cinc models diferents. També s'ha pres com a potencial econòmic i normatiu final el proporcionat pel model de 7,5 kW de 1.541 MWh/a per les raons esmentades anteriorment.

**FIGURA 49. COMPARATIVA DEL POTENCIAL ECONÒMIC I NORMATIU DE CINCO MODELS DIFERENTS D'AEROGENERADORS**

	1	2	3	4	5
	<b>Nova construcció</b>				
Energia generada (MWh/a)	179	209	663	883	1.174
Potència generada (kW)	20	24	76	101	134
	<b>Rehabilitació</b>				
Energia generada (MWh/a)	56	65	207	276	366
Potència generada (kW)	7	7	24	31	42
	<b>Total</b>				
Energia generada (MWh/a)	234	274	870	1.159	1.541
Potència generada (kW)	27	31	99	132	176

**2.5 ENERGIA DE LA BIOMASSA**

**Escenari tendencial**

A la ciutat de Barcelona no hi ha instal·lacions de biomassa per produir energia tèrmica, i és per això que l'escenari tendencial, en principi, és mantenir aquesta situació.

de rebuig social al trànsit de camions de transport de biomassa i altres aspectes socials.

**Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions**

A l'hora de calcular l'escenari de màxims és necessari conèixer la disponibilitat de biomassa a Barcelona. Segons dades de Boscat es generen al voltant de 10.000 tones anuals de fusta (que es pot convertir en estella a peu de bosc) a les zones del Baix Llobregat, Collserola, el Vallès i dels entorns de Montserrat. Tots aquests indrets es troben a menys de 50 km de Barcelona. Aquesta dada és coherent amb la condició abans comentada que el punt d'origen estigui a una distància raonable del punt de consum, per tal d'aconseguir a efectes pràctics estalvis reals d'energia primària.

**Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions**

S'ha considerat que només una vuitena part del potencial tecnològic serà factible en projectes reals, ja que en general la economia d'aquest tipus de projectes a la ciutat de Barcelona (substitució de gas natural) no és excessivament atractiva.

Després de considerar els factors esmentats, el potencial realitzable de biomassa és el següent:

- Biomassa valoritzada: 375 tones/any
- Energia tèrmica: 1.100 MWh/any
- Cobertura: Es podrien cobrir les necessitats de calor (ACS i calefacció) de tres escoles tipus (2.800 m²) i tres centres esportius (3.000 m²).

De tota la biomassa disponible s'ha suposat que un 30 % es podria valoritzar en projectes factibles tècnicament. Això és degut a que no tots els edificis tindrien espai suficient per col·locar una sitja de uns 3.000 l de capacitat per emmagatzemar la biomassa i la caldera corresponent. També cal contemplar la possibilitat

L'àmbit d'aplicació de les calderes de biomassa per produir energia tèrmica més adient són els equipaments d'alta demanda d'energia, com ara escoles, centres esportius, centres geriàtrics...

## 2.6 APROFITAMENT DEL FREÀTIC

### Escenari tendencial

Tal i com es comenta en la secció *6 estat de la tecnologia*, la manca de normativa fa realment difícil saber la tendència seguida durant els darrers anys, i per tant gairebé impossible predir amb una certa fiabilitat l'evolució d'aquesta tècnica durant els pròxims anys. Es calcula que s'han instal·lat centenars de kW durant els darrers 30 anys, però no existeix un número exacte. En funció d'instal·lacions, principalment en habitatges i hotels, el sector estima una potència total instal·lada a Espanya entre 60 i 80 MW.

Si a nivell estatal resulta molt complicat fer una predicció de creixement, encara ho és més a nivell municipal, en aquest cas per Barcelona. Actualment està en funcionament la instal·lació del Campus de la Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra, però actualment està tenint problemes administratius ja que s'ha encarregat realitzar un estudi d'impacte ambiental per comprovar que realment no afecta negativament l'entorn. Resulta difícil que el freàtic s'aprofiti per climatització ja que les finalitats energètiques es troben al final de la llista de prioritats de l'aprofitament del freàtic. Els usos com ara el rec de parcs i jardins es consoliden com a manera d'aprofitament de les aigües freàtiques a Barcelona.

### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

Per calcular l'escenari de màxims que ofereix aquesta tecnologia cal conèixer quin és el sostre d'aigua freàtica que es pot extreure anualment del subsòl de Barcelona (11 hm<sup>3</sup>/any) (Ajuntament de Barcelona, 2009), així com la temperatura a la que es troba l'aigua, la qual es manté gairebé constant al llarg de tot l'any (al voltant de 19°C) (López, 2009). El salt tèrmic acostuma a ser d'uns 4°C aproximadament, per tant la temperatura de retorn al subsòl en mode de funcionament de calefacció és de 15°C i de 23°C quan el cicle funciona en mode de refrigeració. Amb totes aquestes dades s'estima que:

- ▣ Es podria extreure un màxim de 102 GWh/any d'energia tèrmica del freàtic
- ▣ Caldria disposar d'uns 42 pous d'extracció i uns altres 42 d'injecció per poder disposar aquesta energia.

A partir de les dades de superfície de nova edificació i rehabilitació i els ratis de demanda d'aigua calenta sanitària (ACS), de calefacció i de refrigeració es poden calcular les necessitats

d'aportació de calor (calefacció i ACS) o d'extracció (refrigeració). Atès que el recurs és finit, en principi es destina als edificis de nova construcció, ja que es poden adaptar més fàcilment als requeriments constructius (excavació de pous, xarxa de retorn de l'aigua al subsòl, etc) que no pas els edificis en rehabilitació.

Edificis de nova edificació:

- ▣ Energia tèrmica: 22.798 MWh/any
- ▣ Energia frigorífica: 18.074 MWh/any

Aquest potencial tecnològic s'ha considerat que només s'implantaria en edificis de nova construcció (i no a edificis rehabilitats) ja que al ser bastant petit s'ha agrupat tot en aquesta tipologia d'edificis. Així doncs, s'ha considerat que, pel que fa aquesta tecnologia, el potencial de rehabilitació és nul.

### Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

Tot i que l'economia és força favorable (PBT al voltant de 5 anys), degut a l'absència de marc normatiu i a les dificultats existents per realitzar una instal·lació d'aquestes característiques s'ha aplicat un factor reductiu del 3%. El cabal d'extracció es redueix a 330.000 m<sup>3</sup>/any, pel qual només calen un pou d'extracció i un d'injecció. Com s'ha comentat anteriorment es destina tot el recurs disponible als edificis de nova construcció.

Actualment existeixen diverses restriccions geogràfiques per a la instal·lació d'un sistema de climatització per freàtic. A la zona de la Marina del Prat Vermell l'aigua és molt salina, de l'ordre de 7.000-8.000 µS. A Vallbona resulta impossible degut a la planta d'osmosi inversa que està situada en aquella zona propietat d'Aigües de Barcelona, la qual utilitza tota l'aigua del subsòl disponible. Parcs i Jardins de Barcelona disposa d'una concessió d'aigua freàtica de 800.000 m<sup>3</sup> a la zona del Besòs, d'aquests entre 200.000 i 300.000 m<sup>3</sup> estan destinats a la zona de la Ronda de Dalt. Per tant la zona a on resulta més viable instal·lar climatització per freàtic és la de la Sagrera.

Edificis de nova edificació:

- ▣ Energia tèrmica: 542 MWh/any
- ▣ Energia frigorífica: 684 MWh/any

## 2.7 ENERGIA GEOTÈRMICA

### Escenari tendencial

L'evolució de l'energia geotèrmica de baixa entalpia a Europa durant els darrers anys ha tingut una tendència molt a l'alça. L'any 1997 es van pronosticar 5.000 MWt de potència instal·lada per l'any 2010, actualment hi ha gairebé 15.000 MWt instal·lats, el que significa que quasi s'han triplicat les prediccions. Aquesta tecnologia gaudeix d'un moment d'expansió total degut a que el públic comença a conèixer aquesta energia neta, renovable i econòmica (Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (Geoplat), 2010).

A Espanya la situació de l'energia geotèrmica per climatització és molt similar a la del freàtic. L'absència de normativa provoca també la de registre d'instal·lacions, per tant és impossible conèixer l'evolució que ha tingut durant els darrers anys amb total seguretat. Diversos estudis indicaven una potència instal·lada de 15 MWt a finals de 2009, amb un número d'instal·lacions al voltant de 850. També s'estima que la potència mitjana instal·lada és de 12 kWt (Plataforma Tecnològica Espanyola de Geotermia (Geoplat), 2010).

La previsió a Espanya per l'any 2020 basada en l'experiència d'altres països a on aquesta tecnologia està molt avançada indica que la potència instal·lada seria de 1.000 MWt, per tant un creixement anual del 50% durant els pròxims deu anys. Aquesta tendència és aplicable a Barcelona, tot i les dificultats abans esmentades en la secció *Estat de la tecnologia, Geotèrmica, Aspectes condicionants*.

### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

A l'hora de calcular l'escenari de màxims es parteix de les dades de superfície de nova construcció i de rehabilitació proporcionades per Barcelona Regional (BR) i els ratis de demanda de calor i fred, aquestes dades serveixen per estimar la potència total que s'hauria d'instal·lar de bomba de calor geotèrmica i el número de pous que caldria perforar.

Es realitzen varies estimacions segons diversos criteris, com ara el de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) o segons la potència específica d'extracció depenent del tipus de sòl. Finalment el que s'ha utilitzat per estimar el número de pous ha sigut la relació entre la superfície a climatitzar i la longitud de bescanvi de col·lector geotèrmic. Aquesta relació es troba compresa entre 0,8 i 1,2 per la zona de Barcelona i rodalies, aquest valor és el resultat de diversos estudis del subsòl realitzats amb anterioritat, també anomenats *Thermal Response Test (TRT)* (Vinyals, 2010). S'ha suposat un factor de càrrega típic de 25 % Els resultats són els següents per edificis de nova construcció:

▣ Potència instal·lada:	550 MWt
▣ Energia tèrmica:	274.620 MWh/any
▣ Energia frigorífica:	164.772 MWh/any
▣ Número de pous de 100 m:	37.000

Per edificis rehabilitats:

▣ Potència instal·lada:	180 MWt
▣ Energia tèrmica:	90.140 MWh/any
▣ Energia frigorífica:	54.083 MWh/any
▣ Número de pous de 100 m:	11.600

### Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

Després d'estudiar la viabilitat de realitzar instal·lacions de bomba de calor geotèrmica a Barcelona s'ha estimat que només el 10 % del total es viable, degut a les dificultats abans esmentades. Els resultats són els següents per edificis de nova construcció:

▣ Potència instal·lada:	55 MWt
▣ Energia tèrmica:	27.461 MWh/any
▣ Energia frigorífica:	16.477 MWh/any
▣ Número de pous de 100 m:	3700

Per edificis rehabilitats:

▣ Potència instal·lada:	18 MWt
▣ Energia tèrmica:	9.014 MWh/any
▣ Energia frigorífica:	5.408 MWh/any
▣ Número de pous de 100 m:	1160

## 2.8 COGENERACIÓ I MICROCOGENERACIÓ

### Escenari tendencial

Actualment hi ha un total de 27.7 MW de potència de cogeneració instal·lada a la ciutat de Barcelona, que es corresponen amb grans centres consumidors d'energia com són els hospitals i el sector industrial. En els propers anys només es preveu la instal·lació de 10 MW addicionals que cobririen les demandes de fred i calor de l'Hospital del Mar i el seu entorn (Hotel Ars...).

D'altra banda, la microcogeneració no té una forta presència a la ciutat. La prova és que actualment només hi ha 230 kW de potència instal·lada (2008-2009). La tendència en aquest cas situaria el potencial al voltant dels 2 MW instal·lats l'any 2020.

### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

S'ha calculat el potencial de cogeneració mitjançant un software propi que permet estimar amb precisió l'aportació horària de la microcogeneració per cada tipologia i segons la superfície construïda de l'edifici analitzat.

D'aquesta manera es possible estimar tant la cobertura energètica com el rendiment elèctric equivalent i el percentatge d'estalvi d'energia primària (segons Directiva 2004/8/EC). Seguint la

metodologia, s'han pres mesures per superfícies construïdes compreses entre 1.000 i 10.000 m<sup>2</sup> i potències instal·lades que oscil·len entre els 5,5 kW i els 125 kW per a cada tipologia.

Aquest valor s'han calculat per totes les combinacions proposades en el full de càlcul de comparativa de tecnologies (trigeneració, calefacció i ACS...).

### Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

Es considera que un 5 % del potencial de la millor solució per a cada tecnologia es durà a terme.

### Potencial en edificis existents

S'ha afegit aquest punt en aquesta tecnologia degut a que, així com en la resta de tecnologies no es dona o si més no és menyspreable, la cogeneració està comprovat que s'implanta en edificis existents.

Aquest potencial s'ha estimat mitjançant dades de projectes reals que ENERGIA LOCAL té constància que es duran a terme en els propers anys i amb l'experiència en el sector.

S'ha de tenir en compte que s'ha tirat a la baixa per no contemplar més potencial que el que realment hi haurà, de manera que aquests valors seran superats en l'horitzó 2020.

FIGURA 50.  
POTENCIAL TECNOLÒGIC DE MICROCOGENERACIÓ



FIGURA 51.  
POTENCIAL ECONÒMIC I NORMATIU DE MICROCOGENERACIÓ



FIGURA 52.  
POTENCIAL DE COGENERACIÓ EN EDIFICIS EXISTENTS



## 2.8 SISTEMES URBANS DE GENERACIÓ I DISTRIBUCIÓ DE FRED I CALOR (DISTRICT HEATING AND COOLING)

### Escenari tendencial

El futur més proper pel que a xarxes de *District Heating and Cooling* representa està lligat a les evolucions de les empreses actualment responsables de les dues instal·lacions situades a Barcelona, Districlima i Dalkia.

Districlima té previst doblar la potència contractada de calor en un període d'onze anys (2009-2020). Un comportament similar està previst pels consums de calor, amb el qual es pretén arribar a donar servei a 2,4 km<sup>2</sup> d'edificis. Pel que fa a la potència contractada de fred, està pronosticat un creixement més accentuat, al voltant del 126 % durant el mateix període, tot i que el consum que es preveu de fred és una més moderat, amb un rang d'aplicació de 660.000 m<sup>2</sup>.

Per la seva banda, Dalkia té previst iniciar la seva activitat l'any 2011 i realitzar un creixement progressiu important per tal d'arribar al màxim de clients. Està previst que aquesta xarxa de DHC doni servei a 65.700 m<sup>2</sup> a partir de 2011 i que aquest valor vagi augmentant fins arribar a 853.876 m<sup>2</sup> l'any 2020, incloent-hi diversos clients com ara comerços, oficines o edificis residencials.

### Potencial tecnològic en noves edificacions i rehabilitacions

Per tal de determinar el potencial tecnològic d'aquesta tecnologia només és tenen en consideració els edificis de nova construcció. La raó per la qual s'han exclòs els edificis de rehabilitació és perquè simplement no existeix la infraestructura que ho faci possible.

Les zones que s'han estudiat són: Marina del Prat Vermell, el 22@, Vallbona i La Sagrera, sumant un total de 4.908.500 m<sup>2</sup> d'edificis de nova construcció. El resultat obtingut és el següent:

▣ Demanda total de fred:	277.981 MWh/any
▣ Demanda total de calor:	186.242 MWh/any

### Potencial econòmic i normatiu en noves edificacions i rehabilitacions

La connexió a una xarxa de DHC en general és atractiva pels clients, ja que representa un estalvi d'inversió de l'ordre del 5-10% inferior a una solució convencional, un preu marginal de l'energia comparable amb el de mercat i avantatges intangibles com ara estalvi d'espais, estalvi en operacions de manteniment d'instal·lacions, etc.

No obstant, en nombroses ocasions la xarxa de DHC arriba tard als edificis previstos en els plans d'urbanisme, així, si un edifici es posa en marxa abans que la xarxa arribi al seu entorn, és molt improbable que es pugui connectar. Considerant tots aquests factors i el fet que encara hi ha promotors poc favorables a l'externalització de serveis energètics, així com el poc interès dels gestors de les xarxes a connectar a clients residencials, s'ha estimat un rati de connexió sobre el potencial tecnològic d'un 20 %. Els resultats són els següents:

▣ Demanda total de fred:	55.596 MWh/any
▣ Demanda total de calor:	37.248 MWh/any

## 2.10 TURBOEXPANDERS DE GAS NATURAL

### Escenari tendencial

Ja que no existeix cap instal·lació de turboexpanders de gas natural a la ciutat de Barcelona, l'escenari previsible pel futur pròxim és que no s'executi cap nova instal·lació d'aquest tipus.

### Potencial tecnològic

A Barcelona existeixen, connectades a la xarxa de 36 bar, tres Estacions de Regulació i Mesura (ERM) localitzades a Cerdanyola, Sant Adrià i Zona Franca. A continuació es mostra una taula amb els valors dels punts de funcionament d'aquestes estacions:

**FIGURA 53.**  
**CARACTERITZACIÓ DE LES ESTACIONS DE REGULACIÓ I MESURA DE GAS NATURAL A LA XARXA DE 36 BARG A BARCELONA**

Cerdanyola	70.000	30,99	11,75
Sant Adrià	100.000	31,89	10,73
Zona Franca	240.000	33,14	11,08

Aquests cabals nominals són els cabals que es donen a l'hivern, però l'estiu només circula un 10% d'aquest ja que el consum de Gas Natural és redueix notablement. Mitjançant la tecnologia turboexpanders el que es proposa és instal·lar una turbina en paral·lel a les vàlvules d'expansió, així s'aprofitaria aquest caiguda de pressió per generar electricitat.

Des d'aquestes estacions s'envia el gas natural a diverses subestacions localitzades arreu de la ciutat de Barcelona on la pressió, en la majoria d'aquestes, es torna a reduir passant de 9,7 a 3

barg de mitja. De totes les subestacions existents a la ciutat (com s'ha esmentat al punt 11.4 són 21 subestacions) a continuació es mostra una taula on es recullen les dades de funcionament de les que més potencial energètic, dit d'una altra manera de les subestacions on realment seria viable, tecnològicament i fins i tot econòmicament (PBT de 10 anys), la implantació de turboexpanders. Concretament, s'han considerat les subestacions que disposaven d'un cabal nominal superior a 10.000 Nm<sup>3</sup>/h ja que aquestes proporcionaven potències raonables.

**FIGURA 54.**  
**CARACTERITZACIÓ DE LES ESTACIONS DE REGULACIÓ I MESURA MÉS SIGNIFICATIVES CONNECTADES A LA XARXA DE 36 BARG A BARCELONA**

Magòria	30.000	9,33	3,4
Travessera de les Cort	15.000	9,24	3,4
Sant Andreu	20.000	9,96	3,0
Horta	22.000	9,64	3,4
Montbau	15.000	9,52	1,8
Sant Gervasi	30.000	9,15	3,5
Sarrià	30.000	9,34	3,0
Icària	36.000	9,79	3,7
Sant Martí	30.000	10,21	3,55

Finalment, amb aquestes dades de funcionament i considerant un rendiment isoentròpic del 70% s'ha calculat el potencial de màxims tant de les estacions com de les subestacions. A l'hora de realitzar el càlcul s'ha considerat que el cabal que

circula és el cabal mínim que circula al llarg d'un any (10% del cabal nominal). Així doncs, en la taula següent es recullen els valors de potència i energia generades tant per les 3 ERM's com per les 9 subestacions més significatives.

**FIGURA 55.**  
**CARACTERITZACIÓ DE LES ESTACIONS DE REGULACIÓ I MESURA MÉS SIGNIFICATIVES CONNECTADES A LA XARXA DE 36 BARG A BARCELONA**

Estacions connectades a la xarxa de 36 barg (3 estacions)	780	6.831
Estacions connectades a la xarxa de 16 barg (9 estacions)	436	3.817
TOTAL	1.216	10.648

## Potencial econòmic i normatiu

La manca de legislació específica i per tant d'una tarifa en règim especial, combinada amb un PBT d'instal·lacions de petita potència no gaire atractius fa que es consideri un potencial econòmic i normatiu de **465 kW** que generaria uns **4.070 MWh/a** d'electricitat.

Aquest potencial s'ha obtingut considerant que s'implantaria el turboexpander a l'estació que més potència proporciona (ERM Zona Franca) ja que seria més rentable que la implantació d'aquesta tecnologia en qualsevol de les altres estacions. Aquesta instal·lació podria ser de demostració per veure el funcionament d'aquesta tecnologia.

## 2.11 TAULA RESUM DE POTENCIAL TECNOLÒGICS O "DE MÀXIMS"

A continuació es mostra l'escenari de màxims de cada tecnologia, el potencial econòmic i normatiu, el potencial voluntari de la tecnologia Solar tèrmica, així com el potencial d'edificacions existents de la cogeneració i per últim la col·lisió de tecnologies.

Al llarg del punt "Estudis de potencials particularitzats" d'aquest document s'ha exposat el mètode d'obtenció dels valors del potencial de màxims i econòmic/normatiu de cada tecnologia, així com el potencial voluntari de la Solar tèrmica i el de cogeneració en edificis existents.

Seria necessària una breu justificació dels valors obtinguts en la col·lisió de tecnologies. Les úniques tecnologies que podrien col·lisionar en l'escenari plantejat serien la solar tèrmica, la solar fotovoltaica i la minieòlica, degut a que totes precisen l'ocupació de m<sup>2</sup> de teulada. Però si ens fixem no tenim cap problema a l'hora de col·lisionar-les, ja que no arribem, ni de bon tros, a ocupar tota la teulada disponible (950.706 m<sup>2</sup> en nova construcció, 296.569 m<sup>2</sup> en rehabilitació, és a dir, 1.247.275 m<sup>2</sup> en total). Si sumem tots el m<sup>2</sup> ocupat per aquestes tres tecnologies en la col·lisió obtenim un valor de l'ordre de 568.090 m<sup>2</sup> (443.585 m<sup>2</sup> corresponents a nova construcció, on s'inclouen els 13.689 m<sup>2</sup> voluntaris i 124.505 m<sup>2</sup> corresponents a rehabilitació).

S'ha vist que no hi ha cap problema de col·lisió de tecnologies, així que s'ha considerat el potencial econòmic/normatiu com el potencial obtingut al col·lisionar les tecnologies amb excepció de la solar tèrmica i la cogeneració. Al calcular el potencial de col·lisió d'aquestes tecnologies s'ha sumat el potencial voluntari (en el cas de la solar tèrmica) i el potencial en edificis existents (en el cas de potencial de cogeneració) al econòmic/normatiu obtenint-se així un valor lleugerament superior per aquestes tecnologies.

Per últim aclarir que el que manca per cobrir les demandes energètiques de calor i fred en aquest escenari s'ha suplert amb calderes i bombes de calor, respectivament. Tota la demanda elèctrica l'ha cobert la xarxa elèctrica de manera que la generació elèctrica s'ha considerat injectada íntegrament a la xarxa, tal com permet el RD661 de generació d'electricitat en Règim Especial i tal com és pràctica habitual avui en dia en noves instal·lacions.

**FIGURA 56.**  
**RESUM DE L'ESCENARI DE MÀXIMS DELS EDIFICIS DE REHABILITACIÓ I DE NOVA EDIFICACIÓ**

Solar tèrmica	416.097	94.588	4.517	99.106	m <sup>2</sup> plaques
	1.260.964	286.645	13.689	300.334	m <sup>2</sup> teulada
	327.596	74.470	3.557	78.027	MWh/a
Solar fotovoltaica	411.580	76.008	-	76.008	m <sup>2</sup> plaques
	1.247.275	230.338	-	230.338	m <sup>2</sup> teulada
	54	11	-	11	MWp
Biomassa	72.721	14.327	-	14.327	MWh/a
	3.000	300	-	300	t/a
	8.900	1.100	-	1.100	MWh/a
Minieòlica	4.963	149	-	149	n <sup>o</sup> aerogeneradors
	1.247.275	37.418	-	37.418	m <sup>2</sup> teulada
	17	521	-	521	Pinst (kW)
Expanders	51.349	1.540	-	1.540	MWh/a
	1.216	465	-	465	Potència (kW)
	10.652	4.073	-	4.073	MWh/a elèctrics
Freàtic	11	330.000	-	330.000	m <sup>3</sup> /any d'extracció
	84	2	-	2	n <sup>o</sup> pous
	18.074	542	-	542	MWh/a Fred
Geotèrmia	22.789	684	-	684	MWh/a Calor
	48600	4860	-	4860	n <sup>o</sup> pous
	218850	21885	-	21885	MWh/a fred
Cogeneració	364.760	36476	-	36476	MWh/a calor
	64.994	2.550	14.000	16.550	Potència (kW)
	100.875	3.889	23.100	26.989	MWh/a fred
DHC Dalkia	236.481	10.354	29.400	39.754	MWh/a calor
	285.214	10.761	70.000	80.761	MWh/a elèctrics
	1.819.457	363.891	-	363.891	m <sup>2</sup> climatitzats
DHC Districlima	61.956	12.391	-	12.391	MWh/a (fred)
	65.522	13.104	-	13.104	MWh/a (calor)
	3.089.042	617.808	-	617.808	m <sup>2</sup> climatitzats
DHC Districlima	216.025	43.205	-	43.205	MWh/a (fred)
	120.721	24.144	-	24.144	MWh/a (calor)



## 3. ESCENARI DE COL·LISIÓ DE TECNOLOGIES. BALANÇ ENERGÈTIC GLOBAL

### 3.1 ESCENARI DE COL·LISIÓ DE TECNOLOGIES

A continuació s'exposa la situació base i l'escenari de col·lisions de tecnologies global, tenint en compte tant els edificis de nova construcció com els de rehabilitació, així com la tecnologia dels expanders (la qual no va associada a cap edifici) i la cogeneració en edificis existents.

El mètode seguit pels següents dos diagrames és el mateix. En primer lloc hi ha l'esquema corresponent a la situació proposada inicialment per l'AEB, amb les emissions de diòxid de carboni generades per cada ús (calor, fred o electricitat) i la suma total d'aquestes. En segon lloc, es mostra el resultat de col·lisionar les diverses tecnologies estudiades. Com s'ha esmentat en el punt anterior, totes les tecnologies entren en l'escenari de col·lisions de manera que aquest s'ha obtingut a base d'addicionar les energies aportades per cada tecnologia.

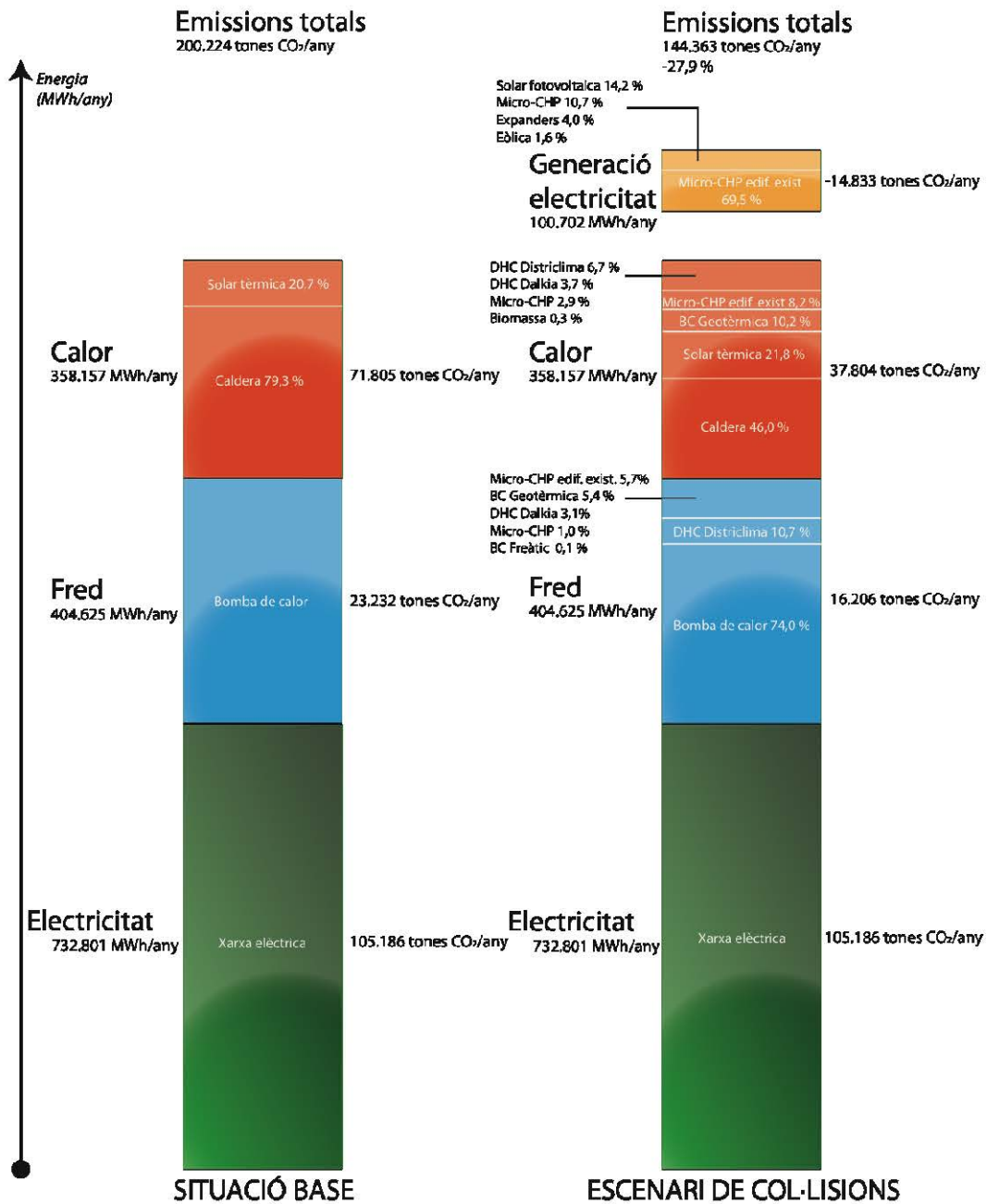
Per confeccionar l'escenari final s'ha partit del potencial obtingut en la col·lisió de tecnologies, atès que aquests potencials són molt restrictius. Com s'ha comprovat en el punt anterior, totes les tecnologies han entrat a formar part de la situació final en la seva capacitat màxima. La part que queda per cobrir és on s'han utilitzat les tecnologies de la situació base.

La generació d'energia elèctrica mitjançant energies renovables i mesures d'eficiència energètica és molt important per tal de reduir emissions de CO<sub>2</sub>. Mitjançant la solució trobada es generen **100.702 MWh anuals**, el que significa un **1,33%** del consum elèctric total de Barcelona l'any 2008. Pel que fa la generació elèctrica en règim especial implicaria un augment d'un **30%** respecte a l'any 2008 (336.000 MWh/a).

És important remarcar la reducció d'emissions de diòxid de carboni que la nova situació implica vers la inicial, al voltant d'un **28%** menys, gràcies a la introducció d'energies renovables i d'eficiència energètica.

## Escenari global

FIGURA 57.  
SITUACIÓ BASE I ESCENARI DE COL·LISIONS GLOBAL



### Escenari corresponent a edificis de nova construcció

**FIGURA 58.**  
SITUACIÓ BASE I ESCENARI DE COL·LISIONS DELS EDIFICIS DE NOVA CONSTRUCCIÓ

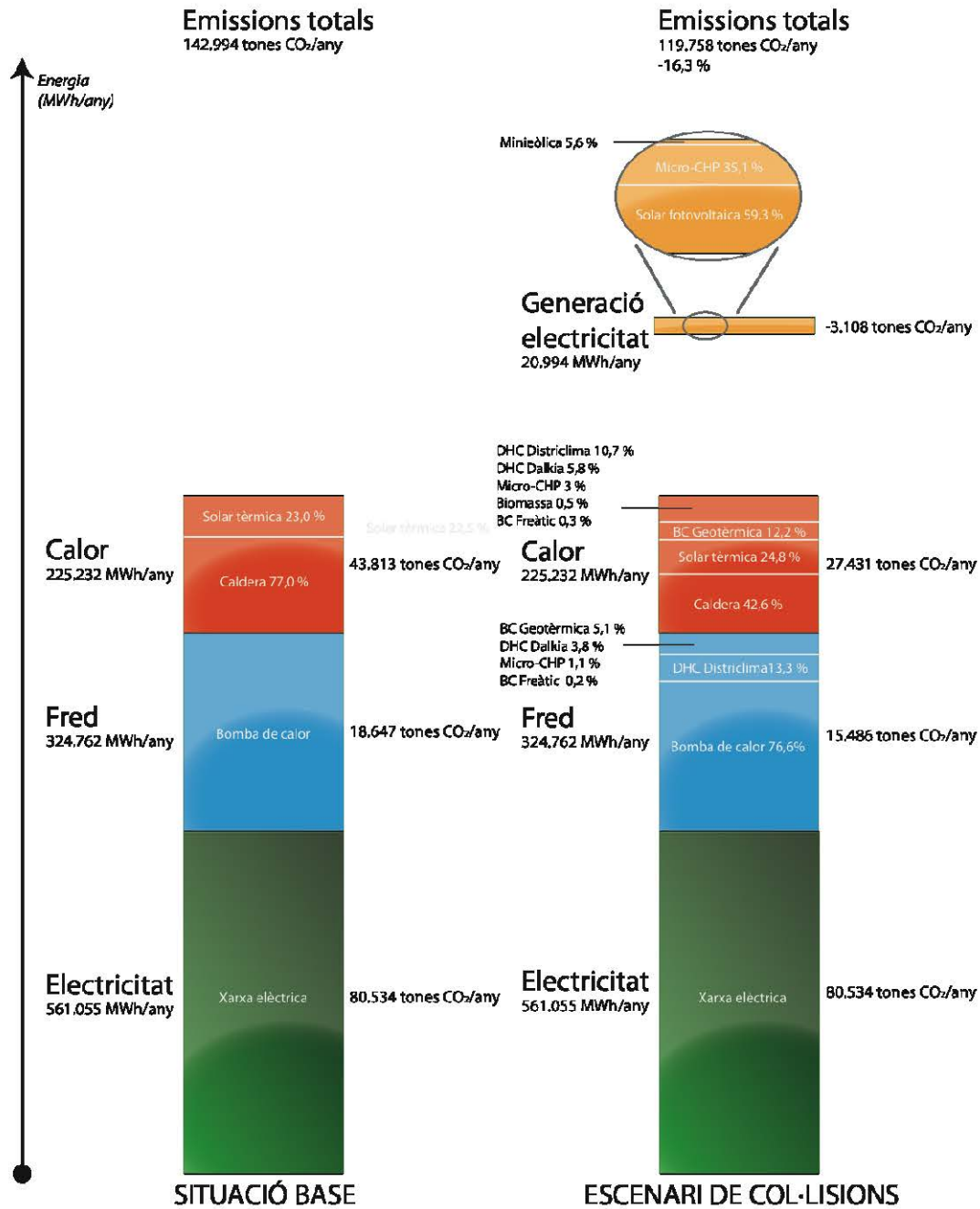
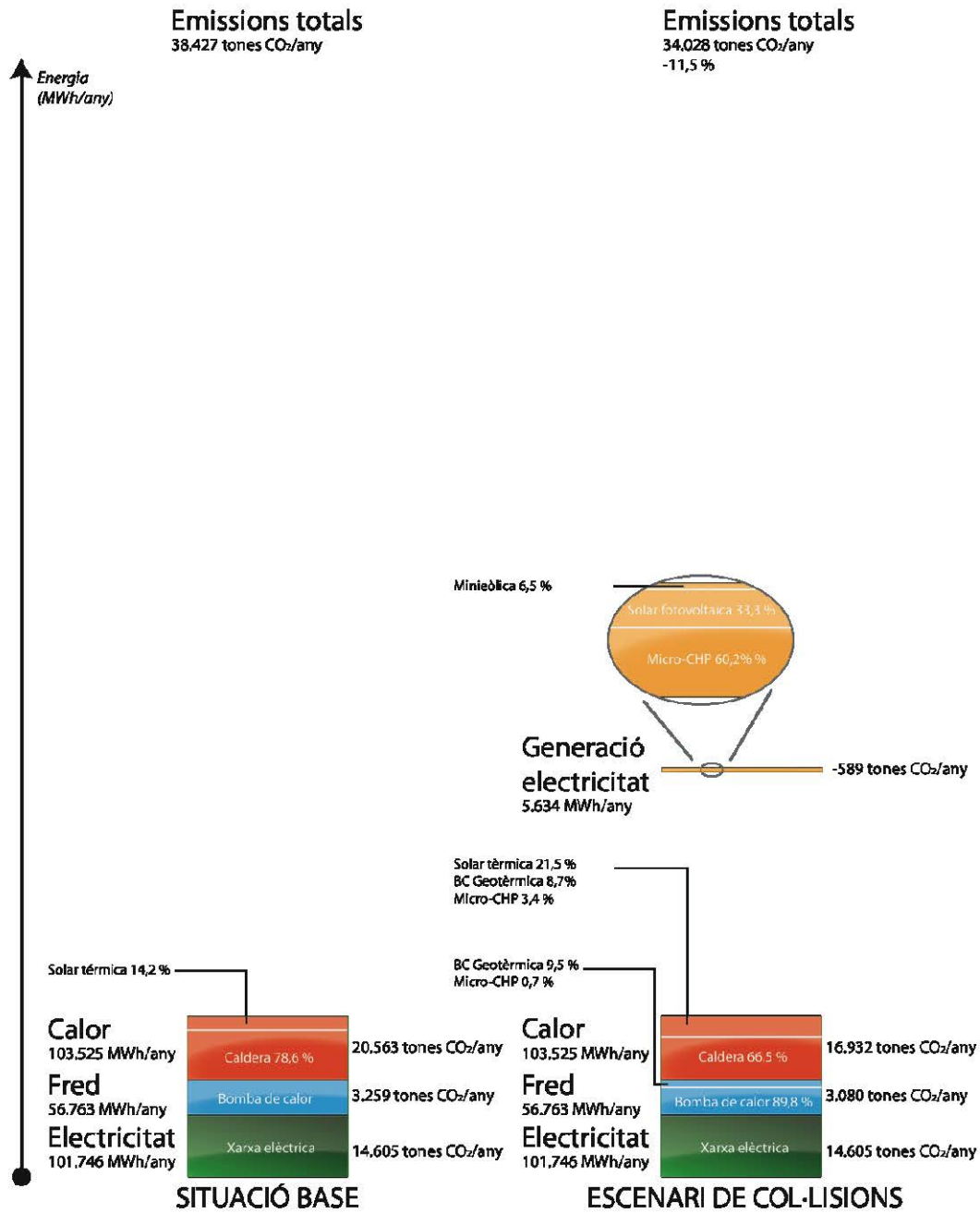


Diagrama desglossat pels edificis de nova construcció tant de la situació base com de l'escenari de col·lisions.

## Escenari corresponent als edificis rehabilitats

FIGURA 59.  
SITUACIÓ BASE I ESCENARI DE COL·LISIONS DELS EDIFICIS DE REHABILITACIÓ



### 3.2 RESUM

S'ha determinat que el potencial d'estalvi d'energia primària (gas natural) que s'ha experimentat en la implementació d'energies renovables i eficiència energètica a la ciutat de Barcelona és d'un 47,5% respecte la solució base. S'ha comptabilitzat sobre la demanda d'energia tèrmica l'estalvi és del 43,2%.

El desenvolupament d'aquest pla de desplegament de tecnologies comportarà:

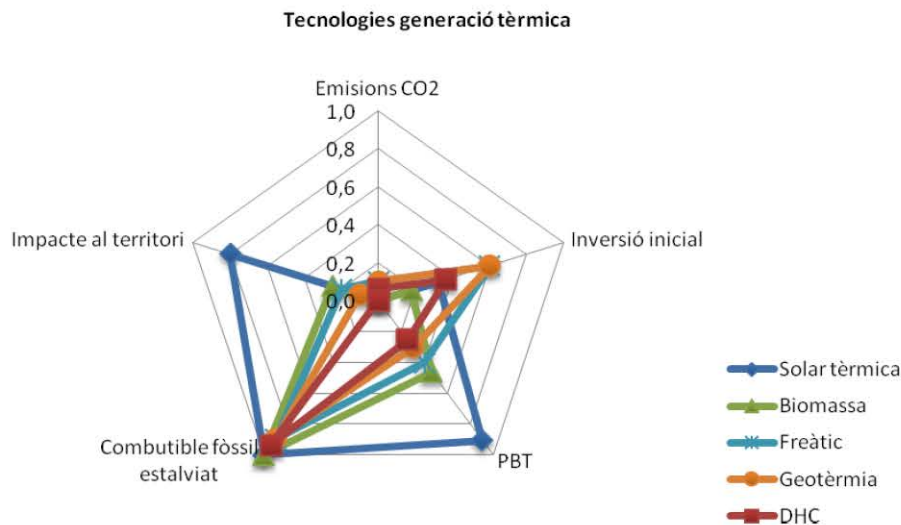
- ▣ La generació de 100.702 MWh/a d'electricitat distribuïda a la ciutat, en forma sobretot de microgeneració i d'energia fotovoltaica.
- ▣ Atendre la demanda de calor de noves edificacions i rehabilitacions prioritàriament amb energia solar tèrmica, district heating, microgeneració i bombes de calor amb geotèrmia.
- ▣ Atendre la demanda de fred de noves edificacions i rehabilitacions prioritàriament amb district heating, microgeneració i bombes de calor amb geotèrmia.

D'altra banda, s'han realitzat uns gràfics multivariables on es mostra el comportament de cada tecnologia segons 5 paràmetres diferents: les emissions de CO<sub>2</sub>, la inversió inicial, el període de retorn (PBT), el combustible fòssil estalviat i, per últim, l'impacte visual que generen a la ciutat però sobretot al usuari consumidor.

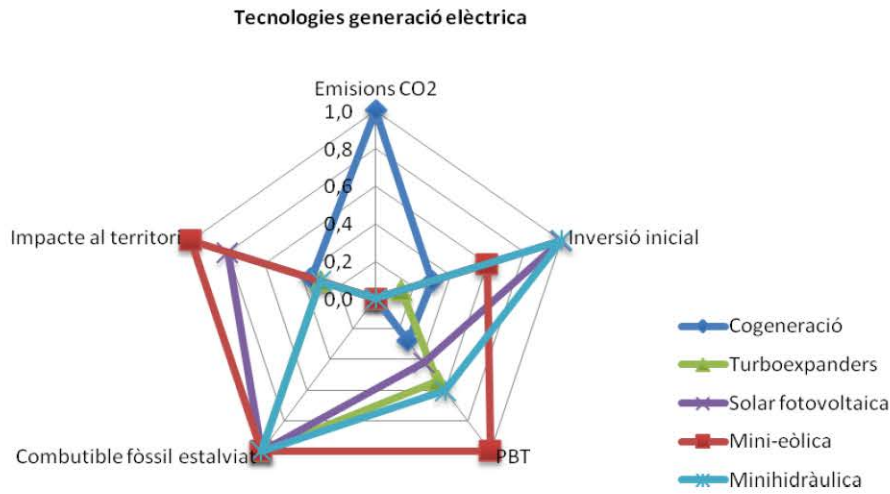
La valoració que es fa d'aquests paràmetres és: des de l'1, que representa el valor més gran en quant als paràmetres numèrics (pel paràmetre "impacte el territori", el que més impacte provoca), fins a 0 que representa el valor més petit en quant als paràmetres numèrics (pel paràmetre "impacte del territori", el que menys impacte provoca).

S'ha diferenciat segons si la tecnologia, principalment, generava energia tèrmica o energia elèctrica ja que molts d'aquests paràmetres no són comparables sense fer aquesta diferenciació. Cal remarcar per entendre els resultats que, tot i aquesta diferenciació, el càlcul del tant per ú relatiu al valor màxim s'ha realitzat amb les 10 tecnologies estudiades. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

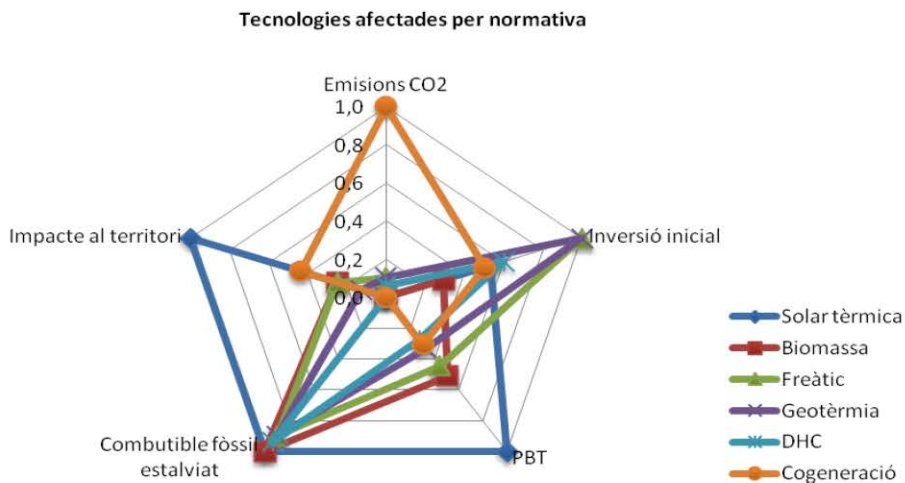
**FIGURA 60.**  
**COMPORTAMENT DE LES TECNOLOGIES DE GENERACIÓ TÈRMICA SEGONS DIFERENTS PARÀMETRES**



**FIGURA 61.**  
**COMPORTEMENT DE LES TECNOLOGIES DE GENERACIÓ ELÈCTRICA SEGONS DIFERENTS PARÀMETRES**



**FIGURA 62.**  
**COMPORTEMENT DE LES TECNOLOGIES AFECTADES PER NORMATIVA SEGONS DIFERENTS PARÀMETRES**



### 3.3 CONCLUSIONS

Cal reforçar des de l'Ajuntament de Barcelona el suport al desplegament de tecnologies netes, per tal de mantenir i ampliar el compromís municipal amb el medi ambient.

L'estudi realitzat, que incloent l'eina de software desenvolupada per tal de comparar l'impacte de diferents tecnologies en el sector terciari, demostra que l'anàlisi i la planificació energètica són elements clau en l'establiment de criteris mediambientals consistents i robustos, i per tant també en la consecució dels objectius perseguits per Barcelona de minimització de l'impacte de l'activitat humana en el nostre entorn.

## 4. ANNEX: SOFTWARE DE COL·LISIÓ DE TECNOLOGIES

### 4.1 INTRODUCCIÓ

La realització d'aquest software ens permet comparar l'estalvi de CO<sub>2</sub> emès i el cost d'aquest estalvi respecte una solució base segons diferents solucions de generació d'energia per cobrir les necessitats d'ACS, calefacció, fred i electricitat.

Tot això diferenciat segons sis tipologies d'edificis i amb una única variable d'entrada: m<sup>2</sup> construïts. Així doncs, si es volgués saber quina seria la millor solució energètica per la construcció d'un edifici concret, per exemple una escola, només s'hauria d'introduir els m<sup>2</sup> construïts, per exemple 3.000 m<sup>2</sup>, i amb el software obtenim quina és la solució més barata per tona de CO<sub>2</sub> evitada (en l'exemple, la millor solució segons aquest criteri és la connexió a Districlima: 814 €/t CO<sub>2</sub> evitada) i la millor solució en termes d'estalvi de CO<sub>2</sub> (en l'exemple, la biomassa és la solució energètica que més estalvi proporciona: 42%).

Les sis tipologies d'edificis estudiades són: edificis plurifamiliars de nova construcció, edificis plurifamiliars rehabilitats, hotels, oficines, poliesportius i escoles (aquests últims s'han considerat únicament de nova construcció).

Cal dir que no totes les tipologies d'edificis disposen de les mateixes possibles solucions energètiques ja que segons la tipologia hi haurà solucions que no seran coherents per diferents motius. Per exemple, la solució de biomassa per edificis d'oficines no s'ha contemplat per la problemàtica de logística que va associada amb aquesta tecnologia. Una instal·lació d'aquest tipus és més pròpia d'un hotel o un poliesportiu ja que són edificis on hi ha un únic consumidor d'energia (propietari de l'hotel o de la instal·lació esportiva). En la taula següent es mostra per cada tipologia d'edifici les diferents solucions que s'han considerat per la cobertura d'ACS (A), de calefacció (C) i de fred (F).

Totes aquestes solucions es comparen amb una solució base que es suposa serà la solució convencional futura. Així doncs, totes les tipologies d'edificis es comparen amb la mateixa solució base. La llegenda de les sigles utilitzades en la descripció de les diferents solucions és la següent:

- ST: Solar tèrmica
- μCHP: Microcogeneració
- CA: Caldera estàndard
- HP<sub>geo</sub>: Bomba de calor geotèrmica
- DHC-Dist.: District Heating&Cooling de Districlima
- DHC-Dalk.: District Heating&Cooling de Dalkia
- HP: Bomba de calor
- Abs.Sol.: Absorció Solar
- BIOM: Biomassa

**FIGURA 63.**  
**SOLUCIONS ESTUDIADAES SEGONS TIPOLOGIA D'EDIFICI**

A	A: ST+ $\mu$ CHP+CA	A: $\mu$ CHP+CA	A: $\mu$ CHP+CA	A: DHC-Dist.	A: DHC-Dist.	A: BIOM
	D: $\mu$ CHP+CA	C: CA	C: $\mu$ CHP+CA	C: DHC-Dist.	C: DHC-Dist.	C: BIOM
	F: HP	F: HP	F: HP	F: DHC-Dist.	F: DHC-Dist.	F: -
B	A: ST+ $\mu$ CHP+CA	A: $\mu$ CHP+CA	A: ST+CA+HP	A: DHC-Dalk.	A: DHC-Dalk.	A: DHC-Dist.
	C: $\mu$ CHP+CA	C: $\mu$ CHP+CA	C: CA	C: DHC-Dalk.	C: DHC-Dalk.	C: DHC-Dist.
	F: $\mu$ CHP+HP	F: HP	F: HP	F: DHC-Dalk.	F: DHC-Dalk.	F: -
C	A: ST+HP		A: ST+CA	A: ST+DHC-Dist	A: $\mu$ CHP+CA	A: DHC-Dalk.
	C: HP		C: CA	C: DHC-Dist.	C: $\mu$ CHP+CA	C: DHC-Dalk.
	F: HP		F: Abs.Sol.+HP	F: DHC-Dist.	F: $\mu$ CHP+HP	F: -
D	A: ST+HP <sub>geo</sub>		A: $\mu$ CHP+CA	A: ST+DHC-Dalk.	A: ST+DHC-Dist.	A: ST+DHC-Dist.
	C: HP <sub>geo</sub>		C: $\mu$ CHP+CA	C: DHC-Dalk.	C: DHC-Dist.	C: DHC-Dist.
	F: HP <sub>geo</sub>		F: $\mu$ CHP+HP	F: DHC-Dalk.	F: DHC-Dist.	F: -
E	A: $\mu$ CHP+CA		A: DHC-Dist.	A: $\mu$ CHP+CA	A: ST+DHC-Dalk.	A: ST+DHC-Dalk.
	C: CA		C: DHC-Dist.	C: $\mu$ CHP+CA	C: DHC-Dalk.	C: DHC-Dalk.
	F: HP		F: DHC-Dist.	F: $\mu$ CHP+HP	F: DHC-Dalk.	F: -
F	A: $\mu$ CHP+CA		A: DHC-Dalk.		A: BIOM	
	C: $\mu$ CHP+CA		C: DHC-Dalk.		C: BIOM	
	F: HP		F: DHC-Dalk.		F: HP	
G	A: $\mu$ CHP+CA		A: ST+DHC-Dist.			
	C: $\mu$ CHP+CA		C: DHC-Dist.			
	F: $\mu$ CHP+HP		F: DHC-Dist.			
H	A: HP <sub>geo</sub>		A: ST+DHC-Dalk.			
	C: HP <sub>geo</sub>		C: DHC-Dalk.			
	F: HP <sub>geo</sub>		F: DHC-Dalk.			
I	A: DHC-Dist.		A: BIOM			
	C: DHC-Dist.		C: BIOM			
	F: DHC-Dist.		F: HP			
J	A: DHC-Dalk.					
	C: DHC-Dalk.					
	F: DHC-Dalk.					
K	A: ST+DHC-Dist					
	C: DHC-Dist.					
	F: DHC-Dist.					
L	A: ST+DHC-Dalk.					
	C: DHC-Dalk.					
	F: DHC-Dalk.					
M	A: DHC-Dist.					
	C: DHC-Dist.					
	F: HP					
N	A: DHC-Dalk.					
	C: DHC-Dalk.					
	F: HP					



## 4.2 BASES DE CàLCUL

Les dades de partida per a la realització del software han estat:

- Primerament, s'ha partit dels ratis de demandes energètiques per m<sup>2</sup> construït diferenciades segons tipologia d'edifici i segons tipus de demanda.
- Posteriorment, s'ha considerat el fet que la demanda energètica d'un edifici no té perquè ser el consum final que aquest realitza. Així doncs, s'han utilitzat uns percentatges del consum que es realitza respecte la demanda que es requereix.
- Un cop caracteritzat el consum energètic, només ens cal tindre els rendiments, pèrdues i altres paràmetres que caracteritzen les màquines o sistemes que produeixen aquesta

energia. Tanmateix, també és necessari tabular els ratis de les emissions de CO<sub>2</sub> segons el combustible o sistema utilitzat per l'obtenció de certa energia.

FIGURA 64.  
CONSUMS RESPECTE DEMANDA


31%	100%	100%	100%
31%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%

FIGURA 65.  
RENDIMENTS, COP'S I RATIS D'EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

Rendiment caldera standard segons CT (+3*logPn, on Pn és potència instal·lada)	80%
Rendiment caldera Biomassa	88%
COP bomba de calor standard per FRED	250%
COP bomba de calor standard per CALOR	280%
COP bomba de calor GEOTERMIA per FRED	400%
COP bomba de calor GEOTERMIA per CALEFACCIÓ	500%
COP bomba de calor GEOTERMIA per ACS	300%
COP màquina d'absorció simple efecte BrLi	65%
COP termoelèctric	100%
Rati emissió CO <sub>2</sub> mix generació elèctrica de Catalunya (g/kWh)	143,54
Rati emissió CO <sub>2</sub> gas natural (g/kWhPCI)	202,14
Rati emissió CO <sub>2</sub> per generació elèctrica (g/kWh) segons 2004/8/EC (BT)	447,71
Rati consum elèctric bombeig calor en DHC (MWhe/MWhcalor)	0,02
Rati consum elèctric bombeig fred en DHC (MWhe/MWhfred)	0,08
Pèrdues xarxa de calor (en termes d'energia consumida/generada)	5,5%
Pèrdues xarxa de fred (en termes d'energia consumida/generada)	3,0%
Consum de gas Dalkia per calor (kWhPCI/kWh a usuaris) - projecció 2020	1,18
Consum d'electricitat Dalkia per fred (kWh/kWhf a usuaris) - projecció 2020	0,00
Rati emissió CO <sub>2</sub> calor Dalkia (g/kWh)	237,67
Rati emissió CO <sub>2</sub> fred Dalkia (g/kWhf)	0,00
Consum de gas Districlima (kWhPCI/kWh a usuaris) - projecció 2020	0,12
Consum d'electricitat Districlima (kWh/kWhf a usuaris) - projecció 2020	0,15
Rati emissió CO <sub>2</sub> calor Districlima (g/kWh)	23,49
Rati emissió CO <sub>2</sub> fred Districlima (g/kWhf)	34,53
(**) Rati m <sup>2</sup> placa solar/m <sup>2</sup> teulada	0,33
Rati Energia generada per m <sup>2</sup> teulada (kWh/(a·m <sup>2</sup> teulada))	259,8
Rati recuperació de calor en HP per ACS (kWh ACS/kWh FRED)	0,20


- Per l'estimació de les inversions realitzades segons la solució emprada s'han utilitzat uns ratís en la majoria dels casos €/kW instal·lat però en algunes tecnologies es precisaven més dades.
- Per últim, per la implantació de la tecnologia solar tèrmica s'ha seguit el criteri més restrictiu dels tres que es mostren a continuació segons el consum d'ACS:

**FIGURA 66.**  
RATIS D'INVERSIÓ SEGONS TECNOLOGIA EMPRADA



Solar tèrmica (Vitosol-3.000)	970,44	-	2,32	2474	-	-	-
Caldera habitatge	-	1500	-	-	0,01	-	-
Bomba de calor habitatge (HP)	-	1000	-	-	0,02	-	-
Bomba de calor habitatge (HP geotèrmia)	-	2000	-	-	0,02	-	-
Districlima	-	-	-	-	-	63,08	190,99
Dalkia	-	-	-	-	-	63,08	190,99
Biomassa	-	-	-	-	-	300	-
Caldera Industrial	-	-	-	-	-	92	-
Bomba de calor (HP) industrial	-	-	-	-	-	-	61
Màquina d'absorció	-	-	-	-	-	-	700

**FIGURA 67.**  
COBERTURA D'ACS OBLIGADA SEGONS DIFERENTS NORMATIVES



50-5000	60%	50%	30%
5001 - 6000	60%	55%	30%
6001-7000	60%	65%	35%
7001-8000	60%	65%	45%
8001-9000	60%	65%	52%
9001-10000	60%	70%	55%
10001-12500	65%	70%	65%
>12500	70%	70%	70%

## 4.3 FUNCIONAMENT DEL SOFTWARE

Partint de les bases de càlcul esmentades en el punt anterior i amb el valor de metres quadrats hem arribat a programar un Software que ens permet escollir la millor solució segons els nostres interessos (econòmics, mediambientals,...).

El procediment seguit per arribar a les conclusions finals és el següent:

- En primer lloc, mitjançant els ratis de la taula 17 hem caracteritzat la demanda i potència instal·lada i amb els percentatges de la taula 18 hem arribat als valors de consums reals de l'edifici.
- Amb aquests valors i saben la solució energètica que es vol implementar s'han calculat les produccions d'energia realitzades a l'edifici.
- En el cas d'existir la cogeneració en la solució energètica, el següent pas ha estat caracteritzar-la amb paràmetres com: potència instal·lada, hores de funcionament, rendiment elèctric, cobertures energètiques, rendiment elèctric equivalent i el PES.
- Un cop definits tots aquests valors, s'ha passat a caracteritzar els consums d'energia primària i electricitat associats a els consums energètics.
- Amb els ratis de la taula 20 s'ha calculat la inversió que suposa cada solució energètica segons els mecanismes utilitzats per cobrir les diferents demandes.
- Per concloure, amb les diferents energies primàries i electricitat total consumida s'ha realitzat el càlcul de les emissions de CO<sub>2</sub> associades a cada solució. Aquest càlcul s'ha realitzat mitjançant els ratis de la taula 19.
- Finalment, amb els kg CO<sub>2</sub> emesos s'ha calculat quin és l'estalvi de totes les solucions estudiades respecte la solució base. Paral·lelament, amb la inversió i l'estalvi de kg de CO<sub>2</sub> s'ha calculat el cost de la tona de CO<sub>2</sub> evitada.

**FIGURA 68.**  
EXEMPLE DE RESULTATS PRESENTATS EN ELS APARTATS ANTERIORS (POLIESPORTIU DE 3.000 M<sup>2</sup>)

Descripció		Solució base	SOLUCIÓ A	SOLUCIÓ B	SOLUCIÓ C	SOLUCIÓ D	SOLUCIÓ E	SOLUCIÓ F
ACS		ST + CA	DH&C (Dist.)	DH&C (Dalk.)	μCHP + CA	ST+DH&C (Dist.)	ST+DH&C (Dalk.)	BIOM
Calefacció		CA	DH&C (Dist.)	DH&C (Dalk.)	μCHP + CA	DH&C (Dist.)	DH&C (Dalk.)	BIOM
Refrigeració		HP	DH&C (Dist.)	DH&C (Dalk.)	μCHP + HP	DH&C (Dist.)	DH&C (Dalk.)	HP
<b>Consums usuaris</b>								
ACS	kWh/a	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
	l/dia	5.008	5.008	5.008	5.008	5.008	5.008	5.008
Calefacció	kWh/a	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000
Refrigeració	kWh/a	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000
Electricitat ilum. i altres	kWh/a	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000
<b>Produccions</b>								
ACS	kWh/a	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
Calefacció	kWh/a	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000	159.000
Refrigeració	kWh/a	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000	174.000
Electricitat	kWh/a	0	0	0	289.717	0	0	0
<b>Cogeneració</b>								
Potència instal·lada (kW)	kW	-	-	-	50,0	-	-	-
Hores de funcionament (h/a)	h/a	-	-	-	5.794	-	-	-
Rendiment elèctric (MG/TG)		-	-	-	33%	-	-	-
Cobertura ACS (en energia)		-	-	-	99%	-	-	-
Cobertura CALEFACCIÓ (en energia)		-	-	-	66%	-	-	-
Cobertura FRED (en energia)		-	-	-	87%	-	-	-
REE		-	-	-	60%	-	-	-
PES (segons programa cogeneració)		-	-	-	6%	-	-	-
<b>Consums</b>								
Electricitat per ACS	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0
Electricitat per calefacció	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0
Electricitat per fred	kWh/a	69.600	26.818	0	9.273	26.818	0	69.600
Electricitat ilum. i altres	kWh/a	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000	183.000
Gas Natural per ACS	kWh/a (PCI)	42.276	10.808	109.347	747	4.323	43.739	0
Gas Natural per calefacció	kWh/a (PCI)	180.694	18.479	186.949	61.928	18.479	186.949	0
Gas Natural per μCHP	kWh/a (PCI)	0	0	0	873.033	0	0	0
Bombeig DHC	kWh/a	0	18.960	18.960	0	17.844	17.844	0
Biomassa	kWh/a (PCI)	0	0	0	0	0	0	286.364
Energia solar	kWh/a	55.800	0	0	0	55.800	55.800	0
<b>Balanc econòmic</b>								
Inversió	€	92.090	63.621	63.621	1.066.584	114.401	114.401	101.838
Cost per tona evitada	€/t CO <sub>2</sub> ev.		1.494	no hi ha estalvi	no hi ha estalvi	2.598	19.493	2.259
<b>Balanc ambiental</b>								
Emissions CO <sub>2</sub>	kg/a	81.329	38.759	88.883	87.034	37.288	75.460	36.258
Estalvi emissions			52%	-9%	-7%	54%	7%	55%

En la mateixa taula s'ha incorporat una taula resum dels resultats on es mostra quina és la

millor solució segons els dos criteris més rellevants esmentats anteriorment.

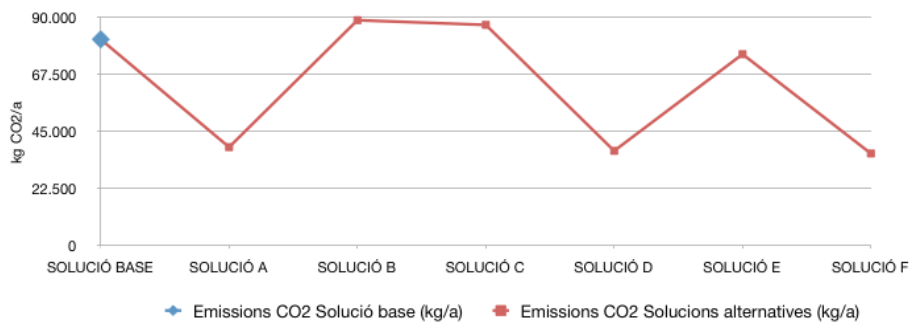
**FIGURA 69.**  
RESUM DE LES MILLORS SOLUCIONS D'UN POLIESPORTIU 3.000 M<sup>2</sup>

SOLUCIÓ A	1.494	DH&C (Dist.)	DH&C (Dist.)	DH&C (Dist.)
SOLUCIÓ F	55%	BIOM	BIOM	HP

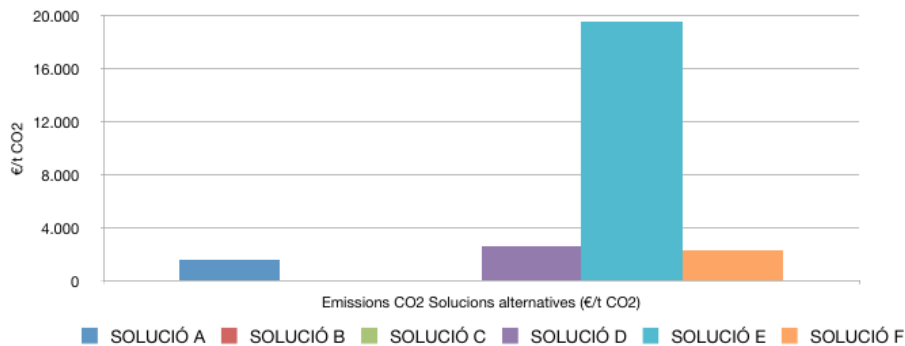
Per últim, per tenir una idea més directa del comportament de les diferents solucions pel que respecte a aquests criteris, s'han graficat les emissions de CO<sub>2</sub> i el cost de l'estalvi de CO<sub>2</sub> de

totes les solucions. A continuació es mostren les gràfiques esmentades de l'exemple exposat al llarg d'aquest punt (poliesportiu de 3.000 m<sup>2</sup>):

**FIGURA 70.**  
EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE LES DIFERENTS SOLUCIONS ENERGÈTIQUES D'UN POLIESPORTIU (3.000 M<sup>2</sup>)



**FIGURA 71.**  
COST DE L'ESTALVI DE CO<sub>2</sub> DE LES DIFERENTS SOLUCIONS ENERGÈTIQUES D'UN POLIESPORTIU (3.000 M<sup>2</sup>)



## BIBLIOGRAFIA

- ▣ Calor Natural. (2010). Retrieved 2010 10-Juny from Calor Natural: [www.calornatural.eu](http://www.calornatural.eu)
- ▣ Camean, J. F. (2009). *Metropolitan Application: Cycling CHP Technology and an Interconnection Success*. CHP Partnership; NYSERDA; VanZelm engineers.
- ▣ Campañá, T. (2009). *Aprofitament energètic de la biomassa*. Institut Català d'Energia, Barcelona.
- ▣ Comunidad de Madrid. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid.
- ▣ Cruz, I. (2009). *I+D+i en Tecnología Minieólica*. Plataforma Tecnológica REOLTEC. Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación.
- ▣ López, À. (2009). Coordinador de la unitat tècnica d'obres i manteniment de la Universitat Pompeu Fabra.
- ▣ ACOGEN. (2010). *Cogeneración en España: Energía eficiente*.
- ▣ Agència Catalana de l'Aigua. (2010). *Guia CLIMACA. Climatització d'edificis a partir de l'energia del subsòl*. Generalitat de Catalunya.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2009). *Balanç de 10 anys d'Ordenança*. Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2006). *Instalación de centrales fotovoltaicas en equipamientos municipales de la ciudad de Barcelona*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2004 йил Маг). *Minihidráulica de la Trinitat a Barcelona*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.barcelonaenergia.cat](http://www.barcelonaenergia.cat)
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2009). *Pla de millora energètica dels edificis*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2003). *Pla de Millora Energètica de Barcelona*. (A. d. Barcelona, Ed.) Barcelona, Barcelona: Imatge i Producció Editorial.
- ▣ Agenda 21 BCN. (2006). *L'aigua a Barcelona*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agroterra. (2010). *Agroterra*. Retrieved 2010 10-Juny from Agroterra: [www.agroterra.com](http://www.agroterra.com)
- ▣ Ajona, J. I. (2010 йил 20-Maig). *Asociación Solar de la Indústria Térmica*. Retrieved 2010 14-Juny from [www.asit-solar.com](http://www.asit-solar.com)
- ▣ Ajuntament de Barcelona. (2009). *Pla tècnic per a l'aprofitament dels recursos hídrics alternatius*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ ArchiExpo. (2010). *ArchiExpo*. Retrieved 2010 3-Juny from ArchiExpo: [www.archiexpo.es](http://www.archiexpo.es)
- ▣ Asociación de la Indústria Fotovoltaica. (2009). *Historia de la Energía Solar Fotovoltaica*.
- ▣ Baxi Calefacción. (2008). *Baxi Calefacción*. Retrieved 2010 11-Juny from [www.baxicalefaccion.com](http://www.baxicalefaccion.com)
- ▣ Biocarburante. (2009). *Biocarburante*. Retrieved 2010 4-Juny from Biocarburante: [www.biocarburante.com](http://www.biocarburante.com)
- ▣ Bioheat. (2007). Retrieved 2010 10-Juny from Bioheat: [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info)
- ▣ Brennan, M. A., & Gaber, M. (2009). *Geothermal Heat Pumps: A review of the technology and regulations*. Michigan.
- ▣ Dalkia. (2010). *Xarxa de Fred i Calor a l'Àrea del Barri de la Marina, Gran Via de L'Hospitalet i entorn*.
- ▣ Denis, V. (2008). *Wastewater turbinng before and after treatment: An optimal use of existing infrastructures*. MHyLab, Montcherand.
- ▣ Dijkstra, S. (2009). *Micro-CHP in Europe: The opportunities in Europe*. Delta Energy & Enviroment.
- ▣ Direct Industry. (2010). *DirectIndustry*. Retrieved 2010 4-Juny from DirectIndustry: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
- ▣ Egocheaga, J. J. (2009). *Minihidráulica*. Retrieved 2010 10-Juny from Mlnihidráulica: <http://garcia-egocheaga.com>
- ▣ Enat. (2010). *Enat*. Retrieved 2010 3-Juny from Enat: [www.nat.pt](http://www.nat.pt)
- ▣ Energia Molins. (2000). *Xarxa de calor amb biomassa a Molins de Rei*. Institut Català d'Energia.
- ▣ Espiell, J. (2010). Análisis de los consumos anuales de una vivienda en la zona del alto Pirineo.
- ▣ Euroheat & Power. (2009). *District Heating & Cooling*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.euroheat.org](http://www.euroheat.org)
- ▣ Fisicanet. (2010). *Fisicanet*. Retrieved 2010 4-Juny from Fisicanet: [www.fisicanet.com](http://www.fisicanet.com)
- ▣ Fredickson, M. P. (1996). *The life and times of Birdsill Holly*.
- ▣ Fundación Vida Sostenible. (2009). *Vida Sostenible*. Retrieved 2010 10-Juny from Vida Sostenible: [www.vidasostenible.org](http://www.vidasostenible.org)
- ▣ GE Oil & Gas. (2007). *Turboexpander-Generators*.

- ▣ Geo-Pro Design. (2009). *Geo-Pro Design*. Retrieved 2010 10-Juny from Geo-Pro Design: [www.geoprodesign.com](http://www.geoprodesign.com)
- ▣ Groundmed. (2009). *Demonstration of Ground Source Heat Pumps in Mediterranean Climate*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.groundmed.eu](http://www.groundmed.eu)
- ▣ IDAE. (2008). *IDAE*. Retrieved 2010 11-Juny from [www.idea.es](http://www.idea.es)
- ▣ Institut Català d'Energia. (2009 йил 11-Novembre). Retrieved 2010 14-Juny from [www20.gencat.cat/portal/site/icaen](http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen)
- ▣ Instiuto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *La solución de District Heating & Cooling. Un ejemplo de éxito: La Red Urbana de Barcelona*. Boletín Electrónico del IDAE.
- ▣ Krothapalli, A. (2009). *Solar Energy*. Florida State University.
- ▣ Mands, D. E., & Sanner, D. B. (2002). *Energía geotérmica a poca profundidad*. Wetzlar: UBeG.
- ▣ MicroPower Europe. (n.d.). *Microturbina d'un projecte a Madrid*. Madrid, Madrid, Espanya.
- ▣ Miguel, M. (2007). *Implantación de la energía solar fotovoltaica en Barcelona*. Ajuntament de Barcelona, ICAEN, IDAE, UAB, UPC. Barcelona: Agència d'Energia de Barcelona.
- ▣ Minguell, J. (2010 йил 10-Juny). (E. Local, Interviewer)
- ▣ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010). *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) (Borrador)*.
- ▣ Calor Natural. (2010). Retrieved 2010 10-Juny from Calor Natural: [www.calornatural.eu](http://www.calornatural.eu)
- ▣ Camean, J. F. (2009). *Metropolitan Application: Cycling CHP Technology and an Interconnection Success*. CHP Partnership; NYSERDA; VanZelm engineers.
- ▣ Campañá, T. (2009). *Aprofitament energètic de la biomassa*. Institut Català d'Energia, Barcelona.
- ▣ Comunidad de Madrid. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid.
- ▣ Cruz, I. (2009). *I+D+i en Tecnología Minieólica*. Plataforma Tecnológica REOLTEC. Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación.
- ▣ López, À. (2009). *Coordinador de la unitat tècnica d'obres i manteniment de la Universitat Pompeu Fabra*.
- ▣ ACOGEN. (2010). *Cogeneración en España: Energía eficiente*.
- ▣ Agència Catalana de l'Aigua. (2010). *Guia CLIMACA. Climatització d'edificis a partir de l'energia del subsòl*. Generalitat de Catalunya.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2009). *Balanç de 10 anys d'Ordenança*. Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2006). *Instalación de centrales fotovoltaicas en equipamientos municipales de la ciudad de Barcelona*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2004 йил Maig). *Minihidràulica de la Trinitat a Barcelona*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.barcelonaenergia.cat](http://www.barcelonaenergia.cat)
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2009). *Pla de millora energètica dels edificis*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agència d'Energia de Barcelona. (2003). *Pla de Millora Energètica de Barcelona*. (A. d. Barcelona, Ed.) Barcelona, Barcelona: Imatge i Producció Editorial.
- ▣ Agenda 21 BCN. (2006). *L'aigua a Barcelona*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ Agrotterra. (2010). *Agrotterra*. Retrieved 2010 10-Juny from Agrotterra: [www.agrotterra.com](http://www.agrotterra.com)
- ▣ Ajona, J. I. (2010 йил 20-Maig). *Asociación Solar de la Indústria Térmica*. Retrieved 2010 14-Juny from [www.asit-solar.com](http://www.asit-solar.com)
- ▣ Ajuntament de Barcelona. (2009). *Pla tècnic per a l'aprofitament dels recursos hídrics alternatius*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ▣ ArchiExpo. (2010). *ArchiExpo*. Retrieved 2010 3-Juny from ArchiExpo: [www.archiexpo.es](http://www.archiexpo.es)
- ▣ Asociación de la Indústria Fotovoltaica. (2009). *Historia de la Energía Solar Fotovoltaica*.
- ▣ Baxi Calefacción. (2008). *Baxi Calefacción*. Retrieved 2010 11-Juny from [www.baxicalefaccion.com](http://www.baxicalefaccion.com)
- ▣ Biocarburante. (2009). *Biocarburante*. Retrieved 2010 4-Juny from Biocarburante: [www.biocarburante.com](http://www.biocarburante.com)
- ▣ Bioheat. (2007). Retrieved 2010 10-Juny from Bioheat: [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info)
- ▣ Brennan, M. A., & Gaber, M. (2009). *Geothermal Heat Pumps: A review of the technology and regulations*. Michigan.
- ▣ Dalkia. (2010). *Xarxa de Fred i Calor a l'Àrea del Barri de la Marina, Gran Via de L'Hospitalet i entorn*.
- ▣ Denis, V. (2008). *Wastewater turbinning before and after treatment: An optimal use of existing infrastructures*. MHyLab, Montcherand.
- ▣ Dijkstra, S. (2009). *Micro-CHP in Europe: The opportunities in Europe*. Delta Energy & Environment.
- ▣ Direct Industry. (2010). *DirectIndustry*. Retrieved 2010 4-Juny from DirectIndustry: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
- ▣ Egocheaga, J. J. (2009). *Minihidràulica*. Retrieved 2010 10-Juny from Mlnihidràulica: <http://garcia-egocheaga.com>

- ▣ Enat. (2010). *Enat*. Retrieved 2010 3-Juny from Enat: [www.nat.pt](http://www.nat.pt)
- ▣ Energia Molins. (2000). *Xarxa de calor amb biomassa a Molins de Rei*. Institut Català d'Energia.
- ▣ Espiell, J. (2010). Análisis de los consumos anuales de una vivienda en la zona del alto Pirineo.
- ▣ Euroheat & Power. (2009). *District Heating & Cooling*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.euroheat.org](http://www.euroheat.org)
- ▣ Fisicanet. (2010). *Fisicanet*. Retrieved 2010 4-Juny from Fisicanet: [www.fisicanet.com](http://www.fisicanet.com)
- ▣ Fredrickson, M. P. (1996). *The life and times of Birdsill Holly*.
- ▣ Fundación Vida Sostenible. (2009). *Vida Sostenible*. Retrieved 2010 10-Juny from Vida Sostenible: [www.vidasostenible.org](http://www.vidasostenible.org)
- ▣ GE Oil & Gas. (2007). *Turboexpander-Generators*.
- ▣ Geo-Pro Design. (2009). *Geo-Pro Design*. Retrieved 2010 10-Juny from Geo-Pro Design: [www.geoprodesign.com](http://www.geoprodesign.com)
- ▣ Groundmed. (2009). *Demonstration of Ground Source Heat Pumps in Mediterranean Climate*. Retrieved 2010 15-Juny from [www.groundmed.eu](http://www.groundmed.eu)
- ▣ IDAE. (2008). *IDAE*. Retrieved 2010 11-Juny from [www.idea.es](http://www.idea.es)
- ▣ Institut Català d'Energia. (2009 йил 11-Novembre). Retrieved 2010 14-Juny from [www20.gencat.cat/portal/site/icaen](http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen)
- ▣ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *La solución de District Heating & Cooling. Un ejemplo de éxito: La Red Urbana de Barcelona*. Boletín Electrónico del IDAE.
- ▣ Krothapalli, A. (2009). *Solar Energy*. Florida State University.
- ▣ Mands, D. E., & Sanner, D. B. (2002). *Energía geotérmica a poca profundidad*. Wetzlar: UBeG.
- ▣ MicroPower Europe. (n.d.). *Microturbina d'un projecte a Madrid*. Madrid, Madrid, Espanya.
- ▣ Miguel, M. (2007). *Implantación de la energía solar fotovoltaica en Barcelona*. Ajuntament de Barcelona, ICAEN, IDAE, UAB, UPC. Barcelona: Agència d'Energia de Barcelona.
- ▣ Minguell, J. (2010 йил 10-Juny). (E. Local, Interviewer)
- ▣ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010). *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) (Borrador)*.
- ▣ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010). *Plan de energías renovables 2011-2020. Evaluación ambiental estratégica. Documento de inicio*. Espanya.
- ▣ MITYC, & E. L. (2009). *Registre del Règim Especial de Producció Elèctrica (REPE)*.
- ▣ Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (Geoplat). (2010). *Visión a 2030*. Espanya: Ministerio de Ciencia e Innovación.
- ▣ Prqu. (2009). *Prqu*. Retrieved 2010 10-Juny from Prqu: [www.prqu.com](http://www.prqu.com)
- ▣ Renewable Energy UK (REUK). (2009). *Clean Electricity from Natural Gas*. Retrieved 2010 16-Juny from [www.reuk.co.uk](http://www.reuk.co.uk)
- ▣ Rico, J. (2007). *Así se fabrica el futuro de la minieólica*.
- ▣ Sagarra, R., & Ruyet, D. (2006). *Experiències de climatització de districte i generació distribuïda*. Retrieved 2010 2010-Juny from [www.bcn.es](http://www.bcn.es)
- ▣ Shulz, D. V. (2007). *El Economista*. (A. Society, Producer) Retrieved 2010 11-Juny from [www.economista.es](http://www.economista.es)
- ▣ Solar Kit. (2010). *Solar-kit*. Retrieved 2010 4-Juny from Solar-kit: [www.solar-kit.com](http://www.solar-kit.com)
- ▣ Solar Next. (2008). *PV Flexibles*.
- ▣ Soliclima. (2009). *Soliclima*. Retrieved 2010 4-Juny from Soliclima: [news.soliclima.com](http://news.soliclima.com)
- ▣ Solid Ingeniería. (2009). *Solid-Ingeniería*. Retrieved 2010 4-Juny from Solid-Ingeniería: [www.solid-ingenieria.com](http://www.solid-ingenieria.com)
- ▣ (1985). *The American Society of Mechanical Engineers*.
- ▣ Torres, J. (2010). *Aerogeneradores Enair*.
- ▣ Torsolar. (2007). *Torsolar*. Retrieved 2010 3-Juny from Torsolar: [www.torsolar.es](http://www.torsolar.es)
- ▣ Vinyals, M. (2010 йил 2-Juny). (E. Local, Interviewer)
- ▣ WWF Spain. (2010). *WWF Spain*. Retrieved 2010 10-Juny from WWF Spain: [www.wwf.es](http://www.wwf.es)

