



Guia ràpida d'ús v.1.2

Gener 2022

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Autors/Desenvolupadors

Jordi García (Disseny conceptual i desenvolupador)	CEO Energía Coherente Investigador Dept. d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC (UPC)
Ignasi Herms (Disseny conceptual i supervisor)	Cap de l'Àrea de Recursos Geològics Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)
Georgina Arnó (Contribuent i supervisor)	Cap de la Unitat de Hidrogeologia i Geotèrmia Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)
Javier Ariza (Desenvolupador)	Màster en Enginyeria de la Energia Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
José Juan De Felipe (Contribuent i supervisor)	PDI: Personal Docent i Investigador Dept. d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC (UPC)

Exempció de responsabilitat i propietat intel·lectual

Aquest document es troba sota la protecció legal de la Llei de propietat intel·lectual i no es pot reproduir ni transmetre, parcial o totalment, en cap mitjà ni format electrònic ni mecànic, incloses fotocòpies i enregistraments, ni mitjançant l'emmagatzematge i recuperació d'informació, sense l'autorització de l'ICGC.

J. García-Céspedes, I. Herms, G. Arnó, J. Ariza, J.J. De Felipe (2022). Geo-SIV (v1.2) [programari]. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya i Universitat Politècnica de Catalunya. CC-BY 4.0.

Per a més informació, consulteu els [Termes i condicions d'ús dels productes de l'ICGC](#)



Llicència d'ús CC BY 4.0

Contingut

1	Introducció	5
2	QUÈ ÉS i QUÈ NO ÉS Geo-SIV. Abast i limitacions	6
3	Metodologia	8
3.1	Càlcul de les càrregues i la demanda tèrmica de l'edifici	8
3.2	Càlcul del rendiment estacional	10
3.3	Càlcul del camp de captació geotèrmic.....	12
4	Com utilitzar Geo-SIV (v 1.2)	14
4.1	Pestanya "Dades d'entrada"	14
4.1.1	Localització del projecte: Panell 1.....	14
4.1.2	Dades de càrregues tèrmiques i demanda. Panells 2 i 3.	15
4.1.3	Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG). Panell 4.	19
4.1.4	Sistema de distribució a l'interior de l'edifici. Panell 5	21
4.1.5	Disseny dels bescanviadors de calor. Panell 6.	22
4.2	Pestanya "Resultats disseny"	25
4.2.1	Camp de captació. Panell 7	25
4.2.2	Bomba de calor. Panell 8.....	27
4.2.3	Condicions climàtiques. Panell 9.	28
4.2.4	Característiques i comportament de la instal·lació. Panell 10.	30
4.2.5	Gràfica Càrrega/Potència i Demanda/Producció climatització	31
4.2.6	Gràfica Producció energia tèrmica i Consum electricitat	34
4.3	Pestanya "Anàlisi econòmica i ambiental"	36
4.3.1	Dades bàsiques del projecte. Panell 1.....	36
4.3.2	Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu. Panell 2.	38
4.3.3	Costos de consum energètic. Panell 3.....	42
4.3.4	Observacions. Etiquetes a peu de pestanya	43
4.3.5	Hibridació amb energia solar fotovoltaica. Panell 4.....	44
4.4	Pestanya "Resultats rendibilitat i emissions"	48
4.4.1	Rendibilitat econòmica i emissions. Panell 5.....	48

4.4.2	Gràfica Evolució despesa acumulada i Evolució VAN.....	52
4.4.3	Consum elèctric i autoproducció. Panell 6 + gràfiques energia elèctrica.	54
4.5	Pestanya “Resum”	56
5	Referències	57
6	ANNEX I. Paràmetres no editables per a l'estimació de càrregues tèrmiques	59
7	ANNEX II. Dades utilitzades per a l'anàlisi econòmica i ambiental.....	61
8	ANNEX III. Rendiments estacionals bombes de calor aerotèrmiques	64

1 Introducció

L'aplicació **Geo-SIV** (v 1.2 2022) és un programari lliure desenvolupat per l'Àrea de Recursos Geològics de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) distribuït sota la llicència d'ús CC-BY 4.0., dissenyat per permetre efectuar avaluacions preliminars de sistemes d'intercanvi geotèrmic en circuit vertical tancat per instal·lacions de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària de fins a 70 kW corresponents als tipus A i B d'acord amb la norma UNE-100715:2014 [AENOR, 2014], en el territori de Catalunya.

Geo-SIV permet introduir (si es coneixien) o estimar (si es desconeixen les càrregues i la demanda tèrmica d'un edifici mitjançant una adaptació del '*modified bin method*' [ASHRAE, 1985] implementat dins del programari *RETScreen®*, *Clean Energy Management Software* [NRCAN, 2016]. D'altra banda, aquest programari dimensiona el camp de captació necessari per cobrir les càrregues tèrmiques mitjançant bescanviadors de calor geotèrmics (pous verticals de circuit tancat) en base a la teoria de la font lineal de Kelvin aplicada al bescanvi amb el terreny pels investigadors Ingersoll & Plass [Ingersoll L.R. and Plass H.J., 1948]. Aquesta és la base de la metodologia desenvolupada per la *International Ground Source Heat Pump Association* [IGSHPA, 2009], que també adopta el *Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía* [IDAE, 2012].

Les característiques de les bombes de calor geotèrmiques són seleccionades a partir d'una base de dades o introduïdes per l'usuari. L'eina utilitza dades geològiques i climatològiques publicades al [GeoÍndex-Geotèrmia superficial de Catalunya](#) [ICGC, 2018].

L'aplicació també disposa d'un mòdul d'anàlisi econòmica i ambiental que permet comparar la solució projectada basada en geotèrmia superficial respecte altres tecnologies renovables i no renovables. Les dades de sortida es poden utilitzar per a estudis de pre-viabilitat. El codi s'ha programat mitjançant el llenguatge propi de l'entorn de desenvolupament de MATLAB (v. R2020a) de MathWorks.

2 QUÈ ÉS I QUÈ NO ÉS Geo-SIV. Abast i limitacions

- **Geo-SIV és una eina d'anàlisi quantitatiu.** L'objectiu principal d'aquesta aplicació és poder fer estimacions preliminars de les necessitats de perforació per a la construcció d'un camp de captació de pous geotèrmics verticals de circuit tancat. Això es porta a terme en base a una sèrie de dades d'entrada i paràmetres que l'usuari pot editar amb l'objectiu d'ajustar-ne els resultats. La precisió de la informació de base utilitzada per establir els valors per defecte d'alguns d'aquests paràmetres pot ser molt variable en funció de la font origen de la informació. Per aquest motiu es recomana que l'usuari verifiqui sempre els valors que per defecte proposa el programari i realitzi varies simulacions considerant el rang possible de variació del paràmetre en qüestió. D'altra banda, es busca poder avaluar de manera orientativa, i des d'una vessant econòmica i ambiental, la idoneïtat o no d'una inversió extra en geotèrmia superficial si es compara amb altres opcions convencionals, renovables i no-renovables.
- **Geo-SIV és una eina educativa i de foment en l'ús del recurs geotèrmic superficial.** L'usuari podrà prendre contacte i familiaritzar-se amb els elements i la terminologia característiques de les instal·lacions tèrmiques en general i la geotèrmica superficial en particular. En clau promocional, Geo-SIV vol actuar com a pont entre les empreses del sector i el públic general gràcies a una major consciència d'aquest sobre el potencial d'aquesta energia renovable, eficient i disponible les 24 hores del dia, els 365 dies de l'any.
- **Geo-SIV és una eina adreçada a tothom.** Donat que es pretén fer difusió sobre els beneficis de la geotèrmia superficial, Geo-SIV s'ha concebut com a programari de lliure distribució, sense ànim de lucre, amb un llenguatge i un contingut de caire tècnic, però encara prou intuïtiu i amigable per a què qualsevol usuari, sense coneixements previs sobre geotèrmia, pugui fer-ne ús sense gaires dificultats. D'altra banda, permetrà als professionals del sector de l'energia, la climatització o la geotècnia (entre d'altres) realitzar estudis de pre-viabilitat i comparatives de projectes de manera ràpida i fàcil.
- **Geo-SIV NO és una eina de càlcul de càrregues tèrmiques.** Amb aquest programari s'ofereix la possibilitat d'estimar les càrregues tèrmiques d'un edifici amb una geometria simplificada, la qual cosa permetrà a l'usuari analitzar i comparar diferents escenaris per a una mateixa tipologia d'edifici, i descobrir quins paràmetres són més rellevants o sensibles en el càlcul de les càrregues tèrmiques i el posterior dimensionament d'un camp de captació. Per a un càlcul acurat de les càrregues tèrmiques i la demanda d'una edificació concreta, es convida a l'usuari a consultar les

nombroses eines de càlcul de càrregues tèrmiques ja existents (algunes d'elles gratuïtes), les quals permeten generar un model geomètric i constructiu més o menys acurat de l'edifici en qüestió, com HULC, CYPE o Energy-Plus, entre d'altres.

- **Geo-SIV NO estableix de manera vinculant la viabilitat tècnica i econòmica d'un projecte de geotèrmia concret.** Les propietats tèrmiques del terreny i la temperatura del subsol a diferents profunditats utilitzada per l'aplicació han estat estimades a partir de diversos models de càlcul a escala regional en funció de la cartografia disponible. Per obtenir major precisió en la determinació d'aquests paràmetres es recomana fer un estudi geològic i hidrogeològic de l'emplaçament objecte de la valoració. En aquest sentit, tal i com recomana la norma UNE-100715:2014 [AENOR, 2014] per instal·lacions de tipus B (instal·lacions de 30 a 70 kW) sempre que el temps de funcionament previst per la instal·lació sigui superior a 1800 h/any en mode calefacció, és del tot recomanable la realització d'un test de resposta tèrmica (TRT).
- **Geo-SIV NO és una base de dades d'equips de climatització.** L'usuari ha de ser conscient que tant els valors de rendiment exposats al panell 4 de la pestanya "Dades d'entrada" com els valors monetaris exposats per defecte a la pestanya "Anàlisi econòmica i ambiental" són a títol orientatiu. Es recomana a l'usuari realitzar prèviament una tasca de documentació de cara a obtenir resultats més precisos (per exemple preguntant directament als fabricants d'equips sobre preus i rendiment). En particular, els valors de costos específics dels sistemes de climatització i ACS (€/kW) aportats per defecte a Geo-SIV assumeixen implícitament un escalat lineal dels preus amb la potència instal·lada. La realitat és que per algunes tecnologies el cost específic baixa amb la potència instal·lada, i en d'altres pot fins i tot pujar, donat que nivells de potència instal·lada diferent pot donar lloc a configuracions de complexitat dispar. A l'ANNEX I es pot trobar una relació de costos específics en funció de la potència instal·lada, amb caràcter orientatiu..
- **Geo-SIV NO és una eina de dimensionament de sistemes de producció d'energia fotovoltaica.** Un punt atractiu d'aquesta aplicació és que s'ofereix a l'usuari analitzar la possibilitat d'hibridar una instal·lació de climatització amb un sistema d'autoproducció d'electricitat. No obstant, l'objectiu és poder visualitzar de manera quantitativa i immediata les implicacions d'hibridar geotèrmia amb solar fotovoltaica (també es poden hibridar les instal·lacions alternatives, la qual cosa és especialment interessant quan aquestes operen amb electricitat). De la mateixa manera que amb el cas de les càrregues tèrmiques, ja existeixen programes acurats per al disseny i dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica.

3 Metodologia

La metodologia de càlcul de les càrregues tèrmiques i la demanda de l'edifici, així com el dimensionament del camp de captació, és una adaptació del *bin method* [NRCAN, 2005], o “mètode de les caselles”.

3.1 Càlcul de les càrregues i la demanda tèrmica de l'edifici

L'assumpció principal és la dependència lineal de les càrregues tèrmiques amb la temperatura (seca) exterior (T_{ext}) (1a aproximació):

$$q^i(T_j) = \sum_{k=1}^6 q_k^i(T_j) \quad (Eq. 1)$$

$$q_k^i(T_j) = c_{0,k}^i + c_{1,k}^i \cdot T_j \quad (Eq. 2)$$

$$E_j^i = q^i(T_j) \cdot h(T_j) \quad (Eq. 3)$$

$$E_m = \sum_{T_j < T_b^h} q^h(T_j) \cdot h_m(T_j) - \sum_{T_j > T_b^c} q^c(T_j) \cdot h_m(T_j) + E_m^{acs} \quad (Eq. 4)$$

$q^i(T_j)$ [W]: Càrrega tèrmica total associada a l'interval de valors de T_{ext} comprés entre a $T_j - \Delta T$ i $T_j + \Delta T$, sent $2\Delta T$ l'amplada de cada interval (*bin*). Geo-SIV considera $\Delta T = 1^\circ\text{C}$. El superíndex i diferencia entre el mode d'operació (h : “calefacció”; c : “refrigeració”). En aquesta expressió no es contempla la càrrega ACS (Aigua Calenta Sanitària) perquè no té sentit la dependència amb T_{ext} . Sí que es contempla a nivell mensual (veure Eq. 4).

$q_k^i(T_j)$ [W]: Càrrega tèrmica del component k pel mode d'operació i . Els 6 diferents components són: 1) pèrdues per transmissió; 2) guanys per radiació solar; 3) guanys interns per calor latent; 4) guanys interns per calor sensible; 5) càrrega latent per ventilació; 6) càrrega sensible per ventilació.

$c_{0,k}^i$ [W] ; $c_{1,k}^i$ [W/K]: coeficients lineals (terme independent i pendent de la recta, respectivament).

q_d^i [W]; T_d^i ; T_b^i [$^\circ\text{C}$]: Càrrega de disseny, temperatura de disseny i temperatura de balanç, respectivament.

E_j [Wh]: Demanda d'energia tèrmica (calefacció o refrigeració) d'un edifici associada a cada interval j .

$h(T_j)$ [hores]: Nombre d'hores a l'any amb una T_{ext} mitjana entre $T_j - \Delta T$ i $T_j + \Delta T$

E_m [Wh]; E_m^{acs} [Wh]: Demanda total i demanda ACS del mes m d'un edifici, respectivament.

Geo-SIV v1.2 (Gener 2022). Guia ràpida d'ús.

$h_m(T_j)$ [hores]: Nombre d'hores per a cada mes m amb una T_{ext} entre $T_j - \Delta T$ i $T_j + \Delta T$.

3.2 Càlcul del rendiment estacional

Un cop conegudes les càrregues i la demanda, Geo-SIV estima el rendiment estacional de la instal·lació fent ús, o bé dels valors aportats per l'usuari, o bé dels valors escollits automàticament de la potència nominal i rendiment de la bomba de calor geotèrmica (BCG):

$$SPF_c = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^h}{COP_m}}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^h}{COP_m}} \quad (Eq. 5)$$

$$SPF_r = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^c}{EER_m}}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^c}{EER_m}} \quad (Eq. 6)$$

$$SPF_{acs} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^{acs}}{COP_{acs,m}}}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^{acs}}{COP_{acs,m}}} \quad (Eq. 7)$$

SPF_i [Wh_t/Wh_e]: rendiment estacional (*seasonal performance factor*) en mode d'operació i (c : calefacció, r : refrigeració, acs : producció d'ACS)

E_m^i [Wh_t]: Energia produïda en el mes m en mode d'operació i . Com és d'esperar, hi haurà mesos en que $E_m^h = 0$ i altres en que $E_m^c = 0$. En canvi, s'assumeix que $E_m^{acs} \neq 0$ en cap cas si existeix una demanda no nul·la d'ACS a l'edifici.

COP_m, EER_m i $COP_{acs,m}$ [Wh_t/Wh_e]: Rendiments mitjans mensuals: calculats com una mitja ponderada dels corresponents rendiments instantanis en funció de les condicions d'operació:

$$COP_m = \frac{\sum_j COP(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 8)$$

$$EER_m = \frac{\sum_j EER(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 9)$$

$$COP_{acs,m} = \frac{\sum_j COP_{acs}(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 10)$$

$COP(T_j)$, $EER(T_j)$ i $COP_{acs}(T_j)$ [Wh_t/Wh_e]: rendiments instantanis assumint una dependència lineal amb la temperatura d'entrada a la BCG, T_{ewt}^{BCG} , la qual s'assumeix també que té una dependència lineal amb T_j :

$$COP(T_j) = COP_0 + \frac{(COP_{10} - COP_0)}{(10 - 0)} (T_{ewt}^{BCG}(T_j) - 0) \quad (Eq. 11)$$

$$EER(T_j) = EER_{25} + \frac{(EER_{35} - EER_{25})}{(30 - 20)} (T_{ewt}^{BCG}(T_j) - 20) \quad (Eq. 12)$$

$$COP_{acs}(T_j) = COP_{acs,0} + \frac{(COP_{acs,10} - COP_{acs,0})}{(10 - 0)} (T_{ewt}^{BCG}(T_j) - 0) \quad (Eq. 13)$$

$$T_{ewt}^{BCG}(T_j) = T_{ewt_c}^{BCG} + \frac{(T_{ewt_h}^{BCG} - T_{ewt_c}^{BCG})}{(T_d^h - T_d^c)} (T_j - T_d^c) \quad (Eq. 14)$$

COP_0 , COP_{10} [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode calefacció, quan la temperatura d'entrada a la BCG provinent de pous són $T_{ewt}^{BCG} = 0$ °C i $T_{ewt}^{BCG} = 10$ °C, respectivament.

$COP_{acs,0}$, $COP_{acs,10}$ [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode producció d'ACS, quan la temperatura d'entrada a la BCG provinent de pous són $T_{ewt}^{BCG} = 0$ °C i $T_{ewt}^{BCG} = 10$ °C, respectivament.

EER_{25} , EER_{35} [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode refrigeració quan la temperatura d'entrada a la BCG provinent de pous són $T_{ewt}^{BCG} = 20$ °C i $T_{ewt}^{BCG} = 30$ °C, respectivament.

S'ha de tenir en compte que els valors de COP_0 , COP_{10} , $COP_{acs,0}$, $COP_{acs,10}$, EER_{25} i EER_{35} depenen també de la temperatura d'impulsió dels emissors tèrmics (temperatura de sortida de la BCG, T_{lwt}^{BCG}) a dins de l'edifici:

	T_{lwt}^{BCG} (hivern)	T_{lwt}^{BCG} (estiu)
Terra radiant	35 °C	23 °C
Fancoils	45 °C	12 °C
Radiadors	55 °C	-
Producció d'ACS	65 °C	-

$T_{ewt_h}^{BCG}$ [°C]: Temperatura d'entrada a la BCG per a condicions de disseny d'hivern.

$T_{ewt_c}^{BCG}$ [°C]: Temperatura d'entrada a la BCG per a condicions de disseny d'estiu.

IMPORTANT: aquesta metodologia de càlcul pel càlcul estacional es pròpia i està basada en la metodologia descrita a [NRCAN, 2005] i en la norma UNE EN 14825:2016 [AENOR 2016].

S'ha de tenir en compte que l'assumpció d'una dependència lineal del rendiment instantani amb T_{ewt}^{BCG} és una aproximació, ja que aquesta dependència és més aviat de tipus quadràtic. Així mateix, la dependència lineal assumida per a T_{ewt}^{BCG} amb T_j no té sentit des d'un punt de vista físic, donat que no se li pot atribuir a la temperatura del líquid caloportador dels pous les oscil·lacions tèrmiques (a nivell horari) que pateix la T_{ext} . No obstant, des d'un punt de vista purament estadístic, les expressions Eq.8.9 i 10 juntament amb Eq.14 permeten relacionar les condicions d'operació de la BCG amb T_{ext} a través dels valors d'ocurrència $h_m(T_j)$ de manera representativa.

3.3 Càlcul del camp de captació geotèrmic

El dimensionament dels bescanviadors de calor està basat en la teoria de font lineal de Kelvin adoptada per IGSHPA [IGSHPA, 2009] i IDAE [IDAE, 2012]:

$$L_h = q_{d,h/ACS} \left[\frac{\left(\frac{COP - 1}{COP} \right) (r_p + r_s(F_h + F_{ACS}))}{T_{subsol,min} - T_{ewt,min}} \right] \quad (Eq. 15)$$

$$L_c = q_{d,c} \left[\frac{\left(\frac{EER + 1}{EER} \right) (r_p + r_s F_c)}{T_{ewt,max} - T_{subsol,max}} \right] \quad (Eq. 16)$$

$q_{d,i}$ [W]: Càrrega tèrmica segons el criteri de disseny i (h/ACS : “criteri d’hivern i/o ACS”); c : “criteri d’estiu”).

COP [W_t/W_e]: *Coefficient of performance* (mode calefacció o ACS). Es correspon amb el valor mitjà del COP (o COP_{ACS} en absència de demanda de calefacció) del més de disseny d’hivern (gener).

EER [W_t/W_e]: *Energy efficiency ratio* (mode refrigeració). Es correspon amb el valor mitjà del mes de disseny d’estiu (juliol).

$T_{subsol,i}$ [°C]: Temperatura màxima o mínima del subsol experimentada al llarg de l’any .

$T_{ewt,i}$ [°C]: Temperatura màxima o mínima del líquid caloportador a pous al llarg de l’any. Es relaciona amb les temperatures d’entrada i sortida a la BCG de la següent manera:

$$T_{ewt,min} = \frac{T_{ewt_h}^{BCG} + T_{lwt_h}^{BCG}}{2} \quad (Eq. 18)$$

$$T_{ewt,max} = \frac{T_{ewt_c}^{BCG} + T_{lwt_c}^{BCG}}{2} \quad (Eq. 19)$$

$T_{ewt_h}^{BCG}$ [°C]: Temperatura d’entrada a la BCG per a condicions de disseny d’hivern.

$T_{lwt_h}^{BCG}$ [°C]: Temperatura de sortida la BCG per a condicions de disseny d’hivern.

$T_{ewt_c}^{BCG}$ [°C]: Temperatura d’entrada a la BCG per a condicions de disseny d’estiu.

$T_{lwt_c}^{BCG}$ [°C]: Temperatura de sortida la BCG per a condicions de disseny d’estiu.

r_p [mK/W]; r_s [mK/W]: Resistències tèrmiques efectives de les sondes i del terreny, respectivament.

F_i : Factor de càrrega segons el mode d'operació i . És la fracció d'hores equivalents durant els mesos de disseny en que la BCG opera a condicions de disseny (q_d^i).

L_i [m]: Longitud total de pous d'acord amb el criteri de disseny i .

4 Com utilitzar Geo-SIV (v 1.2)

4.1 Pestanya “Dades d'entrada”

En aquesta pestanya l'usuari ha de definir les dades d'entrada que conduiran al dimensionament d'un camp de captació per intercanvi geotèrmic, d'acord amb una ubicació seleccionada, unes càrregues i demanda i un equip bomba de calor aigua-aigua (geotèrmica).

4.1.1 Localització del projecte: Panell 1.

Dades d'entrada de la instal·lació geotèrmica

1. Localització del projecte. Coordenades ETRS89 / UTM zona 31N (EPSG: 25831)

Catalunya ☐ Girona ciutat (àrees urbana i periurbana) ☒ X UTM 428960.0 Y UTM 4580260.0 VISSIR v3.26 (ICGC)

2. Càrrega i demanda tèrmica conegudes

Càrrega tèrmica de disseny a l'estiu (refrigeració) [kW]	19.00
Demanda anual d'energia en mode refrigeració [kWh]	20000
Càrrega tèrmica de disseny a l'hivern (calefacció) [kW]	22.00
Demanda anual d'energia en mode calefacció [kWh]	45000
Càrrega tèrmica de disseny en mode producció d'ACS [kW]	2.00
Demanda anual d'energia per a producció d'ACS [kWh]	5000

3. Càrrega i demanda tèrmica (edifici genèric)

Geometria planta: ☒ Quadrada ☐ Rectangular 1 ☐ Rectangular 2

☐ Calcular càrrega i demanda tèrmiques genèriques

Superfície (considerant soterrani) [m²]: 100.00

Nombre de plantes (soterrani no inclòs): 1

Relació obertures/superfície: 0.20

Factor guany solar (hivern): 0.70

Factor guany solar (estiu): 0.45

Màxim nombre d'ocupants: 4.0

Demanda ACS [l/persona/dia]: 41

Temperatura de confort a l'hivern [°C]: 21.0

Temperatura de confort a l'estiu [°C]: 26.0

Tipologia d'edifici: ☒ Residencial (sense soterrani) ☐ Residencial (amb soterrani) ☐ Centre educatiu ☐ Oficines ☐ Hosteleria ☐ Centre sanitari ☐ Centre esportiu (sense piscina)

4. Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG) (Valors nominals)

☐ Escollir la meva pròpia BCG (Ref. #0) ☒ Elecció automàtica (base de dades)

Ref. BCG	P.calef. [kW]	COP	P.refri. [kW]	EER	P.acs [kW]	COP acs
1	3.50	4.63	3.14	4.35	3.21	3.00
2	6.77	4.72	6.13	4.38	6.20	3.05
3	7.30	4.65	6.47	4.23	6.59	3.01
4	9.04	4.55	7.94	4.18	8.29	2.94
5	11.82	4.55	10.70	4.61	10.65	2.94
6	15.46	4.73	13.10	4.13	14.17	3.06
7	18.91	4.73	16.10	4.17	17.34	3.06
8	23.90	4.78	20.50	4.40	21.91	3.09
9	25.44	4.50	22.10	4.50	23.32	2.98
10	29.76	4.68	25.80	4.41	27.28	3.03
11	35.23	4.86	29.00	4.28	32.30	3.15

Potència calefacció [kW]: 26.00

COP: 4.00

Potència refrigeració [kW]: 22.00

EER: 3.90

Potència ACS [kW]: 25.00

COP ACS: 3.25

5. Sistema de distribució a l'interior de l'edifici

CALOR ☐ Terra radiant ☒ Fancoils ☐ Radiadors **FRED**

6. Disseny dels bescanviadors de calor (pous verticals de circuit tancat)

☒ Considerar correccions a la temperatura del subsòl

Esapait pous [m]: 6.0

Profunditat preliminar dels pous: ☐ 80 m ☒ 100 m ☐ 120 m ☐ 140 m ☐ 90 m ☐ 110 m ☐ 130 m ☐ 150 m

Configuració sondes: ☒ U-simple ☐ U-doble

☐ Introducció manual de propietats del subsòl

Temperatura no pertorbada del terreny [°C]: 15.0

Diffusivitat tèrmica del terreny [mm²/s]: 0.510

Conductivitat tèrmica del terreny [W/mK]: 2.680

Ø_ext sondes (SDR-11): ☐ 32 mm ☒ 40 mm

Enrere Manual Geo-SIV v1.2 Valors per defecte Executar

- Selecció de l'àmbit territorial (Catalunya o àrees urbana i periurbana de la ciutat de Girona)
- Introducció de coordenades X i Y de la ubicació del projecte (coordenades UTM, sistema ETRS89/UTM zona 31N (EPSG:25831).

L'usuari pot introduir la coordenada 'XY' del seu projecte en qualsevol àmbit del territori de Catalunya o específicament dins l'àmbit de l'àrea urbana i periurbana de la ciutat de Girona. En el primer cas es capturaran automàticament les dades de les propietats tèrmiques del subsòl inferides a partir de la base de dades geològica 1:50.000 publicades al visor **Geoíndex Geotèrmia Superficial** de l'ICGC. En el segon cas es capturaran les dades de les propietats

del terreny a partir de les capes de geoinformació generades en el marc del Projecte Europeu H2020 [GeoERA MUSE](#) (*Management Urban Shallow geothermal Energy*) per l'àmbit urbà i periurbà de Girona-Salt. Aquestes darreres dades tenen major precisió gràcies a una integració de models 3D junt amb dades d'una nova campanya d'assaigs de resposta tèrmica TRT (*thermal response test*) realitzada entre 2018 i 2019 per part de l'ICGC, a més de dades recollides per les xarxes de monitoratge **XEGCat** de l'ICGC implementades en aquest àmbit del territori.

Per defecte, el programa té activada la posició 'Catalunya' per indicar que capturarà els valors dels paràmetres del terreny de les capes de geoinformació que cobreixen tot el territori. Les coordenades que mostra al principi es situen a la ciutat de Barcelona. L'usuari pot consultar i canviar manualment els valors, utilitzant si ho requereix, el botó d'enllaç al visor de mapes online de l'ICGC ([VISSIR v.3.26](#)) per cercar els valors que corresponen a la localització del seu projecte. Si s'opta per analitzar un projecte situat a l'àmbit territorial de la ciutat de Girona, l'usuari pot especificar "Girona ciutat (àrees urbana i periurbana)" per tal que el programari efectui la captura dels valors dels paràmetres del terreny proporcionats per les capes de geoinformació generades en el marc del projecte [GeoERA MUSE](#), on ja es té en compte, per exemple, la heterogeneïtat 3D de les litologies i la posició del nivell freàtic.

4.1.2 Dades de càrregues tèrmiques i demanda. Panells 2 i 3.

Dades d'entrada de la instal·lació geotèrmica

1. Localització del projecte. Coordenades ETRS89 / UTM zona 31N (EPSG: 25831)

Catalunya ☐ Girona ciutat (àrees urbana i periurbana) ☒ X UTM 428960.0 Y UTM 4580260.0 [VISSIR v3.26 \(ICGC\)](#)

2. Càrrega i demanda tèrmica conegudes

Càrrega tèrmica de disseny a l'estiu (refrigeració) [kW]	19.00
Demanda anual d'energia en mode refrigeració [kWh]	20000
Càrrega tèrmica de disseny a l'hivern (calefacció) [kW]	22.00
Demanda anual d'energia en mode calefacció [kWh]	45000
Càrrega tèrmica de disseny en mode producció d'ACS [kW]	2.00
Demanda anual d'energia per a producció d'ACS [kWh]	5000

3. Càrrega i demanda tèrmica (edifici genèric)

Geometria planta

☒ Quadrada ☐ Rectangular 1 ☐ Rectangular 2

☐ Calcular càrrega i demanda tèrmiques genèriques

Tipologia d'edifici

☒ Residencial (sense soterrani) ☐ Residencial (amb soterrani) ☐ Centre educatiu ☐ Oficines ☐ Hosteleria ☐ Centre sanitari ☐ Centre esportiu (sense piscina)

Superfície (considerant soterrani) [m2] 100.00

Nombre de plantes (soterrani no inclòs) 1

Relació obertures/superfície 0.20

Factor guany solar (hivern) 0.70

Factor guany solar (estiu) 0.45

Màxim nombre d'ocupants 4.0

Demanda ACS [l/persona/dia] 41

Temperatura de confort a l'hivern [°C] 21.0

Temperatura de confort a l'estiu [°C] 26.0

4. Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG) (Valors nominals)

☐ Escollir la meua pròpia BCG (Ref. #0) ☒ Elecció automàtica (base de dades)

Ref. BCG	P.calef. [kW]	COP	Prefri. [kW]	EER	Pacs [kW]	COP acs
1	3.50	4.63	3.14	4.35	3.21	3.00
2	6.77	4.72	6.13	4.33	6.20	3.05
3	7.30	4.65	6.47	4.23	6.60	3.01
4	9.04	4.55	7.64	4.18	8.29	2.94
5	11.62	4.55	10.70	4.01	10.65	2.84
6	15.46	4.73	13.10	4.13	14.17	3.08
7	18.91	4.73	16.10	4.17	17.34	3.08
8	23.90	4.78	20.50	4.40	21.91	3.09
9	28.44	4.80	22.10	4.60	23.32	2.98
10	29.79	4.68	25.60	4.41	27.28	3.03
11	35.23	4.86	29.00	4.28	32.30	3.15

Potència calefacció [kW] 26.00

COP 4.00

Potència refrigeració [kW] 22.00

EER 3.90

Potència ACS [kW] 25.00

COP ACS 3.25

5. Sistema de distribució a l'interior de l'edifici

CALOR ☐ Terra radiant ☒ Fancoils ☐ Radiadors

FRED ☐ Terra radiant ☒ Fancoils ☐ Radiadors

6. Disseny dels bescanviadors de calor (pous verticals de circuit tancat)

☒ Considerar correccions a la temperatura del subsòl

Espai pous [m] 6.0

Profunditat preliminar dels pous

☐ 80 m ☒ 100 m ☐ 120 m ☐ 140 m

☐ 90 m ☐ 110 m ☐ 130 m ☐ 150 m

Configuració sondes

☒ U-simple ☐ U-doble

☐ Introducció manual de propietats del subsòl

Temperatura no pertorbada del terreny [°C] 15.0

Diffusivitat tèrmica del terreny [mm2/s] 0.510

Conductivitat tèrmica del terreny [W/mK] 2.680

Ø_ext sondes (SDR-11)

☐ 32 mm ☒ 40 mm

Enrere Manual Geo-SIV v1.2 Valors per defecte Executar

Cas 1. Demanda coneguda (Panell 2). Per defecte es considera que l'usuari coneix els valors de càrregues i demandes tèrmiques. L'usuari ha d'introduir el valor de càrrega (potència) i demanda (energia) per a cadascun dels modes d'operació presents al projecte (refrigeració/fred, calefacció/calor i aigua calenta sanitària (ACS)). Els valors mínims imprescindibles per a poder executar l'aplicació són, o bé la càrrega i demanda de calor, o bé la càrrega i demanda de fred. No es contempla la possibilitat d'un projecte només amb demanda d'ACS. Per defecte es mostren valors de càrrega i demanda per als tres modes d'operació possibles.

Cas 2. Demanda desconeguda (Panell 3). L'usuari ha de marcar la casella "*Calcular càrrega i demanda tèrmiques genèriques*". S'inhabilitaran els camps del panell 2 i s'habilitaran els camps del panell 3.

Seleccionar primer la geometria d'edifici que millor s'ajusti a la seva realitat. Les opcions són:

- **Quadrada:** edifici de planta quadrada
- **Rectangular 1:** edifici de planta rectangular (relació entre costat llarg i curt de 2:1) amb la cara llarga orientada al sud.
- **Rectangular 2:** edifici de planta rectangular (relació entre costat llarg i curt de 2:1) amb la cara curta orientada al sud.

En tots els casos, es tracta de geometries simplifiades d'edificis aïllats (a quatre vents), amb una única zona de climatització interior, sense elements al voltant que puguin causar ombres.

Seguidament s'haurà de marcar la tipologia d'edifici. Les opcions són:

- **Residencial (sense soterrani)**
- **Residencial (amb soterrani)**
- **Centre educatiu**
- **Oficines**
- **Hosteleria**
- **Centre sanitari**
- **Centre esportiu (sense piscina)**

Dins de cada opció, apareixeran uns valors per defecte dels següents camps editables per l'usuari:

- **Superfície (considerant soterrani):** es considerarà el conjunt de tota la superfície construïda i hàbil, en m².

- **Nombre de plantes (soterrani no inclòs).**
- **Relació obertures/superfície** : aquest paràmetre és el quocient de l'àrea total de finestres o façana de vidre, dividit per la superfície total (sense tenir en compte el soterrani). El valor límit d'aquest paràmetre queda definit per la superfície construïda, l'alçada dels pisos i el nombre de plantes. El nombre de portes per planta i l'alçada dels pisos està definit internament segons la tipologia d'edifici.
- **Factor guany solar (hivern/estiu)**: representa la fracció d'irradiació solar que arriba a través dels acristallaments i que es transforma en guanys tèrmics dins de l'edifici. Aquest factor engloba diversos conceptes que contribueixen a determinar seu valor final, dels quals es destaquen:
 - Elements arquitectònics exteriors com balconades propers o la mateixa reculada del forat de la finestra.
 - Elements opacs fixos com els marcs de les finestres o variables com persianes o tendals.
 - Transmissió dels vidres (composició, configuració simple, doble o triple).
 - Absortivitat dels elements interiors (tipus i color del terra i les parets, mobiliari, cortines).
 - Patrons d'ús. A l'estiu és habitual utilitzar els elements opacs variables (finestres o tendals) per disminuir els guanys solars, mentre que a l'hivern es busca el contrari.

A continuació s'ofereixen una sèrie d'indicacions per a una elecció representativa del valor d'aquest paràmetres:

	Condicions de disseny	
Valor FGS	ESTIU	HIVERN
0.1 – 0.3	Acristallaments grans (>50% de l'àrea de la façana) p.ex.: Edificis d'oficines	-
0.3 – 0.5	Acristallaments moderats (15 – 30% de l'àrea de la façana) p.ex.: Residencial en climes temperats	Acristallaments grans (>50% de l'àrea de la façana) p.ex.: Edificis d'oficines
0.5 – 0.7	Acristallaments reduïts (<10% de l'àrea de la façana) p.ex.: Residencial en climes freds	Acristallaments moderats (15 – 30% de l'àrea de la façana) p.ex.: Residencial en climes temperats
0.7 – 0.9	-	Acristallaments reduïts (<10% de l'àrea de la façana) p.ex.: Residencial en climes freds

Un valor igual a 1 equival a l'absència total d'ombres i fins i tot de vidres, a més d'una absorció total a l'interior de l'edifici. D'altra banda, un valor nul seria equivalent a considerar que no hi ha finestres, si no parets. Per tant, l'usuari s'hauria de moure entre valors per sobre de 0.1 i per sota d'0.9 normalment.

- **Màxim nombre d'ocupants:** és el màxim nombre efectiu de persones convivint al mateix temps dins de l'edifici durant un dia sencer. Per obtenir aquest valor, s'ha de considerar la següent taula d'equivalència des d'un punt de vista d'emissió d'energia tèrmica:

TIPOLOGIA D'INDIVIDU	NOMBRE D'OCUPANTS EQUIVALENT
Home	1
dona	0.85
Nen (10-14 anys)	0.75
Nen (<10 anys)	0.6

IMPORTANT: En edificis que presentin rotació diària en els individus que l'ocupen (p.ex. centres esportius o hospitals), s'haurà de tenir en compte que és equivalent considerar un individu que hi passa tot el dia a 2 individus que hi passen la meitat del dia cadascú en períodes de temps consecutius.

- **Demanda ACS:** S'entén com els litres d'aigua calenta sanitària a 60 °C que requereix un ocupant per dia.

IMPORTANT: D'acord amb el punt anterior, s'haurà de tenir en compte que el valor dels litres d'ACS a 60°C correspon al nombre total d'individus que constitueixen un únic ocupant efectiu.

EXEMPLE: Si es considera un gimnàs amb una ocupació màxima efectiva de 50 ocupants, això pot significar que tenim 50 homes durant tot el dia o 500 homes al dia que hi passen cadascú 1/10 del temps disponible al gimnàs. Per tant, el càlcul de les necessitats d'ACS seran molt diferents en cada cas. Si es considera una demanda de 20 l/home, en el primer cas tindríem un valor de demanda d'ACS de 20 l/ocupant/dia. En el segon cas, tindríem una demanda de 200 l/ocupant/dia

- **Temperatures de confort a l'hivern i a l'estiu:** Són les temperatures que es consignarien a un eventual termòstat dins l'edifici. A l'hivern els valors possibles van des dels 15 fins als 25 °C, mentre que a l'estiu el rang és d'entre 20 i 35 °C. En cap cas s'acceptarà una temperatura de confort a l'hivern superior a la de l'estiu.

A banda d'aquests paràmetres editables, Geo-SIV utilitza una sèrie de paràmetres necessaris per a l'estimació de les càrregues tèrmiques de cada tipologia d'edifici, els quals no són editables per l'usuari, però que es poden consultar a l'ANNEX I, al final d'aquest document.

4.1.3 Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG). Panell 4.

4. Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG) (Valors nominals)

☐ Escollir la meua pròpia BCG (Ref. #0) ☒ Elecció automàtica (base de dades)

Ref. BCG	Pot. calef. [kW]	COP	Pot. refrig. [kW]	EER	Pacs [kW]	COP acs
1	3.50	4.83	3.14	4.35	3.21	3.00
2	8.77	4.72	6.13	4.30	6.20	3.05
3	7.30	4.65	6.47	4.23	6.69	3.01
4	9.04	4.55	7.94	4.18	8.29	2.94
5	11.82	4.55	10.70	4.01	10.65	2.84
6	15.48	4.73	13.10	4.13	14.17	3.08
7	18.91	4.73	16.10	4.17	17.34	3.06
8	23.90	4.78	20.50	4.40	21.91	3.09
9	25.44	4.60	22.10	4.60	23.32	2.98
10	29.76	4.68	25.60	4.41	27.28	3.03
11	35.23	4.86	29.00	4.28	32.30	3.15

- L'usuari ha d'escollir entre introduir manualment els valors nominals de la bomba de calor geotèrmica, o bé deixar que l'aplicació efectui automàticament una elecció entre les diferents opcions que té emmagatzemades internament (valors visibles però no editable al panell 4).
- Cas 1.** Elecció pròpia de la BCG. S'activen els següents camps:
 - Potència calefacció (kW):** Valor nominal de la potència tèrmica que aporta la BCG al fluid caloportador (aigua) a l'interior de l'edifici.
 - COP (Coefficient of Performance)** relació entre la potència de calefacció i la potència de consum elèctric de la BCG sota aquest mode d'operació.
 - Potència refrigeració (kW):** Valor nominal de la potència tèrmica que extreu la BCG del fluid caloportador (aigua) a l'interior de l'edifici.

- **EER** (*Energy Efficiency Ratio*): relació entre la potència de refrigeració i la potència de consum elèctric de la BCG sota aquest mode d'operació.
- **Potència ACS (kW)**: Valor nominal de la potència tèrmica que aporta la BCG al circuit d'aigua calenta sanitària.
- **COP ACS**: relació entre la potència de producció d'ACS i la potència de consum elèctric de la BCG sota aquest mode d'operació.

En tots els casos, s'ha de tenir en compte que el consum elèctric comptabilitzat ha d'estar d'acord amb la norma UNE-EN 14511 [AENOR, 2019] (bàsicament, el consum elèctric correspon a la suma del consum del(s) compressors i de les bombes de circulació del fluid caloportador des del camp de captació cap a la BCG i des de la BCG cap al sistema de distribució de l'edifici). A més, a l'hora d'introduir els valors nominals de les potències tèrmiques, s'han de tenir en compte els valors de les temperatures d'entrada i de sortida del fluid caloportador cap a i des de la BCG pels quals s'han obtingut aquests valors nominals (veure 4.1.4).

Cas 2. Elecció automàtica de la BCG. S'inactiven els camps corresponents a l'elecció per part de l'usuari. L'aplicació escull, d'acord amb els valors de la càrrega i la demanda tèrmica definits o calculats, el model de BCG més adient d'entre el llistat que es mostra en pantalla. Aquests valors nominals de potències tèrmiques i rendiments estan definits d'acord amb la norma UNE-EN 14511 [AENOR, 2019] i les següents condicions d'operació per defecte:

Mode	T_{ewt}^{BCG} (entrada evaporador) [°C]	T_{lwt}^{BCG} (sortida condensador) [°C]
Calefacció	10	45
Refrigeració	12	35
ACS	10	65

En qualsevol cas, d'acord amb la càrrega i demanda de l'edifici, la aplicació calcula automàticament el nombre d'unitats BCG necessàries.

4.1.4 Sistema de distribució a l'interior de l'edifici. Panell 5

Dades d'entrada de la instal·lació geotèrmica

1. Localització del projecte. Coordenades ETRS89 / UTM zona 31N (EPSG: 25831)

Catalunya ☐ Girona ciutat (àrees urbana i periurbana) ☒ X UTM 428960.0 Y UTM 4580260.0 VISSIR v3.26 (ICGC)

2. Càrrega i demanda tèrmica conegudes

Càrrega tèrmica de disseny a l'estiu (refrigeració) [kW] 19.00
 Demanda anual d'energia en mode refrigeració [kWh] 20000
 Càrrega tèrmica de disseny a l'hivern (calefacció) [kW] 22.00
 Demanda anual d'energia en mode calefacció [kWh] 45000
 Càrrega tèrmica de disseny en mode producció d'ACS [kW] 2.00
 Demanda anual d'energia per a producció d'ACS [kWh] 5000

3. Càrrega i demanda tèrmica (edifici genèric)

Geometria planta
☒ Quadrada
☐ Rectangular 1
☐ Rectangular 2

☐ Calcular càrrega i demanda tèrmiques genèriques

Tipologia d'edifici
☒ Residencial (sense soterrani)
☐ Residencial (amb soterrani)
☐ Centre educatiu
☐ Oficines
☐ Hosteleria
☐ Centre sanitari
☐ Centre esportiu (sense piscina)

Superfície (considerant soterrani) [m²] 100.00
 Nombre de plantes (soterrani no inclòs) 1
 Relació obertures/superfície 0.20
 Factor guany solar (hivern) 0.70
 Factor guany solar (estiu) 0.45
 Màxim nombre d'ocupants 4.0
 Demanda ACS [l/persona/dia] 41
 Temperatura de confort a l'hivern [°C] 21.0
 Temperatura de confort a l'estiu [°C] 26.0

4. Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG) (Valors nominals)

☐ Escollir la meua pròpia BCG (Ref. #0) ☒ Elecció automàtica (base de dades)

Ref. BCG	P.calef. [kW]	COP	Prefri. [kW]	EER	P.acs [kW]	COP acs
1	3.50	4.63	3.14	4.35	3.21	3.00
2	6.77	4.72	6.13	4.38	6.20	3.05
3	7.30	4.65	6.47	4.23	6.59	3.01
4	9.04	4.55	7.94	4.13	8.29	2.94
5	11.82	4.55	10.70	4.61	10.65	2.94
6	15.46	4.73	13.10	4.13	14.17	3.06
7	18.91	4.73	16.10	4.17	17.34	3.06
8	23.90	4.78	20.50	4.40	21.91	3.09
9	25.44	4.60	22.10	4.50	23.32	2.98
10	29.76	4.68	25.60	4.41	27.28	3.03
11	35.23	4.86	29.00	4.28	32.30	3.15

5. Sistema de distribució a l'interior de l'edifici

CALOR ☐ Terra radiant ☒ Fancoils ☐ Radiadors **FRED** ☒ Terra radiant ☐ Fancoils ☐ Radiadors

6. Disseny dels bescanviadors de calor (pous verticals de circuit tancat)

☒ Considerar correccions a la temperatura del subsòl Espai pous [m] 6.0

Profunditat preliminar dels pous

☐ 80 m ☒ 100 m ☐ 120 m ☐ 140 m
☐ 90 m ☐ 110 m ☐ 130 m ☐ 150 m

Configuració sondes

☒ U-simple ☐ U-doble

☐ Introducció manual de propietats del subsòl

Temperatura no pertorbada del terreny [°C] 15.0
 Diffusivitat tèrmica del terreny [mm²/s] 0.510
 Conductivitat tèrmica del terreny [W/mK] 2.680

Ø_ext sondes (SDR-11)

☐ 32 mm ☒ 40 mm

Enrere Manual Geo-SIV v1.2 Valors per defecte Executar

És important indicar el sistema de distribució d'energia tèrmica a l'interior de l'edifici, el qual defineix la temperatura d'impulsió amb la qual operarà la BCG, i de retruc, l'eficiència de la mateixa:

- **Terra radiant:** Es considera una temperatura d'impulsió de 35 °C a l'hivern i de 18 °C a l'estiu.
- **Fancoils:** Es considera una temperatura d'impulsió de 45 °C a l'hivern i de 7 °C a l'estiu.
- **Radiadors:** Es considera una temperatura d'impulsió de 55 °C (només per ús de calefacció).

L'usuari pot observar com canvien els valors de potència tèrmica i rendiment (COP o EER) a mida que canvia d'un sistema de distribució a altre.

Per a la producció d'ACS, no hi ha possibilitat d'elecció de sistema de distribució, tot i que s'assumeix que hi haurà un acumulador d'ACS a l'interior de l'edifici. En aquest cas, la temperatura d'impulsió nominal és de 65°C.

4.1.5 Disseny dels bescanviadors de calor. Panell 6.

Geo-SIV

Introducció Metodologia Dades d'Entrada Resultats disseny Anàlisi econòmica i ambiental Resultats rendibilitat i emissions Resum

Dades d'entrada de la instal·lació geotèrmica

1. Localització del projecte. Coordenades ETRS89 / UTM zona 31N (EPSG: 25831)

Catalunya ☐ Girona ciutat (àrees urbana i periurbana) ☒ X UTM 428960.0 Y UTM 4580260.0 VISSIR v3.26 (ICGC)

2. Càrrega i demanda tèrmica conegudes

Càrrega tèrmica de disseny a l'estiu (refrigeració) [kW] 19.00
 Demanda anual d'energia en mode refrigeració [kWh] 20000
 Càrrega tèrmica de disseny a l'hivern (calefacció) [kW] 22.00
 Demanda anual d'energia en mode calefacció [kWh] 45000
 Càrrega tèrmica de disseny en mode producció d'ACS [kW] 2.00
 Demanda anual d'energia per a producció d'ACS [kWh] 5000

3. Càrrega i demanda tèrmica (edifici genèric)

Geometria planta
☐ Calcular càrrega i demanda tèrmiques genèriques
☒ Quadrada ☐ Rectangular 1 ☐ Rectangular 2

Tipologia d'edifici
☒ Residencial (sense soterrani)
☐ Residencial (amb soterrani)
☐ Centre educatiu
☐ Oficines
☐ Hosteleria
☐ Centre sanitari
☐ Centre esportiu (sense piscina)

Superfície (considerant soterrani) [m2] 100.00
 Nombre de plantes (soterrani no inclòs) 1
 Relació obertures/superfície 0.20
 Factor guany solar (hivern) 0.70
 Factor guany solar (estiu) 0.45
 Màxim nombre d'ocupants 4.0
 Demanda ACS [l/persona/dia] 41
 Temperatura de confort a l'hivern [°C] 21.0
 Temperatura de confort a l'estiu [°C] 26.0

4. Característiques de la bomba de calor geotèrmica (BCG) (Valors nominals)

☐ Escollir la meua pròpia BCG (Ref. #0) ☒ Elecció automàtica (base de dades)

	Ref. BCG	P.calef. [kW]	COP	P.refri. [kW]	EER	P.acs [kW]	COP acs
Potència calefacció [kW]	1	3.50	4.63	3.14	4.35	3.21	3.00
	2	6.77	4.72	6.13	4.38	6.20	3.05
COP	3	7.30	4.65	6.47	4.23	6.59	3.01
	4	9.04	4.55	7.94	4.13	8.29	2.94
Potència refrigeració [kW]	5	11.62	4.55	10.70	4.61	10.65	2.94
EER	6	15.46	4.73	13.10	4.13	14.17	3.06
	7	18.91	4.73	16.10	4.17	17.34	3.06
Potència ACS [kW]	8	23.90	4.78	20.50	4.40	21.61	3.09
	9	25.44	4.80	22.10	4.50	23.32	2.98
COP ACS	10	29.76	4.68	25.60	4.41	27.28	3.03
	11	35.23	4.86	29.00	4.28	32.30	3.15

5. Sistema de distribució a l'interior de l'edifici

CALOR ☐ Terra radiant ☐ Fancolls ☒ Radiadors **FRED**

6. Disseny dels bescanviadors de calor (pous verticals de circuit tancat)

☒ Considerar correccions a la temperatura del subsòl Espai pous [m] 6.0

Profunditat preliminar dels pous Configuració sondes

☐ 80 m ☒ 100 m ☐ 120 m ☐ 140 m ☒ U-simple

☐ 90 m ☐ 110 m ☐ 130 m ☐ 150 m ☐ U-doble

☐ Introducció manual de propietats del subsòl

Temperatura no pertorbada del terreny [°C] 15.0 ☐ Ø_ext sondes (SDR-11)

Diffusivitat tèrmica del terreny [mm2/s] 0.510 ☐ 32 mm

Conductivitat tèrmica del terreny [W/mK] 2.680 ☒ 40 mm

Enrere Manual Geo-SIV v1.2 Valors per defecte Executar

- a. L'usuari pot decidir no aplicar correccions a la temperatura del subsòl $T_{subsòl}$ (casella marcada per defecte). Tot i que a efectes pràctics l'usuari pot identificar poques diferències entre deixar marcada o desmarcar aquesta casella (si atenem a l'anàlisi econòmica i ambiental), és important entendre les implicacions tècniques. La correcció de $T_{subsòl}$ fa referència a la majoria de casos en què el balanç d'energia tèrmica bescanviat amb el terreny al llarg d'un cicle anual sencer de calefacció+ACS-refrigeració és diferent de zero. Aquest excés o defecte de calor al terreny pot induir un escalfament o refredament progressiu del mateix a nivell local, que arribarà a un nou punt d'equilibri al cap d'uns anys. Aquest nou punt d'equilibri quedarà definit per un nou valor de $T_{subsòl}$ a nivell local, el qual afectarà principalment al rendiment de les bombes de calor. **Geo-SIV** efectua una estimació d'aquesta variació local de $T_{subsòl}$ assumint un escenari extrem a través d'una sèrie d'assumpcions, amb l'objectiu d'oferir a l'usuari un llindar superior del que seria esperable:

- **Absència de fenòmens d'advecció.** Es considera que no hi ha fluxos d'aigua subterrània significatius.
- **Disposició dels pous amb un patró de malla quadrada,** amb distància entre punts de la malla equivalent a la distància entre pous especificada per l'usuari.

D'aquesta manera es considera un escenari favorable a l'acumulació d'energia tèrmica en el volum de terreny definit pel camp de captació.

- b. L'usuari ha d'especificar la distància mitjana -provisional - entre perforacions (pous geotèrmics), expressada en metres.
- c. L'usuari ha de proposar un valor preliminar de la profunditat dels pous. Si bé el valor final dependrà dels càlculs de dimensionament, és apropiat tenir en consideració inicial les possibles dificultats tècniques o limitacions administratives, com serien la presència d'aqüífers confinats o altament carstificats o masses d'aigua protegides, o bé les capacitats tècniques de l'empresa perforadora. En aquest sentit, val a dir que els pous de més de 120 m són poc comuns en les instal·lacions projectades a Catalunya.
- d. L'usuari ha de seleccionar la configuració de sonda:
 - **Sonda tipus U-simple.** Una canonada d'anada i una altra de tornada a cada pou.
 - **Sonda tipus U-doble.** Dues canonades d'anada i dos més de tornada a cada pou.

L'elecció de sonda U-simple és la opció més estesa i assequible i més fàcil d'instal·lar, tot i que el bescanvi de calor amb el terreny és una mica menys eficient si es compara amb la sonda U-doble.

- e. L'usuari ha d'escollir entre dos valors possibles del diàmetre exterior de les canonades que conformen les sondes:
 - 32 mm
 - 40 mm

En ambdós casos, la relació entre el diàmetre exterior i el gruix del tub és de 11:1 (SDR 11).

S'assumeix que el material de les sondes és polietilè d'alta densitat (HDPE), amb una conductivitat tèrmica de 0.42 W/mK.

- f. L'usuari ha de decidir entre la introducció manual o automàtica de les propietats tèrmiques del terreny.
- g. **Cas 1.** Introducció manual. L'usuari ha d'aportar valors per a:
 - **Temperatura no pertorbada del terreny (T_{subsol}):** es tracta del valor de la temperatura del terreny (expressada en graus Celsius) a una profunditat tal que no pateix oscil·lacions apreciables al llarg de l'any (aproximadament a partir dels 15-20 m).

- **Difusivitat tèrmica del terreny (α_{subsol}):** es tracta del valor mitjà de la difusivitat tèrmica (expressada en mm²/s) del terreny en la ubicació del projecte.
- **Conductivitat tèrmica del terreny (λ_{subsol}):** es tracta del valor mitjà de la conductivitat tèrmica (expressada en W/mK) del terreny en la ubicació del projecte.

La introducció manual de la difusivitat i de la conductivitat només és possible si s'opta per l'àmbit de Catalunya (panell 1). Si s'opta per l'àmbit de la ciutat de Girona (àrees urbana i periurbana), l'elecció és sempre automàtica (es desactiva l'edició d'aquests camps), atès que les dades incorporades en les capes de geoinformació per aquest àmbit ja són de molta major precisió.

Cas 2. Dades carregades automàticament. És desactiva l'edició dels 3 camps mencionats anteriorment. T_{subsol} , així com α_{subsol} i λ_{subsol} es generen com a valors interpolats d'acord amb la ubicació XY, a partir la base de dades geològica de l'ICGC (veure 4.1.1).

Després de seguir els passos descrits anteriorment, l'usuari estarà a punt per clicar sobre el botó **“Executar”**. Si no hi ha errors, es procedirà al dimensionament del camp de captació i els resultats es mostraran automàticament en la següent pestanya **“Resultats disseny”**.

El botó **“Valors per defecte”** tornarà a carregar els valors originals dels camps editables de la present pestanya, tant si hem optat per l'àmbit de 'Catalunya', o per l'àmbit de la ciutat de Girona.

4.2 Pestanya “Resultats disseny”

En aquesta pestanya es mostren els principals resultats del procés de dimensionament del camp de captació geotèrmic, d'acord amb els valors de càrrega i demanda i els de l'equip bomba de calor. Aquests resultats es podran exportar en format ASCII clicant sobre el botó “**Generar informe**”¹. El nom de l'arxiu inclou la data de creació i serà del tipus:

“aaaammdd_hhmm_Informe_Disseny_GeoSIV.txt”

En aquest moment, l'usuari pot decidir entre finalitzar la seva simulació o bé passar a la pestanya “**Anàlisi econòmica i ambiental**”, clicant sobre la mateixa pestanya, o bé clicant sobre el botó “**Rendibilitat projecte**”.

L'usuari podrà escollir la ubicació de l'arxiu generat.

4.2.1 Camp de captació. Panell 7



En un primer apartat 7.1 l'usuari podrà consultar:

- **Nombre de pous geotèrmics:** és el nombre de pous estimats per cobrir la càrrega i demanda màximes, ja sigui calefacció/ACS o refrigeració. L'aplicació

¹ El botó estarà actiu només si prèviament s'ha executat la rutina de dimensionament (botó “Executar” a la pestanya “Dades d'entrada”).

realitza els càlculs considerant tant el “criteri d'hivern” com el “criteri d'estiu”, i escull l'opció amb un camp de captació requerit més gran. Al Camp “**Observacions**”, l'usuari pot consultar quin seria el resultat amb el criteri descartat.

- **Longitud mitjana dels pous:** és la longitud requerida per a les perforacions que s'ajusta millor a la profunditat preliminar definida prèviament per l'usuari (veure 4.1.5-b).
- **Superfície ocupada pel camp de captació:** Estimació realitzada a partir de la distància mitjana entre pous. Es calcula com la suma d'un nombre de quadrats equivalent al nombre de pous, el costat dels quals és igual a la separació entre pous.
- **T_{subsol} inicial:** Aquest serà el valor utilitzat per l'aplicació per al càlcul del dimensionament dels pous, tant si s'ha introduït manualment, com si no. Es tracta d'un valor de partida, donat que pot donar-se el cas d'una progressiva variació a nivell local, tal i com s'ha explicat a 4.1.5-a.

En el segon apartat 7.2, l'usuari podrà consultar:

- **Balanç energètic amb el subsol:** és la diferència entre l'energia extreta del subsol (operació de la BCG en mode calefacció i ACS) i l'energia injectada (mode refrigeració), al llarg d'un any. L'usuari advertirà que no tota l'energia aportada a l'edifici en mode calefacció/ACS es correspon amb l'energia extreta del subsol. De la mateixa manera, l'energia extreta de l'edifici en mode refrigeració no és tota l'energia injectada al subsol.

EXEMPLE: Si tenim una producció de CALOR de 50 MWh amb un COP mitjà de 4.0 una producció de FRED de 25 MWh amb un EER mitjà de 3.8, el balanç energètic amb el terreny es calcula de la manera següent:

$$\begin{aligned} E_{\text{balanç}} &= -E_{\text{calor}} \cdot \left(\frac{COP - 1}{COP} \right) + E_{\text{fred}} \cdot \left(\frac{EER + 1}{EER} \right) = \\ &= -50 \text{ MWh} \cdot \left(\frac{4 - 1}{4} \right) + 25 \text{ MWh} \cdot \left(\frac{3.8 + 1}{3.8} \right) \cong -5.92 \text{ MWh} \end{aligned}$$

El criteri de signes que segueix l'aplicació dicta que un balanç amb signe negatiu es correspon amb una extracció de calor durant l'hivern superior a la injecció durant l'estiu. Per tant, es podria donar el cas d'un refredament progressiu del terreny a llarg termini.

- **Estimació de la variació local de $T_{subsòl}$ a llarg termini:** Aquesta és la màxima variació de $T_{subsòl}$ que podria tenir lloc a nivell local un cop assolit un nou equilibri tèrmic entre el camp de captació i el terreny circumdant.
- **Període d'estabilització del terreny:** És el temps estimat fins que el terreny assoleix l'esmentat nou equilibri.

4.2.2 Bomba de calor. Panell 8.



Aquí l'usuari podrà consultar:

- **Potència tèrmica:** Són els valors nominals de la BCG utilitzada pel dimensionament del camp de captació, tant si és l'usuari qui els ha introduït manualment, com si ho ha fet l'aplicació de manera automàtica. D'altra banda, es mostra el nombre d'unitats requerits per cobrir la demanda de l'edifici.
- **COP / EER / COP_{acs}:** Són els valors nominals del rendiment instantani de la BCG en mode calefacció, refrigeració i de producció d'ACS, respectivament. Aquests paràmetres indiquen la relació entre la potència tèrmica entregada i el consum elèctric de la BCG, sota unes condicions determinades.
- **Temperatura d'entrada (evap.):** Són els valors de la temperatura del líquid calorportador a l'entrada de la BCG des dels pous (en mode calefacció i ACS) o des de l'edifici (en mode refrigeració). **Geo-SIV** escull automàticament

aquests valors en funció del T_{subsol} de la ubicació (en el cas de calefacció i ACS).

- **Temperatura de sortida (cond.):** Són els valors de la temperatura del líquid caloportador a la sortida de la BCG cap a l'edifici (en mode calefacció) o cap als pous (en mode refrigeració). **Geo-SIV** escull automàticament aquests valors en funció del sistema de distribució escollit per l'usuari (veure 4.1.4). Aquest valors són els que al mateix temps defineixen els valors nominals de potència tèrmica i rendiment instantani (COP, EER i COPacs).

4.2.3 Condicions climàtiques. Panell 9.



Aquí l'usuari podrà consultar:

- **Clima de referència:** L'aplicació escull un clima de referència dels establerts pel *código técnico de la edificación* (CTE) [IDAE, 2019], d'acord amb la ubicació introduïda per l'usuari al panell 1 de la pestanya "**Dades d'entrada**". A Catalunya n'apliquen 7: B3, C2, C3, D1, D2, D3 i E1.
- **Temperatura de disseny:** És la temperatura per a la qual es calcula la càrrega de disseny (que seria la potència màxima teòrica que podria donar l'equip de climatització), tant per al mode calefacció (hivern), com pel mode refrigeració (estiu). Això implica que aquestes temperatures són els valors considerats

“extrems” de T_{ext} , per sota i per sobre de les quals la ocurrencia al llarg de l'any és inferior a l'1 % i al 0.4%, respectivament². A cada clima de referència li correspon una temperatura de disseny per als modes calefacció i refrigeració (T_d^h i T_d^c , respectivament).

EXEMPLE: Si estem al clima C2 i un any té 8760 hores, l'ocurrencia (en termes estadístics) de $T_{ext} < 1^\circ\text{C}$ (valor de T_d^h per a aquest clima de referència) serà de ~ 88 h, mentre que l'ocurrencia de $T_{ext} > 31^\circ\text{C}$ (valor de T_d^c per a aquest clima de referència) serà de ~ 35 h, d'acord amb les dades horàries de T_{ext} proporcionades pel CTE.

- **Duració període estacional:** Es compta com la suma del nombre dies corresponents als mesos amb un mode d'operació predominant.
- **Temperatura líquid a pous (mín./màx.):** Són els valors de la temperatura del líquid caloportador $T_{ewt,min}$ i $T_{ewt,max}$ sota condicions de disseny d'hivern i estiu, respectivament, definits a les Eq. 18 i Eq. 19 (veure 3.3). Per a la seva estimació, des de **Geo-SIV** s'imposa el següent criteri³:

- $T_{ewt_h}^{BCG} = T_{subsol} - 7^\circ\text{C}$
- $T_{lwt_h}^{BCG} = T_{subsol} - 10^\circ\text{C} = T_{ewt_h}^{BCG} - 3^\circ\text{C}$
- $T_{ewt_c}^{BCG} = T_{subsol} + 10^\circ\text{C}$
- $T_{lwt_h}^{BCG} = T_{subsol} + 15^\circ\text{C} = T_{ewt_c}^{BCG} + 5^\circ\text{C}$

Utilitzant el valor corregit de T_{subsol} , és a dir, sota condicions d'equilibri tèrmic del terreny. La definició d'aquests valors determinarà la necessitat o no d'aportar anticongelant al líquid caloportador circulant pels pous.

² El criteri de “tall” té com a objectiu establir un llindar a partir del qual el cost extra d'augmentar la potència instal·lada no està compensat pel benefici en termes de confort.

³ Aquest criteri és empíric i té com a objectiu establir un equilibri entre l'operació eficient de la BCG i la contenció de la despesa d'inversió en les perforacions.

4.2.4 Característiques i comportament de la instal·lació. Panell 10.



En un primer apartat 10.1, l'usuari podrà consultar:

- **Càrrega de disseny:** són els valors de càrrega introduïts per l'usuari o bé calculats automàticament per l'aplicació, fruit de la metodologia **Geo-SIV**.
- **Potència instal·lada:** és la potència màxima nominal en cadascun dels modes d'operació de la bomba de calor geotèrmica. Aquest valor és el resultat de multiplicar els valors nominals de potència tèrmica de la BCG pel nombre d'unitats requerides.
- **Producció d'energia:** són els valors de demanda introduïts per l'usuari o bé calculats automàticament per l'aplicació. Aquests valors s'utilitzen posteriorment en l'anàlisi econòmic i ambiental per dimensionar una instal·lació alternativa de comparació (veure 4.3.2-a).
- **Rendiments estacionals:** Són els valors de rendiment definits com la divisió entre l'energia tèrmica generada/dissipada i el consum elèctric, al llarg de tot un any. Per al seu càlcul, s'ha tingut en compte que el rendiment de la BCG varia en funció de la temperatura d'entrada a la BCG T_{ewt}^{BCG} .

En un segon apartat 10.2, l'usuari podrà consultar:

- **Consum elèctric:** es calcula a partir dels valors de producció d'energia i els valors de rendiment estacional de la BCG, per a cadascun dels modes d'operació.
- **Potència a contractar:** es tracta de la màxima potència elèctrica que consumirà la instal·lació geotèrmica, necessària per saber quin serà el cost fixe mínim associat al contracte amb la companyia subministradora d'electricitat. Aquest valor no té perquè coincidir amb la potència instal·lada de l'edifici, donat que probablement hi hauran altres consums a part de la BCG (llums, electrodomèstics, etc.). No obstant, a efectes de la posterior anàlisi econòmica, s'ha de comptabilitzar la part estrictament proporcional a la BCG.
- **Consum elèctric total:** és la suma total del consum elèctric de la instal·lació geotèrmica.

4.2.5 Gràfica Càrrega/Potència i Demanda/Producció climatització

En aquesta pestanya, l'usuari podrà consulta de manera gràfica els següents resultats:



- **Càrrega/potència:** Es representa en funció de T_{ext} , per una banda, la càrrega de l'edifici ("el que l'edifici demanda") i la potència de la instal·lació ("el que se li pot donar"). Com es podrà apreciar en la majoria dels casos, per sota i per sobre de les temperatures de disseny, els valors màxims de potència es corresponen amb els valors nominals de la BCG.

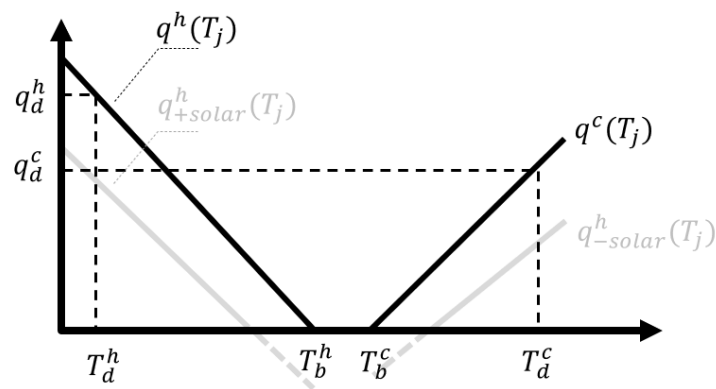


- **Demanda/Producció climatització:** Es representa en funció de T_{ext} , la quantitat d'energia demandada per l'edifici i la producció d'energia corresponent, d'acord amb la instal·lació dissenyada. L'usuari notarà que el nivell l'energia tèrmica demandada per sota i per sobre de les temperatures de disseny és tan baix que el desajust entre demanda i producció és gairebé imperceptible, la qual cosa justifica el concepte de temperatures i càrregues de disseny.

En ambdues opcions del gràfic es pot veure com els nivells de potència i de producció de climatització prenen valor nul al voltant de T_b^h i T_b^c . **Geo-SIV** estableix un marge de 6 °C entre T_b^h i T_b^c , en el qual es considera que l'edifici no tindrà una demanda real.

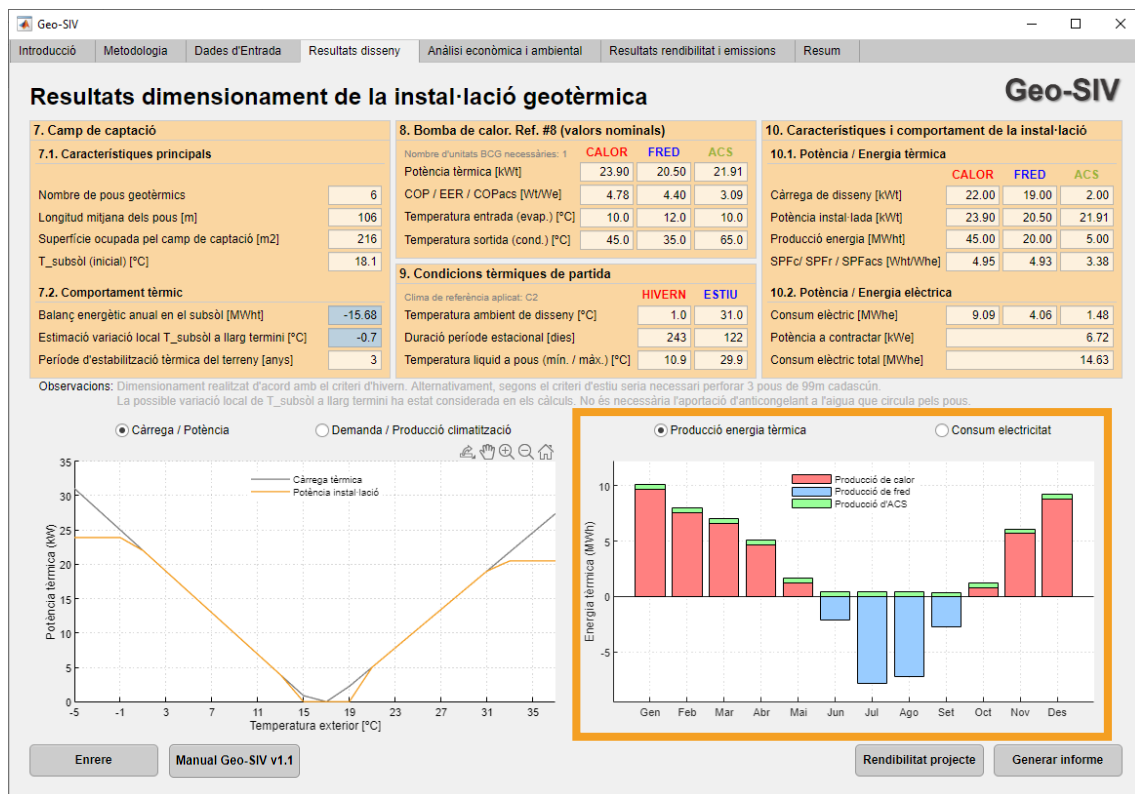
IMPORTANT: L'usuari notarà que aquest últim gràfic presenta notables diferències quan els valors de càrrega de disseny i demanda han estat introduïts per l'usuari i quan és Geo-SIV qui ho calcula. Aquesta diferència és deguda principalment al fet que

en el cas de valors coneguts i introduïts per l'usuari, es construeixen les corbes de càrrega i demanda vs. T_{ext} ($q^h(T_j)$, $q^c(T_j)$, $E^h(T_j)$ i $E^c(T_j)$) a posteriori. En canvi, quan Geo-SIV calcula la demanda d'un edifici, primer calcula les corbes de càrregues associades a tots els processos que impliquen guanys o pèrdues d'energia tèrmica en funció de T_{ext} i després avalua els valors totals de demanda. En aquest procés, a més a més, Geo-SIV fa una distinció entre les hores en que hi ha guanys solars, i les que no, el que es tradueix en dues corbes ($q^h(T_j)$ i $q_{+solar}^h(T_j)$) pel cas de producció de calefacció, i $q^c(T_j)$ i $q_{-solar}^c(T_j)$) pel cas de producció de refrigeració. Això té una repercussió important en les diferències entre les corbes de producció d'energia tèrmica, segons si la demanda és coneguda o no).



4.2.6 Gràfica Producció energia tèrmica i Consum electricitat

En aquesta pestanya l'usuari podrà consulta de manera gràfica els següents resultats:



- **Producció energia tèrmica:** Es representa els nivells de producció d'energia tèrmica (calor en vermell i ACS en verd amb signe positiu, i fred en blau amb signe negatiu), distribuït mensualment.



- **Consum electricitat:** Es representa mes a mes el consum d'electricitat total, desglossat per període tarifari ("vall" en color negre, "pla" en color gris fosc, i "punta" en color gris clar).

4.3 Pestanya “Anàlisi econòmica i ambiental”

En aquesta pestanya, l'usuari definirà un escenari comparatiu entre la instal·lació geotèrmica definida en els passos anteriors, i una instal·lació alternativa equivalent. L'objectiu és poder **pre-avaluar la rendibilitat econòmica i ambiental del sobrecost que suposa optar per la geotèrmia superficial enfront d'altres tecnologies establertes**. És important deixar clar que la rendibilitat a estudiar és la del sobrecost de la geotèrmia, i què la rendibilitat vindrà donada (o no) per l'estalvi que suposa operar un equip amb uns costos variables generalment inferiors a la resta.

A més, l'usuari podrà estudiar els beneficis (o no) d'hibridar les instal·lacions sota comparació amb energia solar fotovoltaica.

Els camps editables d'aquesta pestanya s'activaran només si prèviament s'ha realitzat el dimensionament d'un camp de captació.

Tots els valors utilitzats per defecte inclosos a **Geo-SIV** (preus combustible, electricitat, rendiment dels equips, costos específics, etc.) es poden consultar a l'ANNEX II, al final d'aquest document. Els valors monetaris es donen tots amb I.V.A. inclòs (21 %).

4.3.1 Dades bàsiques del projecte. Panell 1.

Geo-SIV

Introducció | Metodologia | Dades d'entrada | Resultats disseny | **Anàlisi econòmica i ambiental** | Resultats rendibilitat i emissions | Resum

Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental

1. Dades bàsiques del projecte

Nova instal·lació ☒ Substitució instal·lació existent ☐

Anys de vida, en cas d'instal·lació existent:

Vida estimada del projecte [anys]:

Taxa de descompte [%]:

Taxa inflació general anual [%]:

3. Costos de consum energètic (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

	ELECTRICITAT	BIOMASSA	GAS NATURAL	GAS PROPÀ	GASOIL
Cost fix (anual) €/kW	3.50	N.A.	70.00	0.00	N.A.
Inflació anual cost fix %	2.00	N.A.	2.00	2.00	N.A.
Cost variable €/kWh	0.11	0.25	0.07	1.80	0.80
Inflació anual cost variable %	4.00	2.00	1.00	1.00	1.00

2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

	GEOTÈRMIA			ALTERNATIVA		
	CALOR	FRED	ACS	CALOR	FRED	ACS
Cost específic pous/escomesa €/m.l.	40					
Cost específic sistema €/kW	1500	1350	1350	1350	1350	1350
Cost manteniment (anual) €/kW	8	10	10	10	10	10
Cost inversió climatització [€]	18142	5920	0	0	0	0
Cost inversió TOTAL [€]	18142	5920	0	5920	0	0
Instal·lació subvencionada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Import subvenció €	0	0	0	0	0	0
Finançament amb préstec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tram inversió amb préstec	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Taxa interès préstec	4.00 %	4.00 %	4.00 %	4.00 %	4.00 %	4.00 %
Període retorn préstec	15 anys	15 anys	15 anys	15 anys	15 anys	15 anys

4. Hibració amb energia solar fotovoltaica

Hibració amb PV ☐

Superfície disponible [m2]:

Cost específic PV [€/kWp]:

Eficiència conversió [%]:

Retribució excedents [€/kWh]:

Autoproducció PV [%]:

Potència PV [kWp]:

Àrea panells [m2]:

Acumulació amb bateries ☐

Cost específic bateries [€/kWh]:

Eficiència càrrega/descàrrega [%]:

Profunditat de descàrrega [%]:

Capacitat Nominal [kWh]:

Cost inversió PV+Bateries [€]:

Observacions: Per a escenaris comparatius de llarga durada, es contempla la renovació dels equips de climatització cada 15 anys i dels panells solars i bateries cada 20 anys (en cas d'hibridació amb PV). El cost de l'electricitat està diferenciat per període de tarificació vall/pia/punta (cost variable) i vall/pia-punta (cost fix). Es recomana incloure l'I.V.A. als valors monetaris editats per l'usuari. Es considera un sistema d'aerotèrmia per a producció de CALOR (i FRED i/o ACS) amb un rendiment estacional SPF_C = 3.80, SPF_F = 5.04 i SPF_{ACS} = 2.51

Enrere | Manual Geo-SIV v1.1 | Valors per defecte | Executar

- a. L'usuari ha de diferenciar si l'escenari comparatiu és el d'una instal·lació nova o bé si es tracta de substituir una instal·lació existent.

- b. En cas de tractar-se d'una substitució, s'activarà el camp "Anys de vida, en cas d'instal·lació existent", per poder especificar l'antiguitat de la instal·lació alternativa. Cal dir que a efectes de comparació entre instal·lacions, es considerarà que la instal·lació alternativa en aquest cas representa un cost zero d'inversió, perquè es tracta d'una despesa ja realitzada.
- c. L'usuari ha d'especificar la vida estimada del projecte. Per defecte es considera que són 15 anys. Aquest valor també s'assumeix com la vida útil dels equips. Per tant, si es consideren projectes de més llarga durada, s'afegirà el cost de la renovació dels equips (actualitzant el seu valor d'acord amb la inflació anual mitjana (veure apartat (e))). En el cas dels pous geotèrmics, la seva vida útil es considera que són 50 anys.
- d. L'usuari ha d'especificar un valor de taxa de descompte per a l'estudi comparatiu. Aquest valor es pot interpretar com la rendibilitat anual que obtindríem si en comptes de realitzar la nostra inversió extra en geotèrmia, invertíssim aquests diners en un producte financer de baix risc.
- e. L'usuari ha d'especificar un valor de taxa d'inflació anual mitjana. Aquest valor s'utilitza per actualitzar el valor dels costos de manteniment a mida que passen els anys, a més del cost de renovació dels equips, en cas que la vida del projecte sigui superior a la vida útil assumida pels equips (15 anys pels equips de climatització, i 20 anys per a les instal·lacions fotovoltaïques).

4.3.2 Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu. Panell 2.

Geo-SIV

Introducció | Metodologia | Dades d'entrada | Resultats disseny | Anàlisi econòmica i ambiental | Resultats rendibilitat i emissions | Resum

Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental

1. Dades bàsiques del projecte

Nova instal·lació ☐ Substitució instal·lació existent ☒

Anys de vida, en cas d'instal·lació existent: 0

Vida estimada del projecte [anys]: 15

Taxa de descompte [%]: 5.00

Taxa inflació general anual [%]: 2.00

2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

GEOTÈRMIA

Cost específic pous/escomesa: 40 €/m.L.

Cost específic sistema: 1500 €/kW

Cost manteniment (anual): 8 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 18142 €

Cost inversió TOTAL [€]: 18142 €

Instal·lació subvencionada ☐

Import subvenció: 0 €

Finançament amb préstec ☐

Tram inversió amb préstec: 0 %

Taxa interès préstec: 4.00 %

Període retorn préstec: 15 anys

ALTERNATIVA

CALOR

Aerotèrmia ☒

Cost específic sistema: 1350 €/kW

Cost manteniment (anual): 10 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 5920 €

Cost inversió TOTAL [€]: 5920 €

FRED

Aerotèrmia ☒

Cost específic sistema: 1350 €/kW

Cost manteniment (anual): 10 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 0 €

Cost inversió TOTAL [€]: 5920 €

ACS

Aerotèrmia ☒

Cost específic sistema: 1350 €/kW

Cost manteniment (anual): 10 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 0 €

Cost inversió TOTAL [€]: 5920 €

3. Costos de consum energètic (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

ELECTRICITAT		BIOMASSA	GAS NATURAL	GAS PROPÀ	GASOIL
Cost fix (anual)	3.50 €/kW	N.A.	70.00 €	0.00 €	N.A.
Inflació anual cost fix	2.00 %	N.A.	2.00 %	2.00 %	N.A.
Cost variable	0.11 €/kWh	0.25 €/kg	0.07 €/kWh	1.80 €/kg	0.80 €/l
Inflació anual cost variable	4.00 %	2.00 %	1.00 %	1.00 %	1.00 %

4. Hibridació amb energia solar fotovoltaica

Hibridació amb PV ☐

Superfície disponible [m2]: 1.0

Cost específic PV [€/kWp]: 1000.00

Eficiència conversió [%]: 15.0

Retribució excedents [€/kWh]: 0.07

Autoproducció PV [%]: 0.0

Potència PV [kWp]: 0.0

Àrea panells [m2]: 0.0

Acumulació amb bateries ☐

Cost específic bateries [€/kWh]: 1000.00

Eficiència càrrega/descàrrega [%]: 92.0

Profunditat de descàrrega [%]: 80.0

Capacitat Nominal [kWh]: 0.0

Cost inversió PV+Bateries [€]: 0

Observacions: Per a escenaris comparatius de llarga durada, es contempla la renovació dels equips de climatització cada 15 anys i dels panells solars i bateries cada 20 anys (en cas d'hibridació amb PV). El cost de l'electricitat està diferenciat per període de tarificació vall/pia/punta (cost variable) i vall/pia-punta (cost fix). Es recomana incloure l'I.V.A. als valors monetaris editats per l'usuari. Es considera un sistema d'aerotèrmia per a producció de CALOR i FRED i/o ACS amb un rendiment estacional SPFC = 3.80, SPFR = 5.04 i SPFACS = 2.51

Enrere | Manual Geo-SIV v1.1 | Valors per defecte | Executar

- a. L'usuari ha d'escollir entre les diferents opcions disponibles per construir el que serà la instal·lació de climatització "alternativa".

Per al mode calefacció (CALOR), es pot escollir entre:

- **Biomassa:** caldera de condensació de biomassa (pèl·lets).
- **Gas Natural:** caldera de condensació de gas natural.
- **Gas Propà:** caldera de condensació gas propà provinent de bombona d'11 kg, de 35 kg, o de dipòsit propi.
- **Gas Propà Canalitzat:** caldera de condensació de gas propà provinent d'una xarxa de gas líquat del petroli (GLP). Tot i ser poc comú en comparació amb el gas natural canalitzat, encara hi ha nombroses xarxes locals de gas propà canalitzat al territori català.
- **Gasoil:** caldera de condensació de gasoil provinent d'un dipòsit propi. Aquesta és una opció molt comuna en entorns rurals.
- **Electricitat:** sistemes de dissipació d'energia tèrmica per efecte Joule. Per calefacció, hem de considerar sistemes com radiadors de paret o terra radiant. Per a la producció d'ACS, es consideren tancs d'acumulació amb resistència interna.

- **Aerotèrmia:** bomba de calor aerotèrmica aire-aigua.

Pel mode refrigeració (FRED), les opcions són:

- **Aire Condicionat:** bomba de calor aerotèrmica aire-aire.
- **Aerotèrmia:** bomba de calor aerotèrmica aire-aigua.

Per últim, pel mode producció d'aigua calenta sanitària (ACS), les opcions que es consideren són:

- **Biomassa:** caldera de condensació de biomassa (pèl·lets).
- **Aerotèrmica:** bomba de calor aerotèrmica aire-aigua.
- **Col·lectors Solars Tèrmics:** conjunt de panells solars tèrmics amb sistema d'acumulació.

L'usuari ha de tenir en compte les següents assumpcions que l'aplicació executa de manera automàtica:

- En principi, només es troben actives les opcions desplegable (calor, fred o ACS) per a les quals existeix una demanda diferent de zero.

EXEMPLE: si tenim un edifici amb calefacció i ACS només, el menú desplegable corresponent a la producció de fred romandrà inactivat.

- Certes opcions són interdependents:
 - Si s'opta per "Biomassa" per a la producció de calefacció, l'aplicació assumeix que aquest sistema serà utilitzat per produir ACS, de manera que el menú desplegable d'ACS quedarà inactivat i amb el valor "Biomassa".
 - Si s'opta per "Aerotèrmia" per a la producció de calefacció, l'aplicació assumeix que aquest sistema serà utilitzat també per a refrigeració i ACS, de manera que quedaran inactivats els menús desplegables de refrigeració i ACS, ambdós amb el valor "Aerotèrmia".
 - Si s'opta per qualsevol opció de calefacció que no sigui ni "Biomassa" ni "Aerotèrmica", i s'opta per "Aerotèrmica" per a la producció de refrigeració, l'aplicació assumeix que aquest sistema també serà utilitzat per produir ACS, de manera que el menú desplegable d'ACS quedarà inactivat i amb el valor "Aerotèrmia".

- La opció d'ACS ha de complir amb el CTE [IDAE, 2019]. Això implica que la fracció mínima d'energia primària requerida per a la producció d'ACS és del 60% per a consums de <5000 l/dia, i del 70% en la resta de casos. L'aplicació Geo-SIV només considera casos en que la demanda d'ACS és sempre <5000 l/dia.
- Si el menú desplegable d'ACS es troba actiu, poden tenir lloc els següents escenaris:
 - Si s'opta per "Biomassa" o "Col·lectors Solars Tèrmics", la demanda d'ACS que es considera coberta amb aquests sistemes és del 60%, i el 40% restant quedarà cobert pel sistema escollit per a la producció de calor. En cas de que no tinguem demanda de calor, es considera per defecte una caldera de condensació amb gas natural com a instal·lació de suport per a l'ACS.
 - Si s'opta per "Aerotèrmia", la demanda d'ACS que es considera coberta amb aquest sistema és del 100%.

IMPORTANT: En cas que es vulgui representar un escenari comparatiu amb un edifici antic a on l'ACS es produeixi amb gas natural o un altre sistema no renovable (gas propà, gasoil, caldera elèctrica), es recomana anar al panell "dades d'entrada", i canviar els valors de demanda de la següent manera:

- *La demanda d'ACS se suma al valor de demanda de calefacció.*
- *Es posa a zero el valor de demanda d'ACS.*

D'aquesta manera, la simulació permetrà aproximar-se a l'escenari comparatiu desitjat.

A l'ANNEX III es dona indicacions com es calculen els rendiments estacionals dels sistemes basats en bomba de calor (aerotèrmia i aire condicionat).

- b. L'usuari pot editar els valors dels costos fixos i el manteniment tant de la geotèrmia com de l'alternativa:
 - **Cost específic pous/escomesa:** en el cas de la geotèrmia, fa referència al cost per metre lineal (m.l.) dels pous. Això inclou la perforació i la instal·lació de les sondes. En el cas d'instal·lacions de subministres de gas canalitzats (Gas Natural i Gas Propà Canalitzat), i sempre que parlem d'una nova instal·lació, se'ns farà visible un nou camp, que correspon al cost de l'escomesa de gas.

- **Cost específic sistema:** costos referents als equips per a climatització i producció d'ACS com serien calderes, bombes de calor, col·lectors solars tèrmics i tancs d'acumulació, a més dels costos referents a tot el cablejat, canonades, grups de pressió, vàlvules, sistemes de monitoratge, etc. Aquest valor també ha d'incloure el cost de la mà d'obra i la maquinària requerida per a la instal·lació.
- **Cost manteniment (anual):** costos de manteniment anual.

En el cas particular dels col·lectors solars tèrmics, els costos específics i de manteniment estan expressats per unitat d'àrea, i no per unitat de potència.

IMPORTANT: En cap cas es considera dins de l'estudi econòmic les despeses associades als sistemes de distribució (terra radiant, fancoils, etc.).

- c. L'usuari té la possibilitat de contemplar mesures de finançament extern, com serien les subvencions a fons perdut i/o préstecs bancaris, tant per a la geotèrmia com per a l'alternativa. En cas de tractar-se d'una substitució d'una instal·lació existent, aquestes opcions romandran inactives per a l'alternativa. El límit màxim subvencionable que permet l'aplicació és del 100%, mentre que el límit màxim de préstec quedarà determinat automàticament per la existència i quantia de subvencions.

4.3.3 Costos de consum energètic. Panell 3.

Geo-SIV

Introducció | Metodologia | Dades d'entrada | Resultats disseny | Anàlisi econòmica i ambiental | Resultats rendibilitat i emissions | Resum

Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental

1. Dades bàsiques del projecte

Nova instal·lació ☐ Substitució instal·lació existent ☒

Anys de vida, en cas d'instal·lació existent:

Vida estimada del projecte [anys]:

Taxa de descompte [%]:

Taxa inflació general anual [%]:

3. Costos de consum energètic (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

	ELECTRICITAT	BIOMASSA	GAS NATURAL	GAS PROPÀ	GASOIL
Cost fix (anual)	3.50 € /kW	N.A.	120.00 €	0.00 €	N.A.
Inflació anual cost fix	2.00 %	N.A.	2.00 %	2.00 %	N.A.
Cost variable	0.11 € /kWh	0.25 €/kg	0.05 €/kWh	1.80 €/kg	0.80 €/l
Inflació anual cost variable	4.00 %	2.00 %	1.00 %	1.00 %	1.00 %

2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

	GEOTÈRMIA			ALTERNATIVA		
	CALOR	FRED	ACS	CALOR	FRED	ACS
Cost específic pous/escomesa	40 €/m.L.	129 €		129 €		
Cost específic sistema	1500 €/kW	104 €/kW		1350 €/kW		1350 €/kW
Cost manteniment (anual)	8 €/kW	9 €/kW		10 €/kW		10 €/kW
Cost inversió climatització [€]	18142 €	577 €		5920 €		0 €
Cost inversió TOTAL [€]	18142 €			6498 €		
Instal·lació subvencionada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Import subvenció	0 €			0 €		
Finançament amb préstec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Tram inversió amb préstec	0 %			0 %		0 %
Taxa interès préstec	4.00 %			4.00 %		4.00 %
Període retorn préstec	15 anys			15 anys		15 anys

Observacions: Per a escenaris comparatius de llarga durada, es contempla la renovació dels equips de climatització cada 15 anys i dels panells solars i bateries cada 20 anys (en cas d'hibridació amb PV). El cost de l'electricitat està diferenciat per període de tarificació vall/pla/punta (cost variable) i vall/pla-punta (cost fix). Es recomana incloure l'I.V.A. als valors monetaris editats per l'usuari. Es considera una caldera de condensació de gas natural per a la producció de CALOR amb un rendiment del 95 %. Es considera un sistema d'aerotèrmia per a producció de FRED (i ACS) amb un rendiment estacional SPFR = 5.04 i SPFACS = 2.51

4. Híbridació amb energia solar fotovoltaica

	GEOTÈRMIA	ALTERNATIVA
Híbridació amb PV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Superfície disponible [m2]		1.0
Cost específic PV [€/kWp]		1000.00
Eficiència conversió [%]		15.0
Retribució excedents [€/kWh]		0.07
Autoproducció PV [%]	0.0	0.0
Potència PV [kWp]	0.0	0.0
Àrea panells [m2]	0.0	0.0
Acumulació amb bateries	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cost específic bateries [€/kWh]		1000.00
Eficiència càrrega/descàrrega [%]		92.0
Profunditat de descàrrega [%]		80.0
Capacitat Nominal [kWh]	0.0	0.0
Cost inversió PV+Bateries [€]	0	0

Enrere Manual Geo-SIV v1.1 Valors per defecte Executar

L'usuari pot editar els valors dels costos fixos i variables associats a cadascuna de les fonts d'energia implicades en les diferents opcions de l'escenari comparatiu (impostos inclosos). Així mateix, es poden editar els valors de la inflació anual mitjana prevista per a cada font d'energia, tant per la part fixa com la variable:

- **ELECTRICITAT:** valors corresponents a una Tarifa 2.0 amb discriminació horària. El terme fix està diferenciat pels períodes horaris “vall” (de 0h a 8h, caps de setmana i festius nacionals) i “pla-punta” (resta d'hores). El terme variable està diferenciat pels períodes horaris “vall” (de 0h a 8h, caps de setmana i festius nacionals), “pla” (de 8h a 10h, de 14h a 18h i de 22h a 0h) i “punta” (resta d'hores). Pot passar que el valor de la potència elèctrica instal·lada sigui superior als 15 kW, tant per a la geotèrmia com per a l'alternativa. En aquest cas s'hauria d'aplicar els valors d'una tarifa 3.0, però aquesta opció no està disponible en aquesta versió de **Geo-SIV**. Per tant, a partir de 15 kW de potència contractada, **Geo-SIV** treballa amb la tarifa 2.0 com a aproximació.
- **BIOMASSA:** valors expressats en €/kg.

- **GAS NATURAL:** valors expressats en €/kWh per la part variable, i en €/any per la part fixa. Els valors per defecte s'actualitzen automàticament depenent de la demanda total anual.
- **GAS PROPÀ:** valors expressats en €/kg per la part variable, i en €/any per la part fixa (en el cas de gas propà canalitzat). Els valors per defecte s'actualitzen automàticament depenent de la demanda total anual.
- **GASOIL:** valors expressat en €/l.

4.3.4 Observacions. Etiquetes a peu de pestanya

Geo-SIV

Introducció

Metodologia

Dades d'entrada

Resultats disseny

Anàlisi econòmica i ambiental

Resultats rendibilitat i emissions

Resum

Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental

Geo-SIV

1. Dades bàsiques del projecte

Nova instal·lació

Substitució instal·lació existent

0

Anys de vida, en cas d'instal·lació existent

15

Vida estimada del projecte [anys]

5.00

Taxa de descompte [%]

2.00

Taxa inflació general anual [%]

3. Costos de consum energètic (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

ELECTRICITAT

BIOMASSA

GAS NATURAL

GAS PROPÀ

GASOIL

Cost fix (anual)	3.50	40.00	€kW	N.A.	120.00	€	0.00	€	N.A.
Inflació anual cost fix		2.00	%	N.A.		2.00	%	2.00	%
Cost variable	0.11	0.16	0.29	€/kWh	0.25	€/kg	0.05	€/kWh	1.80
Inflació anual cost variable		4.00	%	2.00	%	1.00	%	1.00	%

2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

GEOTÈRMIA

ALTERNATIVA

CALOR

FRED

ACS

Gas Natural

Aerotèrmia

Aerotèrmia

Cost específic pous/escomesa	40	€m.L	129	€			
Cost específic sistema	1500	€/kW	104	€/kW	1350	€/kW	1350
Cost manteniment (anual)	8	€/kW	9	€/kW	10	€/kW	10
Cost inversió climatització [€]	18142	€	577	€	5920	€	0
Cost inversió TOTAL [€]	18142	€			6498	€	
Instal·lació subvencionada							
Import subvenció	0	€		€			
Finançament amb préstec							
Tram inversió amb préstec	0	%		0	%		
Taxa interès préstec	4.00	%		4.00	%		
Període retorn préstec	15	anys		15	anys		

4. Hibridació amb energia solar fotovoltaica

GEOTÈRMIA

ALTERNATIVA

Hibridació amb PV		
Superfície disponible [m2]		1.0
Cost específic PV [€/kWp]		1000.00
Eficiència conversió [%]		15.0
Retribució excedents [€/kWh]		0.07
Autoproducció PV [%]		0.0
Potència PV [kWp]		0.0
Àrea panells [m2]		0.0
Acumulació amb bateries		
Cost específic bateries [€/kWh]		1000.00
Eficiència càrrega/descàrrega [%]		92.0
Profunditat de descàrrega [%]		80.0
Capacitat Nominal [kWh]		0.0
Cost inversió PV+Bateries [€]		0

Observacions:

Per a escenaris comparatius de llarga durada, es contempla la renovació dels equips de climatització cada 15 anys i dels panells solars i bateries cada 20 anys (en cas d'hibridació amb PV).

El cost de l'electricitat està diferenciat per període de tarificació vall/pla/punta (cost variable) i vall/pla-punta (cost fix). Es recomana incloure l'I.V.A. als valors monetaris editats per l'usuari.

Es considera una caldera de condensació de gas natural per a la producció de CALOR amb un rendiment del 95 %

Es considera un sistema d'aerotèrmia per a producció de FRED (i ACS) amb un rendiment estacional SPFR = 5.04 i SPFACS = 2.51

Enrere

Manual Geo-SIV v1.1

Valors per defecte

Executar

Aquí l'usuari podrà consultar informació d'interès en relació a les tecnologies que formen la opció alternativa. Per exemple, s'informa dels rendiments assumits per a cada equip.

4.3.5 Hibridació amb energia solar fotovoltaica. Panell 4.

Geo-SIV

Introducció Metodologia Dades d'entrada Resultats disseny Anàlisi econòmica i ambiental Resultats rendibilitat i emissions Resum

Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental

1. Dades bàsiques del projecte

Nova instal·lació ☐ Substitució instal·lació existent ☐

Anys de vida, en cas d'instal·lació existent: 0

Vida estimada del projecte [anys]: 15

Taxa de descompte [%]: 5.00

Taxa inflació general anual [%]: 2.00

3. Costos de consum energètic (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

ELECTRICITAT		BIOMASSA	GAS NATURAL	GAS PROPÀ	GASOIL
Cost fix (anual)	3.50 €	N.A.	120.00 €	0.00 €	N.A.
Inflació anual cost fix	2.00 %	N.A.	2.00 %	2.00 %	N.A.
Cost variable	0.11 €	0.25 €/kg	0.05 €/kWh	1.80 €/kg	0.80 €/l
Inflació anual cost variable	4.00 %	2.00 %	1.00 %	1.00 %	1.00 %

2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu (valors monetaris amb I.V.A. inclòs)

GEOTÈRMIA

Cost específic pous/escomesa: 40 €/m.L.

Cost específic sistema: 1500 €/kW

Cost manteniment (anual): 8 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 18142 €

Cost inversió TOTAL [€]: 18814 €

Instal·lació subvencionada ☐

Import subvenció: 0 €

Finançament amb préstec ☐

Tram inversió amb préstec: 0 %

Taxa interès préstec: 4.00 %

Període retorn préstec: 15 anys

ALTERNATIVA

CALOR

Gas Natural

Cost específic: 129 €

Cost específic sistema: 104 €/kW

Cost manteniment (anual): 9 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 577 €

FRED

Aerotèrmia

Cost específic: 1350 €/kW

Cost específic sistema: 10 €/kW

Cost manteniment (anual): 10 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 5920 €

ACS

Aerotèrmia

Cost específic: 1350 €/kW

Cost específic sistema: 10 €/kW

Cost manteniment (anual): 10 €/kW

Cost inversió climatització [€]: 0 €

4. Hibridació amb energia solar fotovoltaica

Hibridació amb PV ☒

Superfície disponible [m2]: 150.0

Cost específic PV [€/kWp]: 1000.00

Eficiència conversió [%]: 15.0

Retribució excedents [€/kWh]: 0.07

Autoproducció PV [%]: 50.0

Potència PV [kWp]: 0.7

Àrea panells [m2]: 4.5

Acumulació amb bateries ☐

Cost específic bateries [€/kWh]: 1000.00

Eficiència càrrega/descàrrega [%]: 92.0

Profunditat de descàrrega [%]: 80.0

Capacitat Nominal [kWh]: 3.0

Cost inversió PV+Bateries [€]: 672

Observacions: Per a escenaris comparatius de llarga durada, es contempla la renovació dels equips de climatització cada 15 anys i dels panells solars i bateries cada 20 anys (en cas d'hibridació amb PV). El cost de l'electricitat està diferenciat per període de tarificació vall/pia/punta (cost variable) i vall/pia-punta (cost fix). Es recomana incloure l'I.V.A. als valors monetaris editats per l'usuari. Es considera una caldera de condensació de gas natural per a la producció de CALOR amb un rendiment del 95 %. Es considera un sistema d'aerotèrmia per a producció de FRED (i ACS) amb un rendiment estacional SPFR = 5.04 i SPFACS = 2.51

Enrere Manual Geo-SIV v1.1 Valors per defecte Executar

a. L'usuari ha de decidir si qualsevol de les instal·lacions sota comparació, o les dues, compten amb una instal·lació de suport per a la producció d'energia elèctrica amb panells fotovoltaics. En cas afirmatiu (casella "Hibridació amb PV marcada"), s'activaran els camps editables comuns i aquells específics corresponents a la geotèrmia i/o l'alternativa:

- **Superfície disponible:** Superfície hàbil per a la instal·lació de panells fotovoltaics (terrats o espais confrontats a l'edifici, per exemple). L'usuari ha de tenir en compte que l'aplicació considera un factor d'ocupació màxim del 40% d'aquesta superfície, donat que s'assumeix una inclinació dels panells de 30° respecte l'horitzontal, i que és necessari deixar espai entre fileres de panells per evitar ombres, obstacles i per l'accés als operaris de instal·lació i manteniment.
- **Cost específic PV:** Cost per unitat de potència pic (kW_p). Cal recordar que la potència pic d'un panell solar és aquella que pot subministrar sota condicions d'irradiació solar de 1kW/m², a una temperatura de cel·la fotovoltaica de 25 °C i una massa d'aire equivalent d'1.5. El cost inclou tots elements complementaris a part dels panells (elements de suport estructural, cablejat, inversors, instal·lació, etc.).

- **Eficiència conversió:** Aquí considerem la eficiència com el quocient entre la potència pic entregada després dels inversors i la potència solar irradiada.
- **Retribució excedents:** És el preu per kWh que ens pagaria la companyia elèctrica pels excedents produïts i bolcats a xarxa.
- **Autoproducció:** Aquí es demana quin percentatge de tota l'energia elèctrica consumida per la instal·lació (geotèrmia i/o alternativa) desitgem produir amb la instal·lació fotovoltaica. Geo-SIV imposa un límit establert automàticament a partir de la superfície disponible proposada i l'eficiència de conversió foto-eléctrica de la instal·lació fotovoltaica.

EXEMPLE: Considerem una instal·lació a Barcelona (clima de referència C2, irradiació anual mitjana sobre panells a 30° de 4.49 kWh/m²/dia), amb un consum anual de 15000 kWh_e i 100 m² de superfície disponible. Si la eficiència de la instal·lació fotovoltaica és del 15%, això implica que el màxim d'electricitat que podríem arribar a autoproduir és:

$$E_{max}^{PV} = 100m^2 \cdot 0.4 \cdot \frac{4.49kWh}{m^2 \cdot dia} \cdot 365dies \cdot 0.15 = 9833.1kWh_e$$

Per tant, el percentatge màxim d'autoproducció serà de:

$$100 \cdot \frac{11804.1}{15000} \cong 65.6\%$$

A partir de les dades introduïdes l'aplicació calcularà la potència pic i àrea de panells corresponent. Cal tenir en compte que, en un projecte real l'àrea de panells estimada s'hauria de corregir d'acord amb la mida i nombre de panells comercials que més s'ajustés a aquest valor.

- b. L'usuari ha de decidir si complementa la instal·lació de panells solars fotovoltaics amb una estació d'acumulació amb bateries. En cas afirmatiu (casella "Acumulació amb bateries" marcat), s'hauran d'emplenar els següents camps:
- **Cost específic bateries:** aquest valor s'expressa per unitat d'energia acumulada. L'aplicació assumeix que l'estació d'acumulació es configura de tal manera que el voltatge i intensitat de sortida són els

més adequats per cobrir la potència màxima requerida per la instal·lació de climatització.

- **Eficiència càrrega/descàrrega:** És el percentatge d'energia emmagatzemada respecte l'energia aportada a la bateria. D'igual manera, representa l'energia utilitzable respecte l'energia extreta de la bateria. Aquest valor té en compte les pèrdues en forma de calor en el procés de càrrega i descàrrega.
- **Profunditat de descàrrega:** El valor introduït ha d'ésser interpretat per l'usuari com el valor màxim de descàrrega de les bateries en cada cicle per garantir la seva operativitat al llarg d'una vida útil de 20 anys (o bé < 10000 cicles). Tot i ser una vida útil elevada per a una bateria, avui dia hi ha opcions al mercat que poden arribar a complir amb aquest nivell de fiabilitat. No obstant, com més alt sigui el valor introduït (el màxim que permet l'aplicació és un 90 %), menys realista serà l'assumpció d'una vida útil tan llarga.
- **Capacitat nominal:** És el valor màxim d'energia elèctrica acumulable pel banc de bateries. Per defecte, l'aplicació calcula un valor corresponent a la producció diària mitjana d'energia elèctrica dels panells fotovoltaics. Es recomana revisar aquest valor a la baixa, donat que l'ús de bateries pot encarir notablement el nivell d'inversió requerit.

EXEMPLE: Considerem l'exemple anterior. La producció d'electricitat diària mitjana serà

$$\overline{E_{diària}^{PV}} = 100m^2 \cdot 0.4 \cdot \frac{4.49kWh}{m^2 \cdot dia} \cdot 0.15 = 26.94 kWh_e$$

Si es vol instal·lar un sistema d'acumulació, amb un preu de 1000 €/kWh, la inversió ascendiria a prop de 27000 €, i per tant, es recomanaria reduir la capacitat nominal al voltant dels 10 kWh en aquest cas particular.

Els valors de les inversions (camps amb fons taronja “**Cost inversió climatització**”, “**Cost inversió PV+Bateries**” i “**Cost inversió TOTAL**”) s'actualitzaran automàticament cada cop que editem qualsevol dels camps utilitzats pel seu càlcul.

Clicant sobre el botó “**Valors per defecte**” recuperarem tots els valors i opcions especificats per defecte a l'aplicació.

Un cop introduïdes totes les dades que defineixen l'escenari comparatiu, es pot clicar el botó “Executar”. Automàticament, ens apareixerà un missatge d'avís en pantalla que ens recorda la necessitat de revisar els valors monetaris que Geo-SIV aporta per defecte. En segon pla, Geo-SIV realitzarà l'anàlisi econòmica i ambiental:

The screenshot shows the Geo-SIV v1.2 software interface. The main window is titled "Dades d'entrada per a l'anàlisi econòmica i ambiental". It contains several sections for input data:

- 1. Dades bàsiques del projecte:** Includes options for "Nova instal·lació" or "Substitució instal·lació existent", and input fields for "Anys de vida", "Vida estimada del projecte", "Taxa de descompte", and "Taxa inflació general anual".
- 3. Costos de consum energètic:** A table showing costs for ELECTRICITAT, BIOMASSA, GAS NATURAL, GAS PROPÀ, and GASOIL. Values are entered in €/kW, €/kg, or €/kWh.
- 2. Dades d'entrada per a l'estudi comparatiu:** A table for GEOTÈRMIA and ALTERNATIVA, including costs for specific systems, investment, and maintenance.
- 4. Hibridació amb energia solar fotovoltaica:** A table for GEOTÈRMIA and ALTERNATIVA, including options for PV installation, battery storage, and investment.

A warning message box is displayed in the center, titled "Missatge d'avís". It contains a yellow triangle icon and the following text:

El valor del "Cost específic sistema" que Geo-SIV mostra per defecte s'ha de revisar i adaptar a les circumstàncies del projecte, atès que pot variar en funció del fabricant, model i el nombre d'equips necessaris per cobrir la potència sol·licitada.

The "OK" button is visible at the bottom right of the warning box.

At the bottom of the main window, there are buttons for "Enrere", "Manual Geo-SIV v1.2", "Valors per defecte", and "Executar".

4.4 Pestanya “Resultats rendibilitat i emissions”

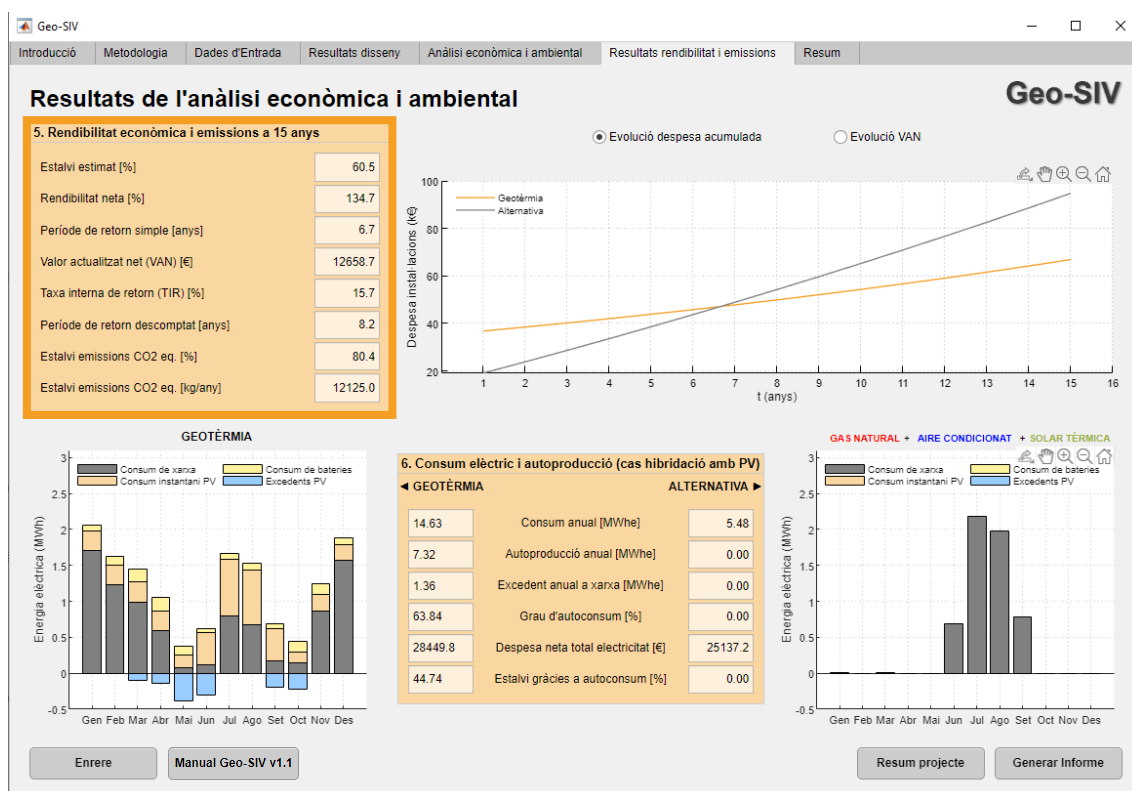
En aquesta pestanya es mostren els principals resultats de l'anàlisi econòmica i ambiental realitzada considerant els resultats del dimensionament de instal·lació geotèrmica (pestanya “**Resultats disseny**”) i les dades introduïdes per a definir l'escenari comparatiu (pestanya “**Anàlisi econòmica i ambiental**”). D'aquí l'usuari podrà extreure informació detallada sobre els punts a favor o en contra de la instal·lació geotèrmica en relació a la instal·lació alternativa escollida.

Aquests resultats, sumats al del disseny prèviament realitzat, es podran exportar en format ASCII clicant sobre el botó “**Generar informe**”⁴. El nom de l'arxiu inclou la data de creació i serà del tipus:

“aaaammdd_hhmm_Informe_Complert_GeoSIV.txt”

L'usuari podrà escollir la ubicació de l'arxiu generat.

4.4.1 Rendibilitat econòmica i emissions. Panell 5.



⁴ El botó estarà actiu només si prèviament s'han executat les rutines de dimensionament i d'anàlisi econòmica i ambiental (botons “Executar” a les pestanyes “Dades d'entrada” i “Anàlisi econòmica i ambiental”).

Aquí l'usuari podrà consultar:

- **Estalvi esperat** (relatiu): És l'estalvi relatiu al llarg de la vida del projecte en les despeses de caràcter variable com són el manteniment i el combustible i/o l'electricitat. Queden excloses les despeses financeres (interessos).
- **Rendibilitat neta**: Rendibilitat de la despesa extra que suposaria invertir en geotèrmia en comparació amb l'alternativa definida per l'usuari. Es calcula com el quocient entre la diferència entre les despeses totals acumulades (benefici net) i la diferència entre els costos totals d'inversió.
- **Període de retorn simple**: és el temps estimat transcorregut entre l'inici del projecte i el moment en que la despesa acumulada amb la instal·lació alternativa superaria la despesa acumulada amb la instal·lació geotèrmica.
- **Valor actualitzat net (VAN)**: Aquest indicador es pot interpretar com el benefici obtingut per la inversió realitzada per sobre del benefici d'haver invertit la mateixa quantitat de diners en un producte financer de baix risc, i està modulats per la taxa de descompte:

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (Eq. 20)$$

A on:

- I_0 és el cost extra inicial d'invertir en geotèrmia (majoritàriament amb signe negatiu), definit com la diferència entre la inversió en la instal·lació alternativa (I_0^{Alt}) menys la inversió en geotèrmia (I_0^{Geo}):

$$I_0 = I_0^{Alt} - I_0^{Geo}$$

En la gran majoria dels casos $I_0 < 0$.

- FC_t és el flux de caixa, entès com la diferència entre despeses de cada any entre la instal·lació geotèrmica i la instal·lació alternativa. Aquí s'inclou els eventuais costos financers i els efectes de la inflació en cadascun dels costos variables. També aquí s'inclouen els costos de reposició d'equips en cas que la vida del projecte sigui superior a la vida útil d'aquests (>15 anys per equips de climatització, i >20 per a instal·lacions fotovoltaïques).
- n és el nombre d'anys de la vida del projecte.
- k és la taxa de descompte definida per l'usuari.

Com més baixa sigui la taxa de descompte, més alt serà el valor del VAN . Si k fos zero, el VAN equivaldria a la diferència de despesa acumulada (benefici net).

- **Taxa interna de retorn:** És un altre indicador de la rendibilitat del projecte que contribueix a la presa de decisions sobre si engegar un projecte endavant o dedicar els calers en una altra inversió. Es calcula com la k amb la que obtindríem un $VAN=0$. El seu valor s'interpreta de la següent manera:
 - **$TIR > k$:** la inversió extra en geotèrmia és rendible i atractiva per sobre d'altres possibilitats d'inversió de baix risc.
 - **$0 < TIR \leq k$:** la inversió extra en geotèrmia és rendible però no més que altres inversions alternatives considerades de baix risc. L'usuari pot interpretar si altres tipus de beneficis (com els ambientals) són un punt a favor o no per escollir una instal·lació geotèrmica en compte d'una altra d'alternativa. Sota aquest escenari, el valor del VAN serà ≤ 0 .
 - **$TIR < 0$:** la inversió extra en geotèrmia no és rendible. No seria raonable escollir una instal·lació geotèrmica en comptes d'una altra alternativa des d'un punt de vista purament econòmic. Sota aquest escenari, el valor del VAN serà < 0 i el període de retorn simple serà $> n$.
- **Període de retorn descomptat:** és el temps estimat transcorregut entre l'inici del projecte i el moment en que el VAN passa de valor negatiu a positiu. El període de retorn sempre serà superior al període de retorn simple, tret en el cas que $k=0$, que és quan coincideixen.

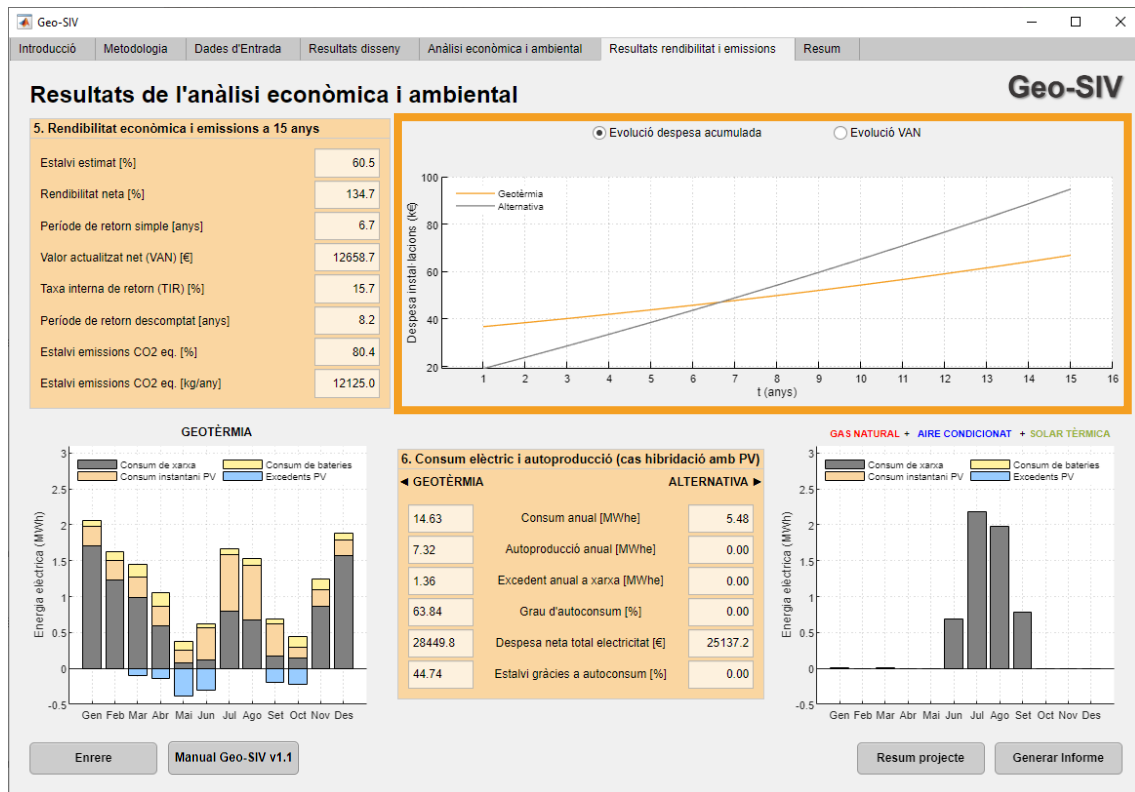
Pot passar que el període de retorn simple sigui $< n$, i que el període de retorn descomptat sigui $> n$. Això es correspondria a l'escenari $0 < TIR \leq k$ mencionat anteriorment.
- **Estalvi emissions CO_2 equivalents** (relatiu): Percentatge de les emissions equivalents de CO_2 de la instal·lació alternativa que s'estalviarien amb una instal·lació geotèrmica.
- **Estalvi emissions CO_2 equivalents** (absolut): emissions estalviades anualment amb una instal·lació geotèrmica respecte la instal·lació alternativa. Aquest indicador es dona amb caràcter anual, donat que el seu valor no varia d'any en any (sota l'escenari teòric d'estudi que aquí es presenta).

El cas usual i esperat és que la geotèrmia suposarà un cost extra d'inversió, però que al final de la vida del projecte, l'estalvi farà que la despesa acumulada sigui menor. No obstant, es plantegen certs casos en que això no serà així:

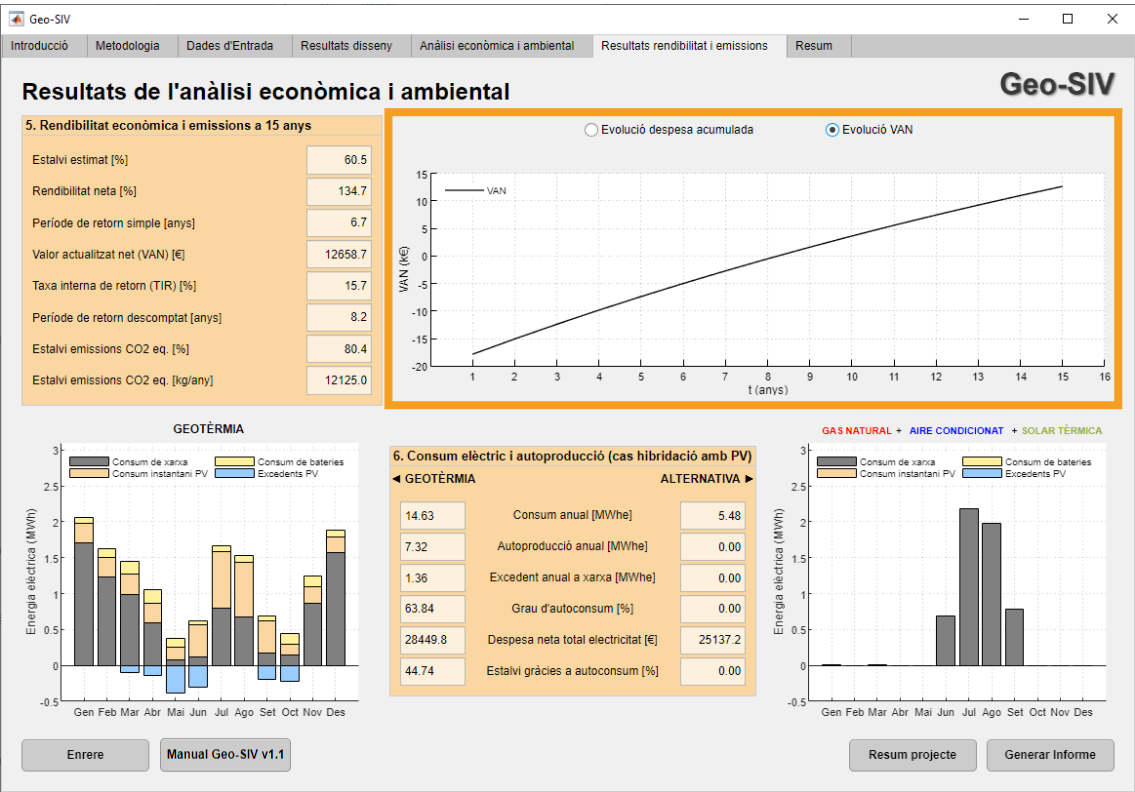
- **Tenim una instal·lació geotèrmica finançada amb subvencions i o préstecs de tal manera que el cost d'inversió és inferior al de l'alternativa i l'estalvi també és superior.** Sota aquest escenari, no caldria fer cap anàlisi econòmica per saber que la geotèrmia és la millor opció.
- **L'estalvi de la geotèrmia és superior, però el cost d'inversió extra és massa alt.** Pot passar que sota un escenari de duració de projecte igual a n anys, el cost extra d'invertir en geotèrmia sigui tan alt que no arribem a recuperar la inversió abans de la finalització de la vida del projecte. Llavors s'hauria de plantejar si és acceptable considerar un n superior. Addicionalment, s'ha de tenir en compte l'evolució del VAN en la presa de decisions.
- **L'estalvi esperat de la geotèrmia és negatiu.** Aquest és potser el cas més improbable (encara que no impossible). Per a que es doni aquest cas, la despesa anual de l'alternativa hauria de ser menor a la de la geotèrmia. Això només podria passar sota un escenari de preus desorbitats de l'electricitat respecte als combustibles fòssils, o bé en el cas de comparar geotèrmia i aerotèrmia, sent la bomba de calor aerotèrmica més eficient que una bomba de calor geotèrmica. Tot i que **Geo-SIV** admet aquest cas (si definim una BCG amb els valors de rendiment mínims admesos), es considera un escenari molt poc realista.

4.4.2 Gràfica Evolució despesa acumulada i Evolució VAN

Aquí l'usuari podrà consulta de manera gràfica els següents resultats:



- **Evolució despesa acumulada:** Despesa total acumulada cada any, tant per a la geotèrmia (taronja) com per a l'alternativa (gris). En el primer any, s'inclouen les despeses netes d'inversió. Això vol dir que si existeix finançament, aquest es descompta del valor de la despesa aquell any.



- **Evolució VAN:** Valor anual del VAN.

4.4.3 Consum elèctric i autoproducció. Panell 6 + gràfiques energia elèctrica.



En cas de plantejar instal·lacions híbrides amb energia solar fotovoltaica, aquest apartat recull els resultats més interessants al respecte. Al Panell 6 es mostren comparats (geotèrmia vs. alternativa) una sèrie d'indicadors sobre consum, autoconsum i estalvi:

- **Consum anual:** Consum elèctric total de cada instal·lació. Tingui's en consideració que a les instal·lacions de biomassa i de col·lectors solars tèrmics també se'ls atribueix un mínim consum elèctric (veure ANNEX I), ocasionat per certs components elèctrics, com el motor del dispensador de pellets/estelles en les calderes de biomassa, o les bombes re-circuladores en els col·lectors solars.
- **Autoproducció anual:** Electricitat útil anual produïda a càrrec de la instal·lació fotovoltaica.
- **Excedents anuals a xarxa:** Electricitat autoproduïda que no es consumeix instantàniament ni s'emmagatzema (en cas de tenir bateries), la qual s'exporta a la xarxa elèctrica a canvi d'una retribució econòmica neta (definida per l'usuari anteriorment 4.3.5-a).
- **Grau d'autoconsum:** Percentatge del consum elèctric anual que correspon a l'electricitat autoproduïda, provinent del consum instantani o de les bateries.

- **Despesa neta total electricitat:** Import acumulat al llarg de la vida útil del projecte que es pagaria per la electricitat consumida només de xarxa al qual se li resta la retribució dels excedents.
- **Estalvi gràcies a autoconsum:** Percentatge d'estalvi respecte la opció sense hibridar calculat per a tota la vida útil del projecte.

En els gràfics, es mostra mes a mes la porció de consum elèctric provinent de xarxa (color gris), el consum d'electricitat en el moment de ser autoproduïda (color taronja), el consum d'electricitat provinent de bateries prèviament carregades amb electricitat autoproduïda (color groc) i l'electricitat bolcada a xarxa (color blau i signe negatiu), per a la instal·lació geotèrmica (esquerra) i la instal·lació alternativa (dreta).

4.5 Pestanya “Resum”

Resum del projecte

ESTIMACIÓ DE DEMANDA I CONSUM ANUALS D'ENERGIA

Potència / Energia tèrmica

	CALOR	FRED	ACS
Potència nominal (BCG)	23.9 kW	20.5 kW	21.9 kW
Demanda	45000 kWh	20000 kWh	5000 kWh
Rendiments estacionals	SPFc = 4.95	SPFr = 4.93	SPFacs = 3.38

Potència / Energia elèctrica

Potència elèctrica a contractar	6.7 kW
Consum elèctric total	14631 kWh

SIMULACIÓ DEL CAMP DE CAPTACIÓ GEOTÈRMIC

Pous

Seria necessari perforar 6 pous de 106 m cadascun, amb una distància entre perforacions de 6 m. La superfície requerida estimada és de 216 m².

Tipus de sonda

Sondes tipus "U" simple. Serien necessaris 635 m de sonda.

Material i dimensions sonda

Poliètil·lè d'alta densitat (HDPE). Ø_ext 40 mm i gruix de 3.6 mm.

PREVISIÓ DE COSTOS D'INVERSIÓ I RENDIBILITAT DEL PROJECTE

Escenari de l'estudi comparatiu	Estalvi acumulat (a 15 anys)	Previsió de costos d'inversió (I.V.A. inclòs) i finançament	
Es comparen instal·lació geotèrmica i equivalent alternativa: Caldera de gas natural (CALOR + suport ACS), aire condicionat (FRED) i col·lectors solars tèrmics (ACS).	GEN 4221 € (42.8 %)	GEOTÈRMIA	ALTERNATIVA
Duració del projecte a efectes d'anàlisi econòmica i ambiental	FEB 3993 € (50.5 %)	Camp de captació:	25407 € N.A.
15 anys	MAR 4332 € (59.6 %)	Equips + instal·lació:	15299 € 14422 €
Rendibilitat neta (a 15 anys)	ABR 3829 € (68.8 %)	Hibridació amb energia solar PV:	Si No
D'acord amb l'escenari comparatiu definit per l'usuari, invertir en GEOTÈRMIA suposaria una rendibilitat del 134.7 %, calculada com la relació entre el benefici net i el cost extra d'invertir en geotèrmia.	MAI 2624 € (97.4 %)	Panells:	4463 €
Recuperació de la inversió	JUN 3682 € (80.3 %)	Bateries:	10000 €
La inversió es recupera en 6.7 anys (període de retorn simple).	JUL 6678 € (65.2 %)	COST D'INVERSIÓ TOTAL:	55169 € 14422 €
Emissions anuals CO2 eq. potencialment estalviades	AGO 6302 € (67.0 %)	Finançament amb subvenció:	20000 €
12.12 tones (80.4 % menys d'emissions respecte a l'alternativa).	SET 3836 € (75.1 %)	Finançament amb préstec:	
	OCT 1639 € (70.9 %)	COST EXTRA INVERSIÓ GEOTÈRMIA:	20747 €
	NOV 3516 € (55.0 %)	BENEFICI NET TOTAL (a 15 anys):	27941 €
	DES 4037 € (44.3 %)		
	TOTAL: 48688 € (60.5 %)		

Enrere Manual Geo-SIV v1.1

Per últim, clicant sobre la pestanya “Resum” o al botó “Resum Projecte” de la pestanya “Resultats rendibilitat projecte”, l'usuari pot fer-se una idea ràpida i concisa dels resultats de l'estudi, tant del disseny del camp de captació, com de l'estudi econòmic i ambiental, dividit en 3 panells:

- Estimació de demanda i consum anual d'energia
- Simulació del camp de captació geotèrmic
- Previsió de costos d'inversió i rendibilitat del projecte

5 Referències

- AENOR UNE-100715:2014. “Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera. Parte 1: Sistemas de circuito cerrado vertical” (2014).
- AENOR UNE-EN 14825:2016. “Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo del rendimiento estacional” (2016).
- AENOR UNE-EN 14511-1:2019. “Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor para la calefacción y la refrigeración de locales y enfriadoras de proceso con compresores accionados eléctricamente. Parte 1: Términos y definiciones” (2019).
- Ariza J., de Felipe J. J., Herms I., “Implementation of methodologies for calculating vertical Borehole Heat Exchangers lengths for Ground Source Heat Pump systems in MATLAB. Master's thesis”. Universitat Politècnica de Catalunya (2020) (available online at: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/333862/tfm-javier-ariza-vdef.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers). “ASHRAE Handbook of Fundamentals Volume” (1985)
- Bell I. H., Wronski J., Quoilin S. and Lemort V., “Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation. the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp”, Industrial & Engineering Chemistry Research 53 (6) (2014) 2498-2508 (www.coolprop.org)
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). “Geoíndex. Geotèrmia superficial”. (2018). Disponible a través del següent enllaç: www.icgc.cat/ca/Administracio-i-empresa/Eines/Visualitzadors-Geoindex/Geoindex-Geotermia-superficial
- IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético), “Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado” (2012)
- Ingersoll, L.R. and Plass H.J., “Theory of the ground pipe heat source for the heat pump”, ASHVE Trans. 47 (1948) 339-348.

- IGSHPA (*International Ground Source Heat Pump Association*), “*Ground source heat pump residential and light commercial : design and installation guide*” (2009)
- MITMA (*Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana*), “*Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE Ahorro de energía (HE)*” (2019)
- NRCAN (*Ministry of Natural Resources, Canada*), “*RETScreen® International: Clean Energy Decision Support Centre. Ground-Source Heat Pump Project Analysis*” (2005). Disponible a través del següent enllaç: <https://publications.gc.ca/collections/Collection/M39-111-2005E.pdf>
- NRCAN (*Ministry of Natural Resources, Canada*), “*RETScreen® International: “RETScreen Clean Energy Management Software*” (2016). Disponible a través del següent enllaç: www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465
- Yang H., Cui P. and Fang Z., “*Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: A review of models and Systems*”, *Applied Energy* 87 (2010) 16-27

6 ANNEX I. Paràmetres no editables per a l'estimació de càrregues tèrmiques

Paràmetres interns Geo-SIV càlcul càrregues

Tipologia d'edifici	Residencial	Residencial amb soterrani	Centre educatiu	Oficines	Hosteleria	Centre Sanitari	Centre Esportiu
Alçada pis (m)	2.6	2.6	2.8	2.8	3	3	3
Fracció paret soterrani dissipant contra subsol	N.A.	0.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Alçada paret soterrani (m)	N.A.	3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Superfície portes (m ²)	4.4	4.4	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25
Superfície total construïda (valor per defecte) (m ²)	100	200	1000	1000	1000	400	500
Nombre de plantes (valor per defecte, sense soterrani)	1	1	2	3	4	1	1
Relació obertures/superfície (valor per defecte)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.15	0.2
Factor guany solar hivern (valor per defecte)	0.7	0.7	0.6	0.3	0.6	0.5	0.4
Factor guany solar estiu (valor per defecte)	0.45	0.45	0.35	0.15	0.3	0.3	0.25
Màxim nombre efectiu d'ocupants (valor per defecte)	4	4	150	100	50	25	50
Factor d'ocupació	1	1	0.45	0.5	0.75	1	0.75
Demanda mitjana diària ACS (valor per defecte) (l/ocupant/dia)	41	41	4	2	100	10	200
Temperatura confort a l'hivern (valor per defecte)	21	21	21.5	21	22	22	22
Temperatura confort a l'estiu (valor per defecte)	26	26	27	26	25	26	26
Renovació aire (m ³ /s/ocupant)	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Guany sensible ocupants (W/ocupant)	75	75	75	75	65	75	150
Guany latent ocupants (W/ocupant)	55	55	55	55	35	55	225
Guany sensible il·luminació (W/m ²)	2	2	3	4	3	3	4
Guany sensible equips (W/m ²)	1.5	1.5	0.25	3	1	2	2

Valors límit de transmissió tèrmica (W/m^2K) (extrets del CTE [MITMA, 2019])

	Zona climàtica d'hivern					
	α	A	B	C	D	E
Murs i terres en contacte amb l'aire exterior	0.80	0.7	0.56	0.49	0.41	0.37
Cobertes en contacte amb l'aire exterior	0.55	0.5	0.44	0.4	0.35	0.33
Murs. terres i cobertes en contacte amb espais no habitables o amb el terreny Mitgeres o particions interiors pertanyents a l'envoltant tèrmica	0.9	0.8	0.75	0.7	0.65	0.59
Forats (conjunt de marc, vidre, i en el seu cas, calaix de persiana)	3.2	2.7	2.3	2.1	1.8	1.8
Portes amb superfície semitransparent igual o inferior al 50%	5.7					

7 ANNEX II. Dades utilitzades per a l'anàlisi econòmica i ambiental

	Cost específic captació (pous/escomesa)	Cost específic equips	Cost específic manteniment anual	Cost específic terme consum	Cost específic terme fix	Inflació anual terme fix	Inflació anual terme consum	Eficiència	Consum específic electricitat	Emissions equivalents CO2	conversió kWh/U.C.C. ⁵
Biomassa (pèl·lets)	N.A. ⁶	540	20	0.25	N.A.	2	2	85	0.01	0.018	4.97 (PCI)
Unitats		€/kW	€/kW	€/kg		%	%	%	kWh _e /kWh _t	kg/kWh _t	kWh/kg
Col·lectors Solars Tèrmics	N.A.	560	50	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	30 ⁷	0.01	N.A.	N.A.
Unitats		€/m ²	€/m ²					%	kWh _e /kWh _t		
Gas Natural T3.1 (<5 MWh/any)	128.67	210	9	0.070	70	1	1	95	N.A.	0.252	N.A.
Gas Natural T3.2 (5-15 MWh/any)	128.67	210	9	0.050	120						
Gas Natural T3.2 (15-50 MWh/any)	295.72	210	9	0.050	120						
Gas Natural T3.3 (50-100 MWh/any)	591.48	210	9	0.045	600						
Gas Natural T3.4 (>100 MWh/any)	591.48	210	9	0.040	1000						
Unitats	€	€/kW	€/kW	€/kWh	€/any	%	%	%		kg/kWh _t	
Gas Propà (<5 MWh/any) (Bombona 11 kg)	N.A.	210	9	1.2	N.A.	N.A.	1	95	N.A.	0.254	12.89 (PCI)
Gas Propà Canalitzat (<5 MWh/any)	128.67	210	9	0.8	25	1					
Gas Propà (5-15 MWh/any) (Bombona 35 kg)	N.A.	210	9	1.8	N.A.	N.A.					
Gas Propà Canalitzat (5-15 MWh/any)	128.67	210	9	0.8	25	1					
Gas Propà (15-50 MWh/any) (dipòsit propi)	N.A.	210	9	1.4	N.A.	N.A.					
Gas Propà Canalitzat (15-50 MWh/any)	295.72	210	9	0.8	25	1					
Gas Propà (>50 MWh/any) (dipòsit propi)	N.A.	210	9	1.4	N.A.	N.A.					
Gas Propà Canalitzat (>50 MWh/any)	591.48	210	9	0.8	25	1					
Unitats	€	€/kW	€/kW	€/kg	€/any	%	%	%		kg/kWh _t	kWh/kg

⁵ Unitat de Consum del Combustible

⁶ No Aplicable

⁷ Eficiència mitjana de conversió, entesa com la relació entre l'energia tèrmica produïda i l'energia solar interceptada pels col·lectors

	Cost específic captació (pous/escomesa)	Cost específic equips	Cost específic manteniment anual	Cost específic terme consum	Cost específic terme fix	Inflació anual terme fix	Inflació anual terme consum	Eficiència	Consum específic electricitat	Emissions equivalents CO2	Conversió kWh/U.C.C.
Gasoil (dipòsit propi)	N.A.	140	11	0.8	N.A.	N.A.	1	95	N.A.	0.311	10.06 (PCI)
Unitats		€/kW	€/kW	€/l			%	%		kg/kWh _t	kWh/l
Caldera Elèctrica (període VALL)	N.A.	105	10	0.11	3.5	2	4	98	1	0.33	N.A.
Caldera Elèctrica (període PLA)				0.16	40						
Caldera Elèctrica (període PUNTA)				0.29	40						
Aire Condicionat (aire-aire) (fred) (A27 / A35) ⁸	N.A.	580	6	Veure cost electricitat Caldera Elèctrica				275	0.364		
Aerotèrmia (aire-aigua) (fred) (A35 / W12) ⁹	N.A.	1350	10					302	0.331		
Aerotèrmia (aire-aigua) (calor) (A10 / W45)								341	0.293		
Aerotèrmia (aire-aigua) (ACS) (A10 / W45)								221	0.459		
Geotèrmia	40	1500	10					D.U. ¹⁰	D.U.		
Unitats	€/m.l.	€/kW	€/kW	€/kWh	€/kW	%	%	%	kWh _e /kWh _t	kg/kWh _e	

⁸ Condicions d'operació definides com AXX / AYY: "A" indica "aire", "XX" és la temperatura seca (en °C) a la BCG (costat edifici); "YY" és la temperatura seca (en °C) a l'entrada de la BCG (costat exterior)

⁹ Condicions d'operació definides com AXX / WYY: "A" indica "aire", "XX" és la temperatura seca (en °C) a la BCG (costat edifici); "W" indica "aigua" (water); "YY" és la temperatura (en °C) a la sortida de la BCG (costat interior).

¹⁰ Definit per l'Usuari

Dades de costos específics de sistema per a totes les tecnologies (valors orientatius):

Potència nominal (kW)	Geotèrmia (€/kW)	Biomassa (€/kW)	GN/propà (€/kW)	Gasoil (€/kW)	Caldera elèctrica (€/kW)	Aire condicionat (€/kW)	Aerotèrmia (€/kW)	Àrea col·lectors ST (m²)	Col·lectors ST (€/m²)
5	3499	1302	369	198	368	1908	2137	2	1260
10	2291	841	291	169	196	1053	1633	4	842
15	1788	651	246	152	135	743	1395	6	666
20	1500	543	213	140	104	581	1248	8	563
25	1309	472	188	131	85	480	1144	10	495
30	1171	420	167	124	72	410	1066	12	445
40	982	351	135	112	55	320	954	14	407
50	857	304	110	102	45	265	874	16	376
60	767	271	89	95	38	226	815	18	352
70	698	246	72	88	33	198	767	20	331

8 ANNEX III. Rendiments estacionals bombes de calor aerotèrmiques

De manera anàloga a com s'ha mostrat pels rendiments estacionals de la geotèrmia, els sistemes d'aerotèrmia i aire condicionat mostren valors variables d'acord amb les condicions d'operació, ja que també operen amb tecnologia de bomba de calor. Per aquest motiu també s'ha fet un càlcul mitjà dels rendiments mensuals d'aquestes tecnologies.

$$SPF_c^{AER_1} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} E_m^h}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^h}{COP_m^{AER_1}}} \quad (Eq. 21)$$

$$SPF_r^{AER_1} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} E_m^c}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^c}{EER_m^{AER_1}}} \quad (Eq. 22)$$

$$SPF_r^{AER_2} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} E_m^c}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^c}{EER_m^{AER_2}}} \quad (Eq. 23)$$

$$SPF_{acs}^{AER_1} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} E_m^{acs}}{\sum_{m=1}^{m=12} \frac{E_m^{acs}}{COP_{acs,m}^{AER_1}}} \quad (Eq. 24)$$

$SPF_i^{AER_1}$ [Wh_t/Wh_e]: rendiment estacional en mode d'operació *i* a sistemes d'aerotèrmia aire-aigua (*c*: calefacció, *r*: refrigeració, *acs*: producció d'ACS)

$SPF_r^{AER_2}$ [Wh_t/Wh_e]: rendiment estacional en mode refrigeració a sistemes d'aerotèrmia aire-aire (aire condicionat).

E_m^i [Wh_t]: Valors obtinguts per a la instal·lació geotèrmica (veure 3.2)

$COP_m^{AER_1}$, $EER_m^{AER_1}$, $EER_m^{AER_2}$ i $COP_{acs,m}$ [Wh_t/Wh_e]: Rendiments mitjans mensuals calculats de manera anàloga a les expressions Eq. 8, 9 i 10:

$$COP_m^{AER_1} = \frac{\sum_j COP^{AER_1}(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 25)$$

$$EER_m^{AER_1} = \frac{\sum_j EER^{AER_1}(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 26)$$

$$EER_m^{AER_2} = \frac{\sum_j EER^{AER_2}(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 27)$$

$$COP_{acs,m}^{AER_1} = \frac{\sum_j COP_{acs}^{AER_1}(T_j) \cdot h_m(T_j)}{\sum_j h_m(T_j)} \quad (Eq. 28)$$

$COP^{AER_1}(T_j)$, $EER^{AER_1}(T_j)$, $EER^{AER_2}(T_j)$ i $COP_{acs}(T_j)$ [W_t/W_e]: rendiments instantanis assumint una dependència lineal amb T_{ext} a l'entrada a la BCG, T_{eat}^{BCG} , que pel cas de sistemes aerotèrmics, es correspon directament amb T_j :

$$COP^{AER_1}(T_j) = COP_2^{AER_1} + \frac{(COP_{10}^{AER_1} - COP_2^{AER_1})}{(10 - 2)}(T_j - 2) \quad (Eq. 29)$$

$$EER^{AER_1}(T_j) = EER_{25}^{AER_1} + \frac{(EER_{35}^{AER_1} - EER_{25}^{AER_1})}{(35 - 25)}(T_j - 25) \quad (Eq. 30)$$

$$EER^{AER_2}(T_j) = EER_{25}^{AER_2} + \frac{(EER_{35}^{AER_2} - EER_{25}^{AER_2})}{(35 - 25)}(T_j - 25) \quad (Eq. 30)$$

$$COP_{acs}^{AER_1}(T_j) = COP_{acs,2}^{AER_1} + \frac{(COP_{acs,10}^{AER_1} - COP_{acs,2}^{AER_1})}{(10 - 2)}(T_j - 2) \quad (Eq. 31)$$

$COP_2^{AER_1}$, $COP_{10}^{AER_1}$ [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode calefacció, quan la T_{eat}^{BCG} (aire sec) és $T_j = 2^\circ\text{C}$ i $T_j = 10^\circ\text{C}$, respectivament.

$COP_{acs,2}^{AER_1}$, $COP_{acs,10}^{AER_1}$ [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode producció d'ACS, quan T_{eat}^{BCG} (aire sec) és $T_j = 2^\circ\text{C}$ i $T_j = 10^\circ\text{C}$, respectivament.

$EER_{25}^{AER_i}$, $EER_{35}^{AER_i}$ [W_t/W_e]: rendiments instantanis en mode refrigeració quan T_{eat}^{BCG} (aire sec) és $T_j = 25^\circ\text{C}$ i $T_j = 35^\circ\text{C}$, respectivament, tant per l'aerotèrmia, com per l'aire condicionat.

S'ha de tenir en compte que els valors de $COP_2^{AER_1}$, $COP_{10}^{AER_1}$, $COP_{acs,2}^{AER_1}$, $COP_{acs,10}^{AER_1}$, $EER_{25}^{AER_i}$ i $EER_{35}^{AER_i}$ depenen també de la temperatura d'impulsió dels emissors tèrmics (temperatura de sortida de la BCG, T_{lwt}^{BCG} pel cas de sistemes aire-aigua i temperatura d'entrada T_{eat}^{BCG} per sistemes aire-aire) a dins de l'edifici:

	Aerotèrmia		Aire condicionat
	T_{lwt}^{BCG} (hivern)	T_{lwt}^{BCG} (estiu)	T_{eat}^{BCG} (estiu)
Terra radiant	35 °C	23 °C	
Fancoils	45 °C	12 °C	
Radiadors	55 °C	-	
Producció d'ACS	65 °C	-	
Splits	-	-	27

IMPORTANT: És habitual que el COP de les bombes de calor aerotèrmiques baixi ostensiblement sota condicions climàtiques severes ($T_{ext} \sim 0^{\circ}\text{C}$) per culpa de la formació de gel a les unitats exteriors.