

## Capítol 7 Sistemes de bomba de calor

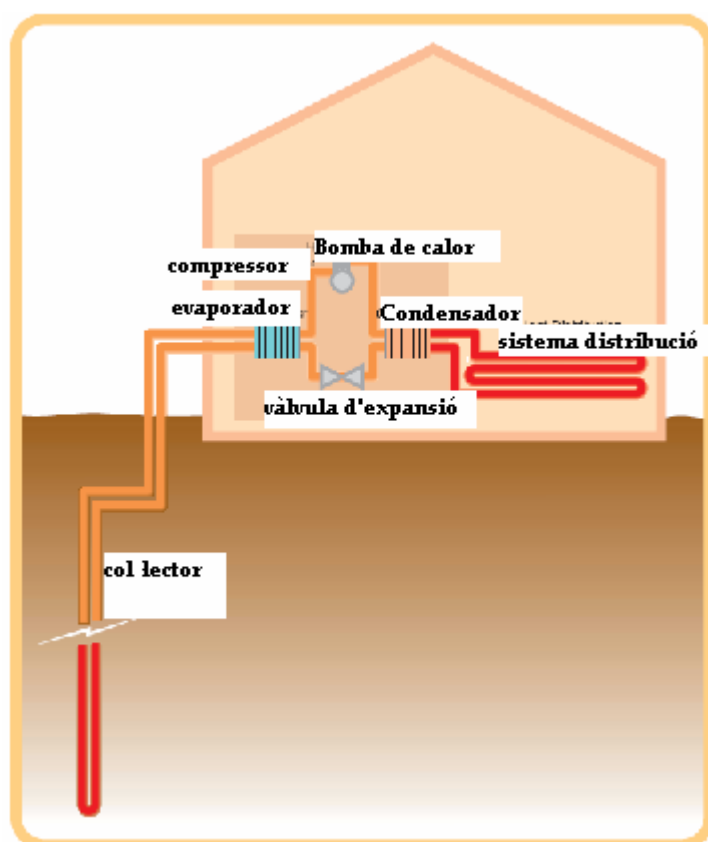
Durant els mesos d'estiu, la Terra s'escalfa i es capaç d'emmagatzemar la calor per a l'hivern degut a la seva baixa conductivitat tèrmica i a l'elevada massa tèrmica. Una bomba de calor és un sistema capaç d'extreure aquesta calor de baixa temperatura de l'aire, la terra o l'aigua i concentrar-la per proporcionar calor útil per escalfar l'espai i l'aigua. Només es necessita energia per concentrar aquesta calor, de manera que pot generar una producció de calor de fins a quatre vegades superior a l'energia aportada.

Les bombes de calor, tot i el seu nom, també poden refredar els espais a l'estiu. En aquest procés, la calor d'alta temperatura s'extreu d'un edifici i es converteix en calor de baixa temperatura que aleshores es pot difondre de nou a la terra o l'atmosfera. Per tant, un mateix sistema pot escalfar l'espai, refredar-lo i pot produir aigua calenta.

El primer sistema de bomba de calor es va instal·lar el 1862 per extreure calor d'un llac austríac. Des de llavors, la tecnologia ha madurat, tot i que encara queden possibilitats per millorar la seva alta eficiència a través de l'ús de nous dissenys de components.

Una bomba de calor comprèn dos intercanviadors de calor anomenats evaporador i condensador, un compressor, una vàlvula d'expansió i el refrigerant que és bombejat pel sistema. Per completar el sistema, convé un captador per extreure la calor de baixa temperatura de la font i un sistema de distribució per repartir i emmagatzemar la calor d'alta temperatura (Figura 7.1). La funció de cada component es descriu per ordre.

**Figura 7.1: Components d'un sistema de bomba de calor geotèrmica**



- INTERCANVIADORS:
  - evaporador
  - condensador
- COMPRESSOR
- VÀLV. D'EXPANSIÓ
- REFRIGERANT
- COL·LECTOR o CAPTADOR
- SISTEMA DE DISTRIBUCIÓ

## 7.1 El captador o col·lector

El disseny del sistema captador dependrà de la naturalesa de la font. Durant l'estiu, l'aire, la terra i l'aigua dels llacs i rius s'escalfen; aquesta calor es conserva i s'emmagatzema. A mesura que la temperatura ambient disminueix durant els mesos d'hivern, aquesta calor emmagatzemada s'emet gradualment:

- per l'aire a través de la convecció
- per l'aigua a través de la conducció
- de la terra per conducció i després per radiació des de la superfície. La terra es refreda més lentament a un o més metres de profunditat. Això contrasta amb la temperatura de l'aire que pot baixar sota zero durant una nit clara dels mesos més freds de l'hivern.

La llargada de la canonada del captador dependrà de la capacitat calorífica del sistema, de la temperatura ambient de la font i de l'índex de transmissió de calor cap al líquid del captador. La canonada es pot instal·lar horitzontalment o verticalment depenent de l'espai disponible.

A mesura que la calor s'extreu durant els mesos d'hivern, la font de calor es refreda i la terra pot quedar, fins i tot, congelada. No obstant, durant el següent estiu el Sol 'renovarà' la font de calor escalfant-la de nou de manera que la provisió de calor és 'renovable'.

Si la font és l'aire de l'ambient, la calor pot ser emesa directament a través d'un costat de l'intercanviador de calor de l'evaporador; si la font és la terra, la calor es pot transferir cap al líquid dins de la canonada del captador (aquest líquid pot ser salmorra -una barreja d'aigua i sal- o el propi refrigerant); si la font és l'aigua d'un riu, llac o, fins i tot, del mar, la calor pot circular a través de la pròpia canonada del captador o la seva calor pot ser transmesa cap al líquid de la canonada del captador.

### Activitat 7.1: Temperatures de la terra i de l'aire

#### Activitat 7.1: Temperatures de la terra i de l'aire

Les fonts d'energia renovable usen la calor del sol. En aquesta activitat compararem la diferència entre obtenir la calor directament i indirectament del sol.

#### Tasques

Troba 4 llocs adequats:

- un lloc assolellat durant tot el dia
- una ombra fora de classe
- un petit forat d'uns 0,3 metres de profunditat. Introdueix a la terra un tub curt amb un tap aïllant
- una galleda d'aigua

Usa un termòmetre per mesurar les temperatures de cada lloc en tres moments diferents del dia i anota les dades al full d'exercicis.

Explica les diferències entre les diferents lectures de les temperatures.

Quina font de calor (terra, aire o aigua) serà la més adequada durant els mesos d'hivern per ser concentrada i donar calor útil? Per què?

Quina font serà més útil per la casa de cada membre del teu grup?

#### Apunts pel professor

**Antecedents:** Aquesta activitat serveix per estudiar les diferències tèrmiques de diverses fonts d'energia renovable.

#### Objectiu:

- Identifica les característiques tèrmiques de l'aire, la terra i l'aigua quan són escalfades pel sol
- Esbrina els avantatges i inconvenients de cada font de calor quan s'usa per una bomba de calor com a dipòsit de calor
- Compara les opcions per diferents tipus de cases

**Material:** 30 cm de tub amb un tap aïllant, pala, galleda, termòmetre o termoparell  
**Paraules clau:** fonts escalfades pel sol, diferències de temperatura, aigua calenta, calefacció, tipus d'habitatge, potencial contribució a la calefacció de la llar  
**Habilitats:** Treball en grup, observació, debat, interpretació i anàlisi de dades  
**Assignatures del currículum educatiu:** naturals  
**Rang d'edat:** 7-10, 1r i 2n cicle

## 7.2 Transmissió de calor al refrigerant

El *refrigerant* és una substància que existeix en estat gasós a temperatura ambient i esdevé líquid a una temperatura inferior a 0°C, com ara d'uns -5 o -10°C.

La calor recollida de la font es transfereix al refrigerant en un dispositiu anomenat 'intercanviador de calor' per evaporació, el qual consisteix en una sèrie de plaques paral·leles. L'aire conduït o bé el líquid bombejat del col·lector passa a través d'un joc de plaques. El refrigerant, generalment en forma de gas, passa a través d'un joc adjacent de plaques. Com que la calor sempre va d'un medi més càlid a un de menys, és transferida de la font al refrigerant, que està a una temperatura inferior.

Per les bombes de calor que també refreden, el flux de calor s'invertirà a l'intercanviador amb calor que vagi del refrigerant a la font.

### Activitat 7.2: Transmissió de calor:

#### Activitat 7.2: Transmissió de calor

L'habilitat de la terra, l'aire i l'aigua per recollir i radiar calor és molt diferent i es descriu com l'habilitat per transmetre calor d'una font com el sol, que radia calor a un dipòsit que pot absorbir-la.

Aquest procés és reversible de manera que a l'hivern la pica és la font amb una calor de baixa temperatura que pot ser concentrada per una bomba de calor.

En aquesta activitat compararem la diferència entre l'habilitat dels dipòsits d'absorbir i de desprendre calor.

#### Tasques

Col·loca la capsula d'emmagatzematge de manera que la font de calor brilli a través dels costats transparents de la capsula i sobre un termòmetre col·locat al centre de la capsula i a la meitat inferior d'aquesta:

- Encén la llum i anota la temperatura per un període de 5 minuts i llavors apaga-la i anota la baixada de la temperatura
- Omple la capsula amb aigua i anota la temperatura i fes el mateix que has fet al punt 1
- Omple la capsula amb terra i repeteix la seqüència i repeteix el que has fet al punt 1

Quines característiques de l'aire, l'aigua i la terra creus que influencien la seva habilitat per captar, emmagatzemar i desprendre calor?

Analitza les teves idees pensant en aquestes característiques.

Quina font de calor creus que seria més adequada durant l'hivern i per què?

#### Apunts pel professor

**Antecedents:** Aquesta activitat serveix per estudiar l'habilitat de les fonts d'energia per transferir la calor de baixa temperatura perquè l'usin les bombes de calor.

#### Objectiu:

- Identificar les característiques tèrmiques de l'aire, la terra i l'aigua quan s'escalfen pel sol
- Comprendre els avantatges i inconvenients de cada font de calor quan s'usen com a reserva de calor per una bomba de calor

**Material:** bombeta infraroja, un termòmetre o termoparell, una capsula amb laterals transparents a uns 150 cm de distància i de 30 cm de llarg, terra i aigua suficient per omplir la capsula

**Paraules clau:** fonts escalfades pel sol, transmissió de calor entre substàncies, aigua calenta, calefacció, tipus d'habitatge, contribució potencial a la calefacció de la llar

**Habilitats:** treball en grups, observació, debat, interpretació i anàlisi

**Assignatures del currículum educatiu:** naturals

**Rang d'edat:** 7-10, 1r i 2n cicle

### 7.3 Escalfar més i millor

Després que el refrigerant surti de l'evaporador, el *compressor* el comprimeix i es transforma en líquid. Mentre es comprimeix, la seva temperatura s'eleva perquè la temperatura d'un líquid augmenta quan també ho fa la pressió.

Aleshores, el refrigerant passa a través del *condensador* on la calor d'alta temperatura del refrigerant és transferida al *sistema de distribució*. Si es tracta d'aire, pot circular directament a través de l'habitatge per conductes. Si és aigua, llavors l'aigua calenta es pot distribuir pels radiadors amb un sistema convencional per subministrar calefacció o bé es pot emmagatzemar en un dipòsit per proporcionar aigua calenta sanitària.

Un cop fora del condensador, el refrigerant s'ha refredat i passa a través d'una *vàlvula d'expansió* que retorna el refrigerant a un estat gasós abans que entri de nou a l'evaporador i comenci una altra vegada el cicle.

### 7.4 Refrigeració de l'espai

El procés d'una bomba de calor és reversible de manera que pot extreure calor útil d'una habitació i difondre calor de baixa temperatura a l'ambient. L'aire (o aigua) calent és extret d'una habitació i passa a través del condensador per transferir la seva calor al gas refrigerant. Aleshores, el gas refrigerant és comprimit a alta pressió pel compressor per transformar-lo en líquid i desprendre la seva calor des de l'evaporador cap al col·lector de líquid o l'ambient. El líquid del col·lector llavors transfereix la calor de nou a la terra o l'aigua, que estan a una temperatura més baixa.

Una nevera treballa de la mateixa manera que una bomba de calor. El menjar i el beure es guarden a la nevera i la calor de baixa temperatura que porten (solen estar més calents que l'interior de la nevera) es transfereix al refrigerant. Aleshores, el refrigerant es comprimeix i s'expandeix per augmentar la calor; aquesta calor d'alta temperatura s'expulsa per la part posterior de la nevera. Aquesta és la raó per la qual l'interior de la nevera sempre resta fred i la part posterior s'escalfa.

Les bombes de calor geotèrmiques tenen la possibilitat de refredar 'gratuïtament' durant l'estiu sense utilitzar el compressor. En aquest cas, la calor extreta de l'habitació passa a través del condensador i del refrigerant cap a l'evaporador, de manera que aquesta calor pot ser transferida cap a la zona del voltant de la canonada col·lectora (de la que s'extreu la calor durant els mesos d'hivern) produint així un refredament de l'espai.

### 7.5 Instal·lació a casa

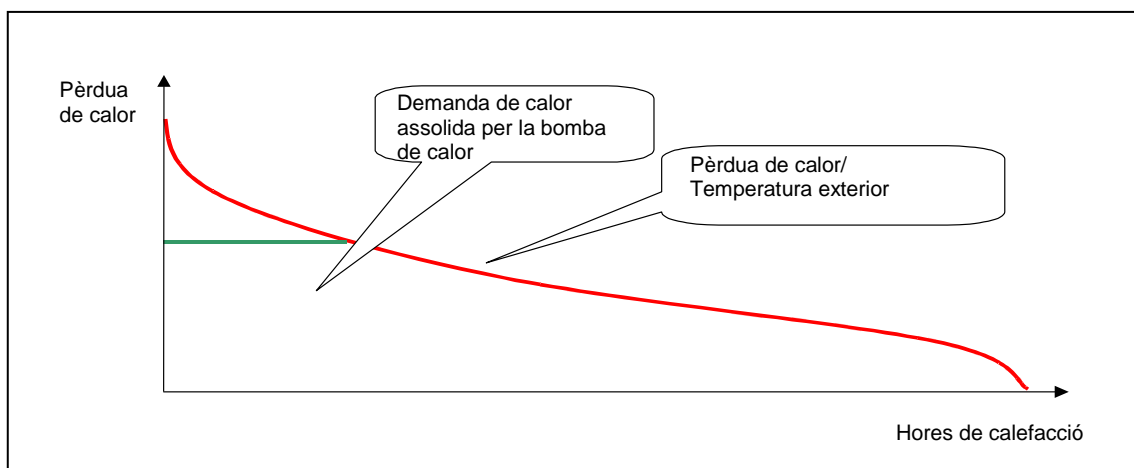
Els sistemes de bomba de calor poden substituir fàcilment les calderes que funcionen amb combustibles fòssils, com el carbó o el gasoil, o les elèctriques. Si la calor es distribueix a través de radiadors, aleshores la sortida d'aigua calenta es pot introduir directament dins dels radiadors.

Com és habitual en tots els productes energèticament eficients, les bombes de calor es caracteritzen per un cost inicial que es relaciona directament amb la producció de calor del sistema. Per tant, és important triar la mida de la bomba de calor d'acord amb la pèrdua de calor de l'habitatge. Si la casa té més de vint anys, aleshores sempre és més rendible afegir aïllant a l'habitatge per tal de reduir la pèrdua de calor (vegeu el capítol 4). La mida de la bomba de calor dependrà, doncs, de les pèrdues de calor de l'edifici. Com que la

temperatura de l'aigua calenta serà més baixa que la de l'aigua de les calderes que funcionen amb combustibles fòssils, és important millorar el grau d'aïllament de la casa per tal de mantenir el mateix nombre de radiadors.

És clau, per tant, triar la mida de la bomba de calor de manera que produeixi un 90% de la calor necessària i durant els mesos freds utilitzar una font de calor addicional com un radiador elèctric o una llar de foc (Figura 7.2)

**Figura 7.2: Mesurar el sistema de bomba de calor**

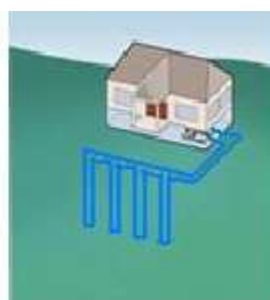


En condicions normals de terreny i en llars de famílies estàndard, la llargada de la canonada del col·lector per les bombes de calor geotèrmiques anirà dels 30 metres per a una producció de calor de 3 kW als 100 metres per 10 kW. La canonada del col·lector es pot col·locar horitzontalment en una rasa o verticalment dins d'una perforació especial (Figura 7.3). La perforació d'un forat d'aquestes característiques requereix un accés a una plataforma de perforació mentre que una rasa horitzontal només necessita un accés a un jardí o espai obert.

**Figura 7.3: Captador geotèrmic típic horitzontal i vertical**



**captador horitzontal**



**captador vertical**

La rasa horitzontal ha de ser prou profunda com per què la temperatura de la terra no es vegi influenciada per la temperatura ambient. Al centre d'Europa, 0,9 metres seran suficients mentre que al nord faran falta 1,2 metres o, fins i tot, 1,5.

En les bombes de calor de font d'aire, el ventilador s'ubica en una instal·lació compacta adjacent a una paret exterior. Les bombes de calor que usen l'aigua com a font o les bombes geotèrmiques també es poden acoblar a un mur exterior.

En habitatges nous que tenen un alt grau d'aïllament, les bombes de calor seran rendibles des del principi perquè les pèrdues de calor d'aquests habitatges són molt petites.

## 7.6 Eficiència del sistema

Les bombes de calor són molt eficients perquè concentren la calor de baixa temperatura en lloc de produir-la com fan altres fonts. La relació entre la calor produïda i l'electricitat consumida s'anomena *coeficient d'eficiència* i pot anar de 3,0 a 5,0 depenent de:

- el tipus de bomba de calor
- la diferència de temperatura entre la font de calor i la temperatura desitjada (*augment de temperatura*)

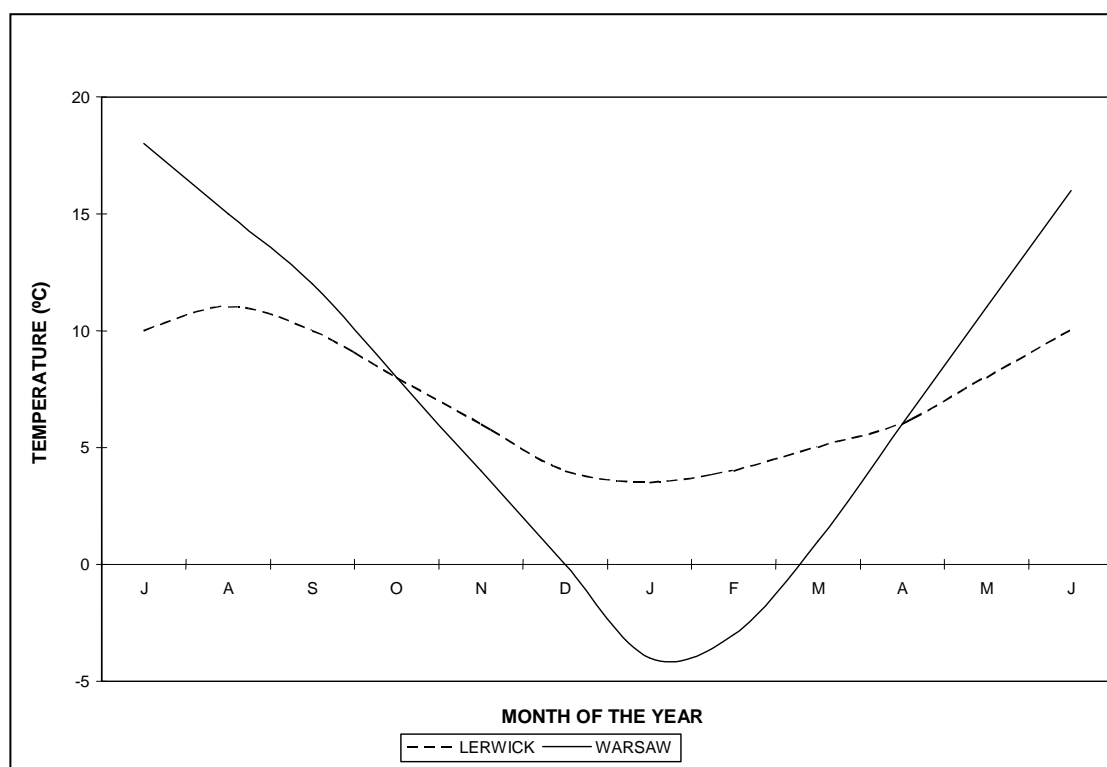
Això contrasta amb les calderes de combustibles fòssils que tenen una eficiència d'entre un 0,8 i un 0,9.

Costa menys arribar als 22°C de temperatura de confort si es ve dels 17°C (que és la temperatura del terra a una certa profunditat) que si s'ha d'escalfar l'aire que està a 8°C o per sota durant l'hivern.

## 7.7 Influència del clima

La quantitat de calor renovable que pot subministrar un sistema de bomba de calor d'una determinada mesura depèn de la ubicació geogràfica de l'habitatge i de les seves pèrdues de calor.

**Figura 7.4: Mitjana mensual de temperatures en un clima marítim (Lerwick -Escòcia-) i en un de continental (Varsòvia)**



Com més càlid sigui el clima, major serà la temperatura de la font i, per tant, més eficient serà la bomba de calor.

La quantitat de calor que es necessita es pot obtenir de taules de grau-dia que es publiquen regularment proporcionant les mitjanes mensuals de les temperatures (com es veu a la Figura 7.4). Es considera que es necessita calefacció quan la temperatura és inferior a 15,5°C

Si es coneix la pèrdua de calor de l'edifici es pot calcular la necessitat de calefacció anual.

### Activitat 7.3: Relacionar la demanda de calor

#### Activitat 7.3: Relacionar la demanda de calor

A diferència de les calderes de combustibles fòssils que normalment són més grans del necessari, les bombes de calor tenen una mida d'acord amb el càlcul de la pèrdua de calor i de l'eficiència del sistema. Això requereix el càlcul de la necessitat de calor en funció de l'aïllament de l'edifici i de les condicions climàtiques. A totes les llars hi ha guany solar i guany intern degut a les pèrdues de calor que tenen les neveres, les bombetes, la cuina i les persones. Així, la calefacció només es necessita quan la temperatura exterior cau per sota dels 15,5°C. Un grau-dia es defineix com la diferència entre la temperatura diària i 15,5°C. S'usa per calcular la demanda energètica.

#### Tasques

- a partir del full d'exercicis, dibuixa un gràfic de la temperatura mensual de la teva regió
- dibuixa una línia als 15,5°C i digues durant quant de temps es necessitaria calefacció en tot l'any (quan la temperatura sigui inferior a 15,5°C)
- estableix l'antiguitat de la llar de cada membre del grup
- usant la taula del full d'exercicis i la fórmula, calcula la demanda de calor
- calcula la quantitat d'electricitat que es necessita per produir aquesta quantitat de calor amb una bomba de calor
- compara-ho amb la quantitat d'energia que apareix a la factura de la calefacció
- debat les teves observacions amb els altres grups

#### Apunts pel professor

**Antecedents:** Aquest mètode permet calcular la quantitat de calor necessària per a un edifici mitjà en funció de la seva antiguitat. Se suposa que el grau d'aïllament és el de quan es va construir l'edifici però si posteriorment s'ha incrementat, aleshores la demanda energètica es reduirà. La comparació amb les factures de calefacció hauria de conduir a observacions interessants sobre la contribució que les fonts d'energia renovable poden fer de cara a reduir l'impacte mediambiental de la calefacció.

**Objectiu:** relacionar les condicions climàtiques amb les pèrdues de calor i al seu torn relacionar això amb el grau d'aïllament d'una llar

**Material:** dades de les temperatures mensuals mitjanes i grau-dies, paper, llapis i/o un ordinador.

**Paraules clau:** calefacció, confort, temperatura ambient, inèrcia tèrmica

**Habilitats:** obtenir dades de la regió, fer un gràfic amb dades mensuals, analitzar gràfics.

**Assignatures del currículum educatiu:** socials

**Rang d'edat:** 11-16, 3r i 4t cicle

#### Full d'exercicis 7.3

Les dades estàndard es proporcionen més avall

|   | Temperatura mensual (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | mitja |
|---|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|   | Gen.                     | Feb. | Mar. | Abr. | Maig | Juny | Jul. | Ago. | Set. | Oct. | Nov. | Des. | any   |
| Mitjana mensual de la temperatura de l'aire |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| grau-dies                                   |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |

- fes un gràfic amb aquestes dades de la teva regió
- a partir d'una línia horitzontal als 15,5°C, determina la durada de l'època de calefacció

A continuació es proporcionen les dades dades aproximades que caracteritzen el grau d'aïllament dels habitatges.

|                        |               |      |      |      |      |      |
|------------------------|---------------|------|------|------|------|------|
| Any de construcció     | Abans de 1945 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
| Pèrdua de calor (W/°C) | 700           | 600  | 470  | 390  | 310  | 240  |

- fes un gràfic amb aquesta informació
- a partir de l'antiguitat de la casa de cada membre del grup determineu-ne les pèrdues de calor
- calcula la demanda de calor usant la fórmula de sota
- demanda de calor = pèrdua de calor X grau-dia X 24 (kWh)
- calcula la quantitat d'energia que actualment uses per escalfar a partir de la factura de la calefacció
- completa la taula de sota

| Nom | Any de construcció de la casa | Demanda de calor (kWh) | Energia de la factura de la calefacció (kWh) |
|-----|-------------------------------|------------------------|--|
| xxx | 1960                          | 12.000                 | 25.000                                       |
|     |                               |                        |  |
|     |                               |                        |  |
|     |                               |                        |  |
|     |                               |                        |  |
|     |                               |                        |  |

## 7.8 Avantatges i inconvenients

Els avantatges de les bombes de calor són:

- L'electricitat i la calor de baixa temperatura es poden obtenir de diverses fonts
- Els sistemes estan disponibles en totes les mides per escalfar des d'una habitació a un habitatge o diversos
- Alguns sistemes són reversibles de manera que poden escalfar i refredar
- L'electricitat per fer funcionar la bomba de calor pot provenir de fonts renovables
- Es comencen a usar els refrigerants naturals, que tenen un impacte mediambiental molt baix o nul
- El sistema té en conjunt una alta eficiència i, per tant, un baix cost de funcionament.

Els inconvenients són:

- L'espai, si s'utilitza un col·lector geotèrmic
- Baixa eficiència quan disminueix la temperatura ambient en els sistemes amb l'aire com a font
- Els elevats costos inicials
- El refrigerant s'ha de recuperar al final de la vida del sistema

## 7.9 Impacte mediambiental

Un dels impactes mediambientals més importants actualment és l'associat amb la producció d'electricitat a partir de combustibles fòssils (si es generés amb fonts renovables no hi hauria cap impacte). La producció d'electricitat a partir de fonts de combustibles fòssils té com a resultat l'emissió de diòxid de carboni. La mitjana a Catalunya és de 0,421 Kg/kWh d'electricitat. A la taula de sota es proporciona una comparació de la producció de CO<sub>2</sub> per kWh de calor. Es pot veure com les bombes de calor produeixen menys CO<sub>2</sub> que altres fonts de calor degut a la seva alta eficiència.

| Font de calor     | Kg de CO <sub>2</sub> per kWh de calor |
|-------------------|--|
| Caldera de gasoil | 0,27                                   |
| Caldera de gas    | 0,19                                   |
| Bomba de calor    | 0,12                                   |

### Activitat 7.4: Demanar consell

#### Activitat 7.4: Demanar consell

No és fàcil aconsellar-se sobre els sistemes de bomba de calor en un país com el nostre on el seu potencial encara està per assolir. No obstant, hi ha diverses fonts d'informació disponible amb les que no hauràs pensat.

#### Tasques

- 1 Pensa on aniries a demanar consell sobre els sistemes de bomba de calor per a la teva llar.
- 2 Omple el full d'exercicis 7.4 que mostra les fonts d'informació i consell que usaries (Sí/No) i les que prefereixes utilitzar (Pr.).

#### Apunts pel professor

**Antecedents:** Existeix informació sobre els sistemes de bomba de calor per la llar. Aquesta activitat ofereix l'oportunitat d'identificar les preferències dels alumnes a l'hora de buscar informació i demanar consell.

**Objectiu:** 1) il·lustrar el potencial de fonts de consell als alumnes, i  
2) informar els professors sobre les fonts preferides pels seus estudiants.

**Material:** internet, guia telefònica.

**Paraules clau:** consell energètic, subministradors d'informació.

**Habilitats:** buscar informació, fer preguntes pertinents.

**Assignatures del currículum educatiu:** socials

**Rang d'edat:** 11-16, 3r i 4t cicle

#### Full d'exercicis 7.4

|                               | Pr. | Sí | No |                              | Pr. | Si | No |
|-------------------------------|-----|----|----|------------------------------|-----|----|----|
| associació de consumidors     |     |    |    | parens                       |     |    |    |
| agències de l'energia         |     |    |    | centres d'atenció telefònica |     |    |    |
| dia/setmana de l'energia      |     |    |    | lampista                     |     |    |    |
| fira municipal de l'energia   |     |    |    | biblioteca pública           |     |    |    |
| seminari/curs sobre l'energia |     |    |    | parents                      |     |    |    |
| amics                         |     |    |    | biblioteca de l'escola       |     |    |    |
| instal·ladors                 |     |    |    | grup d'amics de l'escola     |     |    |    |
| internet                      |     |    |    | professors de l'escola       |     |    |    |
| revistes                      |     |    |    | museu de la ciència/tècnica  |     |    |    |
| fabricants                    |     |    |    | comerços                     |     |    |    |
| veïns                         |     |    |    | programes de TV              |     |    |    |
| ONG's                         |     |    |    | companyies de serveis        |     |    |    |

Altres fonts d'informació per aconsellar-te que t'agradaria usar:

## **7.10 Conclusions**

La bomba de calor és un giny utilitzat en climatització perquè és un sistema de calefacció molt eficient, ja que part de l'energia l'extreu de l'entorn (aire, aigua i terra). Amb l'encariment de les factures de la calefacció per l'augment del preu dels combustibles fòssils, les bombes de calor esdevenen una opció més atractiva. No només usen energia renovable, sinó que també redueixen l'impacte mediambiental de la calefacció (menys emissions de CO<sub>2</sub>). Les bombes de calor són reversibles i es poden utilitzar per escalfar a l'hivern i per refrigerar a l'estiu el que les fa molt interessants per climes com el nostre.