

# RENDIMENT D'UNA INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA PARTICULAR

Estudi realitzat per Gregori Puigserver i Canyelles.

Marratxí, gener de 2007



## INTRODUCCIÓ

Aquest treball té com a eix fonamental el seguiment durant tres anys del rendiment d'una instal·lació solar tèrmica situada al terrat d'un habitatge particular. Té com a principal objectiu animar a fer instal·lacions d'aquests tipus, a edificis de tota casta, a aquelles persones que puguin tenir dubtes sobre la seva eficiència, la seva rendibilitat i els seus beneficis sobre el medi ambient. I això es pretén aconseguir tant mitjançant l'estudi esmentat del rendiment de la instal·lació com desmentint amb l'experiència de l'ús directe algunes de les nombroses falses creences que es tenen sobre l'Energia solar tèrmica. Així mateix, pensam que d'aquest document podria sorgir qualche idea per utilitzar didàcticament l'Energia solar tèrmica.

A l'estudi es parla primerament dels components i les característiques de la instal·lació, i seguidament es passa a analitzar mitjançant taules i gràfics la proporció de dies de l'any (fent la mitjana dels tres anys estudiats) en què es pot comptar amb aigua calenta solar, desglossant aquesta proporció en la dels dies que foren assolellats i els que no ho foren. Aquestes mateixes proporcions s'estudien després separatament per als sis mesos de l'any més favorables des del punt de vista del rendiment de la instal·lació, i per als sis més desfavorables.

A continuació es passa a analitzar el rendiment de la instal·lació per als diferents mesos de l'any, amb el mateix sistema que per a un any complet i per als semestres. També es compara el rendiment per a cada un dels tres anys estudiats, i finalment, per a anys i mesos alhora. S'acaba aquesta part resumint el rendiment global dels tres anys en un mes ideal, mitjana de tots els estudiats.

A la segona part del treball (pàg. 43 i següents) es fan una sèrie de consideracions finals derivades de l'experiència en l'ús de la instal·lació; entre d'altres coses, es parla d'alguns consells pràctics per racionalitzar el consum d'aigua calenta solar, dels beneficis de tot tipus, directes i indirectes, que proporciona la instal·lació, de si té o no un manteniment costós, de quin temps s'ha de menester per amortitzar-la, de quina vida operativa pot tenir i en quina mesura suposa un estalvi en el consum de gas i consegüentment en les emissions de CO<sub>2</sub>.

El present estudi es basa en el seguiment de la insolació i el rendiment d'una instal·lació solar tèrmica durant tres anys (2002, 2003 i 2004). La dita instal·lació es troba al terrat d'un habitatge unifamiliar on viuen 3 persones, situat al terme municipal de Marratxí (Mallorca) *(foto 1)*.



Foto 1

La instal·lació consta de:

- Dos panells tèrmics de 2 x 1 m cada un que, per tant, proporcionen una superfície total de captació de la radiació solar de 4 m<sup>2</sup> (foto 1).
- Un depòsit d'aigua de 300 l; l'aigua que conté, si hi ha hagut radiació solar suficient, s'encalenteix fins a un màxim de 70° C (la temperatura màxima de consum és de 40°C) i s'empra per als usos casolans habituals, és a dir, bàsicament per a la dutxa, el bany, per escurar i per fregar. (foto 1).
- A més dels components de la instal·lació solar, el sistema compta amb un encalentidor alternatiu que funciona amb gas butà, per poder disposar d'aigua calenta quan no hi ha hagut radiació solar suficient per a un consum determinat (fotos 2 i 3).

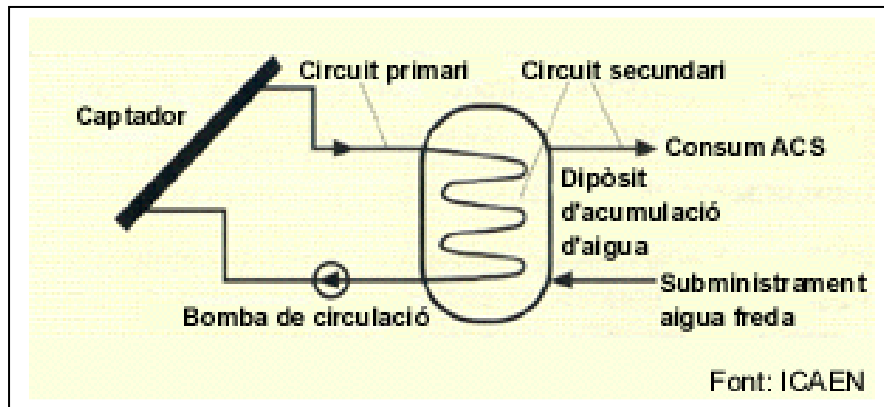


Foto 2



Foto 3

La instal·lació solar en sí comprèn dos circuits d'aigua (*vegeu esquema*):



Esquema d'una instal·lació solar tèrmica com la nostra: el circuit Primari és el de l'esquerra del dipòsit (tancat), i el Secundari és el de la dreta (obert).

Encara que al dibuix el dipòsit apareix a la mateixa altura que els panells, en el nostre cas es troba per damunt ells i, per tant, no hem de menester la bomba de circulació que apareix a l'esquema.

- El circuit PRIMARI, que és tancat i transporta l'aigua des dels panells o col·lectors solars, on s'encalenteix (el fet d'esser negres i de comptar amb una coberta de plàstic afavoreix el procés) fins al dipòsit de 300 l. Com que el dipòsit, en el nostre cas, està situat a damunt els panells, el procés funciona espontàniament, sense que calgui cap bomba. Aquest procés, purament físic, es denomina CONVECCIÓ, i es basa en què l'aigua, en encalentic-se als panells, perd densitat i ascendeix. Una vegada ha cedit part de la seva energia calorífica a l'aigua del dipòsit (la que veurem que forma part del circuit Secundari), és a dir, en haver-se refredat, torna més densa i tendeix a descendir, i d'aquesta manera arriba al seu lloc d'origen, als panells. En aquests torna a començar el procés i d'aquesta manera, mentre hi ha insolació, l'aigua del dipòsit va incrementant la seva temperatura.

Hi ha habitatges on el depòsit no pot estar a damunt les plaques (per exemple perquè estiguin a damunt una teulada) i, per tant, s'ha d'ubicar a un lloc més baix. En aquest cas no queda més remei que, mitjançant una bomba elèctrica que formarà part del circuit Primari, forçar l'aigua a recórrer-lo, ja que no ho pot fer per convecció. Això complica tot el procés i el fa més car i menys ecològic (si per produir l'electricitat que alimenta la bomba empram una font energètica contaminant).

- El circuit SECUNDARI està constituït per l'aigua que s'emmagatzema al depòsit i per les canonades d'entrada des de la xarxa de distribució i de sortida per al consum. Com es veu, aquest segon circuit és obert i, quan hi ha hagut radiació solar suficient, proporciona aigua calenta sanitària (encalentida gràcies al circuit primari per CONDUCCIÓ) a través de la canonada de sortida.

Vists els components de la instal·lació, vegem ara les característiques de l'estudi; aquest consistí a prendre nota (amb uns simples "SÍ" o "NO") diàriament, durant els anys 2002, 2003 i 2004, a l'acabament de cada jornada, de si aquesta fou assolida o no i de si es disposà d'aigua calenta solar o no. Evidentment, no tots els dies la resposta a aquestes preguntes era en un principi totalment clara, i va caldre decidir-se per un "SÍ" o un "NO", d'una manera certament subjectiva, però seguint sempre els mateixos criteris. Els dits criteris foren:

- considerar que el dia fou assolit si almenys s'arribà a la meitat de la insolació que podríem considerar normal, és a dir, si féu sol durant el 50 % del dia amb intensitat normal o si en féu durant tot el dia però amb una intensitat la

meitat del normal, per mor de la presència de níguls; en cas de pensar que no es complia aquesta condició, el dia es considerarà “no assolellat”.

- considerar que es disposà d'aigua calenta solar si la seva temperatura i la quantitat disponibles foren suficients per als usos normals del dia (dutxar-se, escurar o fregar amb aigua calenta) i no féu falta encendre l'encalentidor de butà; en cas contrari, es considerarà que “no” es disposà d'aigua calenta solar.

Naturalment, el nombre de dies amb disponibilitat d'aigua sanitària encalentida solarment, o aigua calenta –sanitària- solar (ACSo a les taules i als gràfics) fou superior al nombre de dies assolellats, per mor de l'aprofitament de la inèrcia tèrmica que s'aconsegueix acumulant l'aigua calenta en el depòsit. Encara que aquesta aigua es refreda a mesura que se'n consumeix una part i n'entra de més freda al depòsit (per substituir l'anterior), si la calor acumulada en aquest és grossa (cosa molt freqüent al llarg de l'any) es pot disposar d'aigua calenta amb temps ennigulat un, dos o fins i tot més dies, depenent de l'època de l'any i de la quantitat d'aigua que es consumeixi (això és possible, naturalment, gràcies al fet que les parets del depòsit són aïllants –és, de fet, un termos-, amb la qual cosa conserven la calor de l'aigua de l'interior amb pèrdues mínimes durant dies).

Vegem a continuació les taules que resumeixen, per mesos i globalment, els dos aspectes que acabam de comentar recollits durant els tres anys en qüestió:



		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Mitjana
2002	Dies de sol Aigua calenta solar	21	24	16	21	24	28	28	25	25	25	20	14	271	22,6
		21	25	25	23	28	30	31	31	30	31	24	14	313	26,1
2003	Dies de sol Aigua calenta solar	19	13	24	23	25	29	30	27	26	21	17	23	277	23,1
		21	13	25	28	31	30	31	31	30	27	18	23	308	25,7
2004	Dies de sol Aigua calenta solar	26	15	16	23	22	25	25	30	24	27	15	16	264	22,0
		28	16	21	27	27	29	31	31	26	28	17	16	297	24,8

Ara, la taula mitjana dels tres anys, mes a mes:

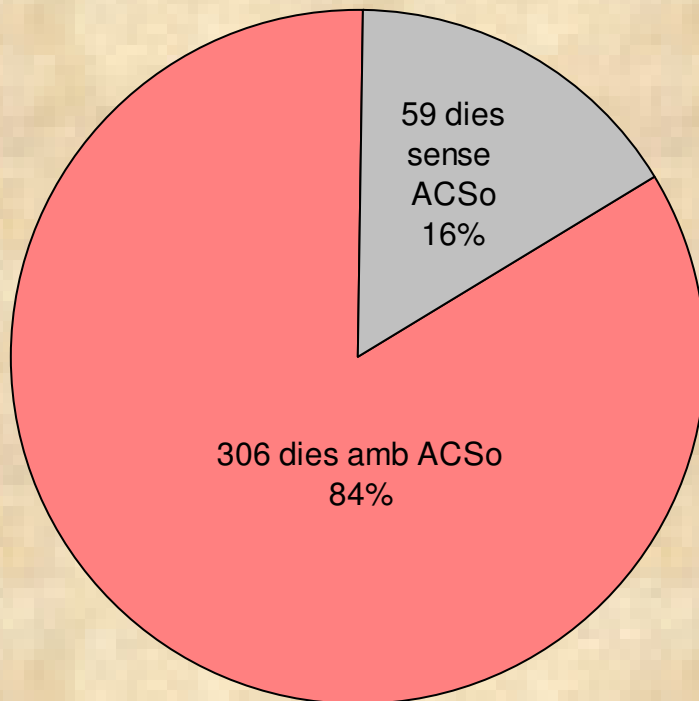
		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Mitjana
3 anys	Dies de sol Aigua calenta solar	22,0	17,3	18,7	22,3	23,7	27,3	27,7	27,3	25,0	24,3	17,3	17,7	271	22,6
		23,3	18,0	23,7	26,0	28,7	29,7	31,0	31,0	28,7	28,7	19,7	17,7	306	25,5

I a continuació, les següents dades resum, extretes a partir dels totals de la taula anterior. A la pàgina següent trobarem els mateixos valors en forma de gràfics circulars:

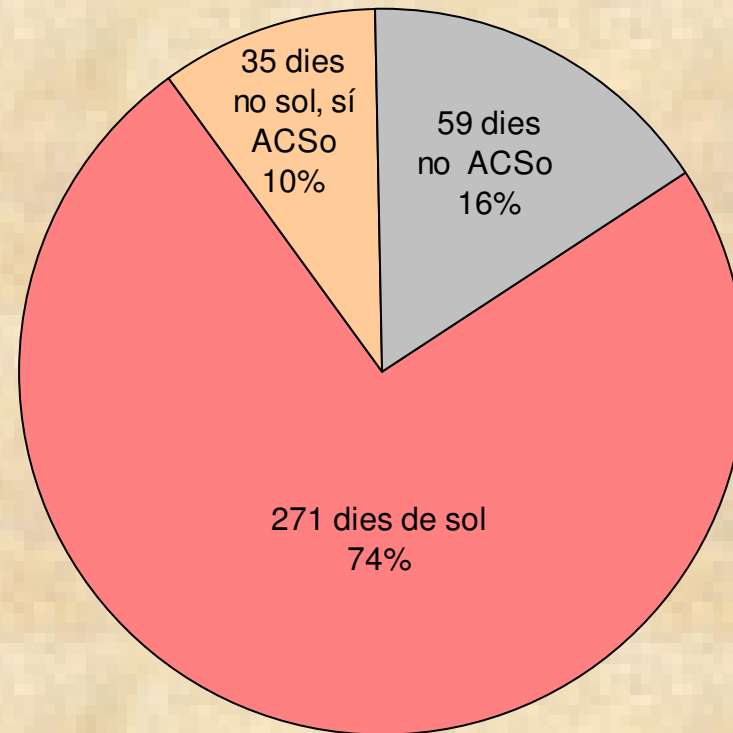
3 anys	Aigua calenta solar	306
	No ACSo	59
<hr/>		365

3 anys	Sol	271
	No sol i sí ACSo	35
<hr/>		59
<hr/>		365

**Dies amb aigua calenta solar i sense durant l'any (mitjana 3 anys)**



**Dies de sol i amb aigua calenta solar durant l'any (mitjana 3 anys)**



Gràfic 1

Com podem veure al gràfic de l'esquerra, el rendiment de la instal·lació és molt alt: ni més ni manco que durant un 84 % dels dies de l'any (com a mitjana dels tres anys) poguérem comptar amb aigua encalenta mitjançant la radiació solar a una temperatura i en una quantitat suficients. I per tant, com podem veure també al gràfic, només durant un 16 % dels dies no disposarem d'aigua calenta solar (durant 59 dies, és a dir, aproximadament quasi dos mesos, la qual cosa vol dir que durant 10 mesos a l'any disposam d'aigua calenta solar).

Al diagrama circular de la dreta el color vermell no representa, com a l'anterior, els dies amb aigua calenta solar disponible (en canvi, el color gris sí representa el mateix que a la primera gràfica, és a dir, els dies sense disponibilitat d'ACSo), sinó els dies de sol, mentre que els dies sense sol, però encara amb ACSo disponible al depòsit es representen en color marró clar (beix). Aquests darrers dies, els de, podríem dir, "viure de rendes", és a dir, de la calor acumulada en dies anteriors amb sol, signifiquen de mitjana dels 3 anys un gens menyspreable 10 %, 35 dies, és a dir, un poc més d'1 mes dels 10 vists a la gràfica i al paràgraf anteriors.

Com a resum de tot el que acabam de veure, *grosso modo*, podem dir que, dels 12 mesos de l'any:

- 9 fa sol i tenim ACSo.
- 1 no fa sol, però també tenim ACSo.
- 2 no fa sol i no tenim ACSo.

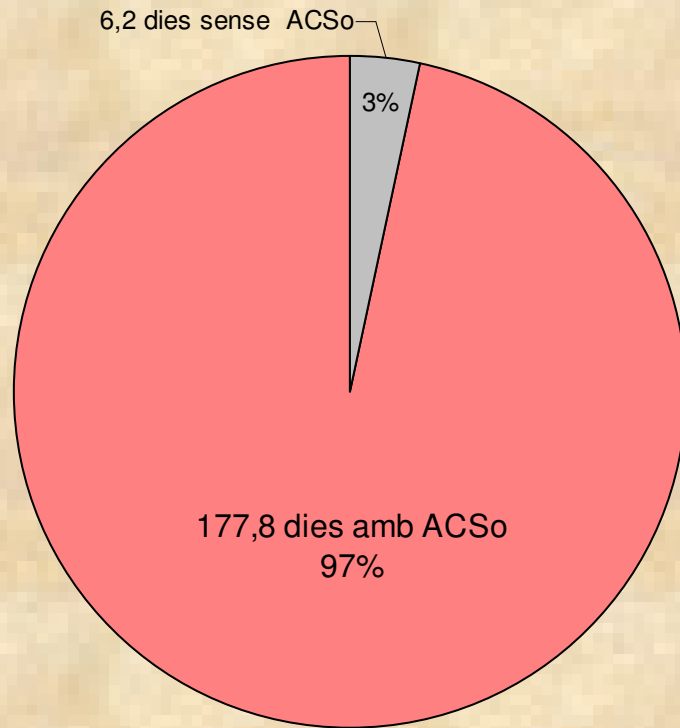
A les següents taules i gràfics seguirem estudiant el rendiment de la instal·lació, però, en aquest cas, dividint l'any en 2 semestres, el més favorable (amb més insolació i, per tant, amb més disponibilitat d'ACSo) i el menys favorable (amb menys insolació, i per tant amb menys disponibilitat d'ACSo). Estudiant la taula resum dels 3 anys (i també les de cada un dels anys estudiats), es pot veure ràpidament que el mig any més favorable transcorre del maig a l'octubre, i el menys favorable, del novembre a l'abril. Vegem ara la primera d'aquestes “mitges taules”, extreta de la resum dels 3 anys, i dues altres petites taules elaborades a partir dels totals de la primera (a la pàgina següent en forma de gràfics circulars):

		M	J	J	A	S	O	Suma	Mitjana
3 anys	Dies de sol	23,7	27,3	27,7	27,3	25	24,3	155,3	25,9
	Aigua calenta solar	28,7	29,7	31	31	28,7	28,7	177,8	29,6

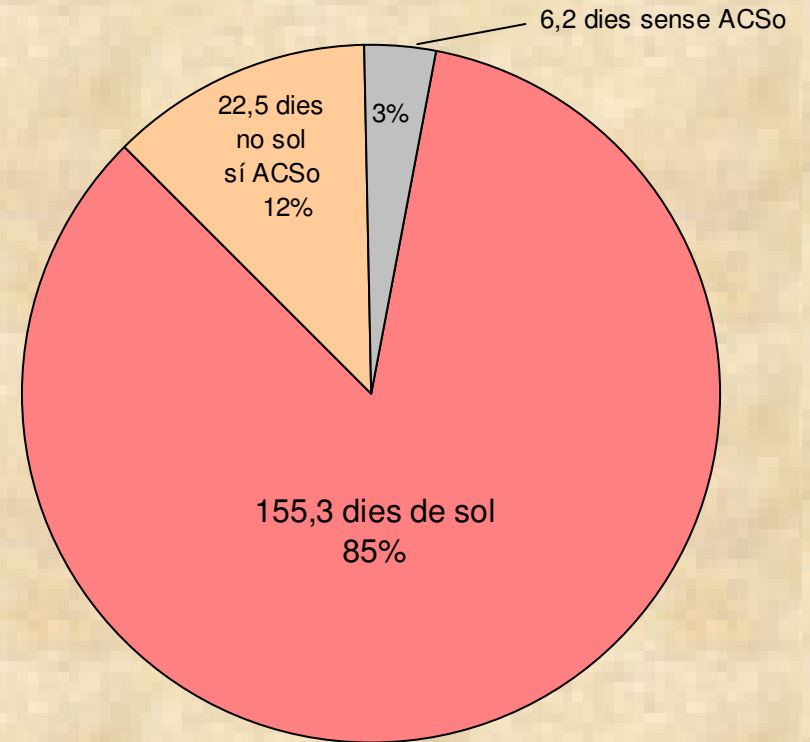
M-O		
Aigua calenta solar		177,8
No ACSo		6,2
		184

M-O		
Sol		155,3
No sol i sí ACSo		22,5
No ACSo		6,2
		184

**Dies amb ACSo i sense durant mig any (de maig a octubre)**



**Dies de sol i amb ACSo durant mig any (de maig a octubre)**



Gràfic 2

Com veim, el rendiment durant el mig any més favorable és altíssim, ni més ni menys que d'un 97 % quant a la disponibilitat d'aigua calenta (un 13 % més que el valor per a tot l'any). Dels 184 que comprèn el semestre en qüestió, només durant 6 dies no es disposà d'aigua calenta, valor que podem considerar quasi menyspreable. Quant als dies de sol, com veim, representaren un 85 % del total (un 11 % més que durant tot l'any). Els dies que es viu "de rendes", així mateix representen un 12 % del total, un 2% més que per a tot l'any.

Com a resum i anàlogament al cas del gràfic 1, podem dir que, dels 6 mesos en qüestió:

- 5 mesos fa sol i tenim ACSO.
- De1 mes restant, 3 setmanes no fa sol, però també tenim ACSO,
- i durant menys d'1 setmana, no fa sol ni tenim ACSO.

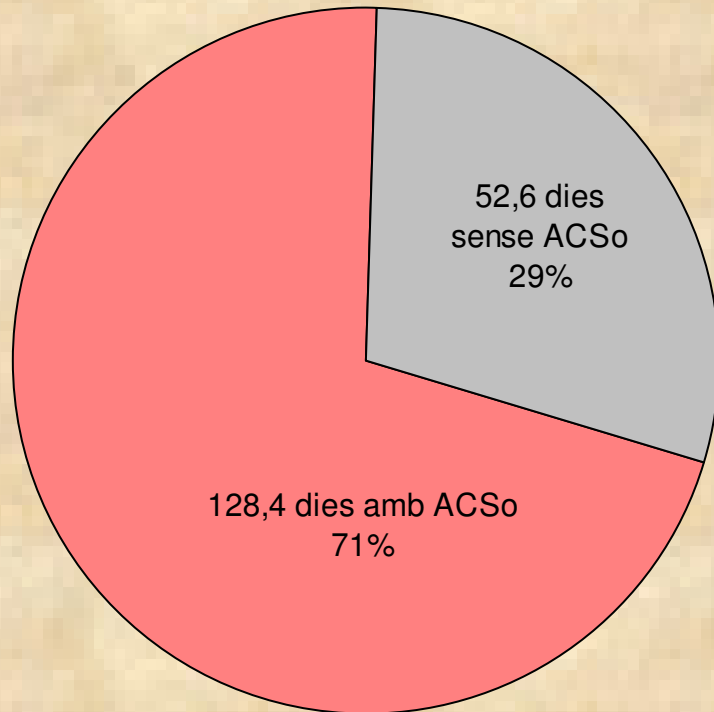
Vegem ara els valors per al semestre menys favorable quant a insolació i a disponibilitat d'ACSo (del novembre a l'abril). Com en el cas anterior, vet aquí la “mitja taula” corresponent a aquest semestre menys favorable, (extreta de la taula mitjana dels 3 anys), les dues taules resum i els gràfics corresponents:

		N	D	G	F	M	A	Suma	Mitjana
3 anys	Dies de sol	17,3	17,7	22	17,3	18,7	22,3	115,3	19,2
	Aigua calenta solar	19,7	17,7	23,3	18	23,7	26	128,4	21,4

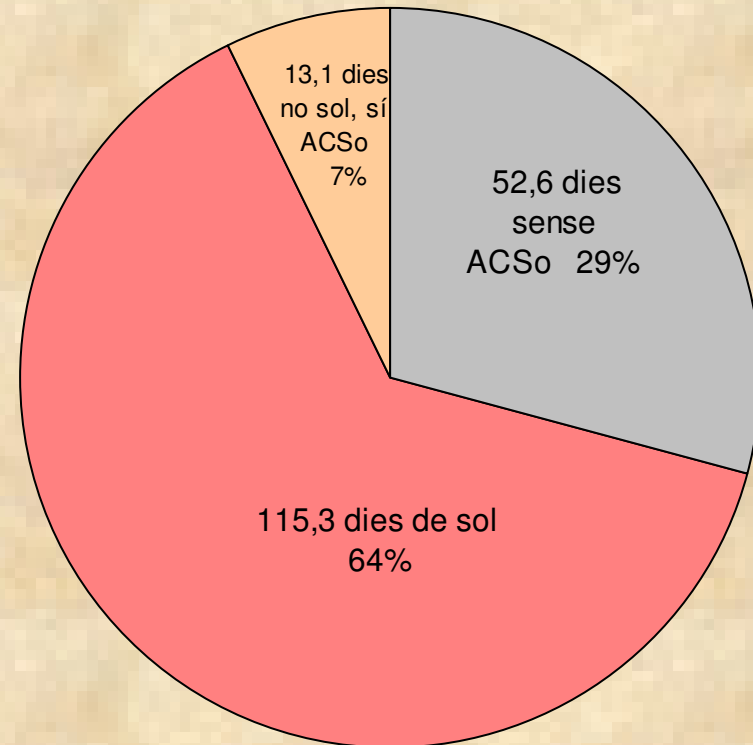
N-A	Aigua calenta solar	128,4	N-A	Sol	115,3
	No ACSo	52,6		No sol i sí ACSo	13,1
		<hr/>			<hr/>
		181			52,6
					<hr/>
					181



Dies amb ACSo i sense durant mig any (de novembre a abril)



Dies de sol i amb ACSo durant mig any (de novembre a abril)



Gràfic 3

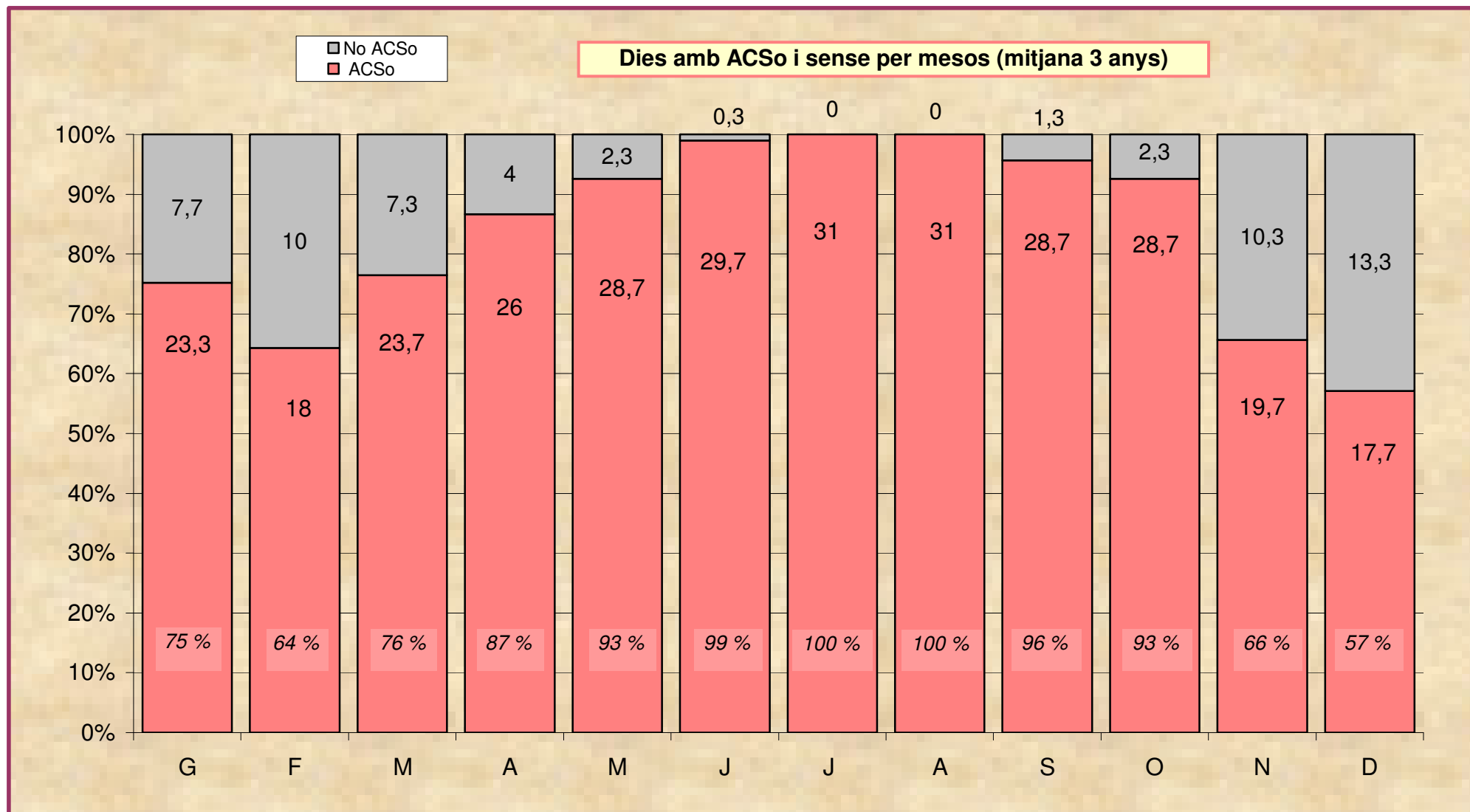
Veim, doncs, que el rendiment durant el semestre menys favorable, essent considerablement més baix que durant el més favorable (un 26 % més baix quant a disponibilitat d'aigua calenta), no ho és tant respecte al valor mitjà dels tres anys (només un 13 % ) i de cap manera es pot considerar un valor baix per ell mateix (un 71 % de dies es disposà d'ACSo). Fixem-nos, per altra banda, que els dies del semestre que no fa sol ni es disposa d'ACSo (52'6) representen quasi la totalitat dels dies amb aquestes característiques de tot l'any ( $[52'6 / 59] \times 100 = 89'2$  %). Els dies de sol, com veim, representaren un 64 % del total de dies (un 21% menys que durant el semestre més favorable, però només un 10 % menys que durant tot l'any). Els dies que es disposà d'aigua calenta solar “de reserva” (que es visqué “de rendes”) representen només un 7 % del total, és a dir, un 5 % menys que durant el mig any més favorable i només un 3 % menys que per a tot l'any (hem de pensar que és lògic que a l'hivern, estació en què l'aportació d'energia solar és menor, la inèrcia tèrmica sigui més baixa).

Com a resum i de manera semblant al cas dels gràfics 1 i 2, podem dir que, dels 6 mesos en qüestió:

- 3 mesos i 3 setmanes fa sol i tenim ACSo.
- 2 setmanes no fa sol, però tenim ACSo,
- 1 mes i 3 setmanes no fa sol i no tenim ACSo.

A continuació veurem en un diagrama de barres la disponibilitat d'ACSo per mesos, emprant les dades que figuren a la taula següent, obtinguda a partir de la taula mitjana dels valors dels 3 anys:

		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3 anys	Dies amb ACSo	23,3	18	23,7	26	28,7	29,7	31	31	28,7	28,7	19,7	17,7
	D. sense ACSo	7,7	10	7,3	4	2,3	0,3	0	0	1,3	2,3	10,3	13,3
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31



Gràfic 4

Què podem observar en aquest diagrama de barres ? Moltes de coses. Fixem-nos en algunes:

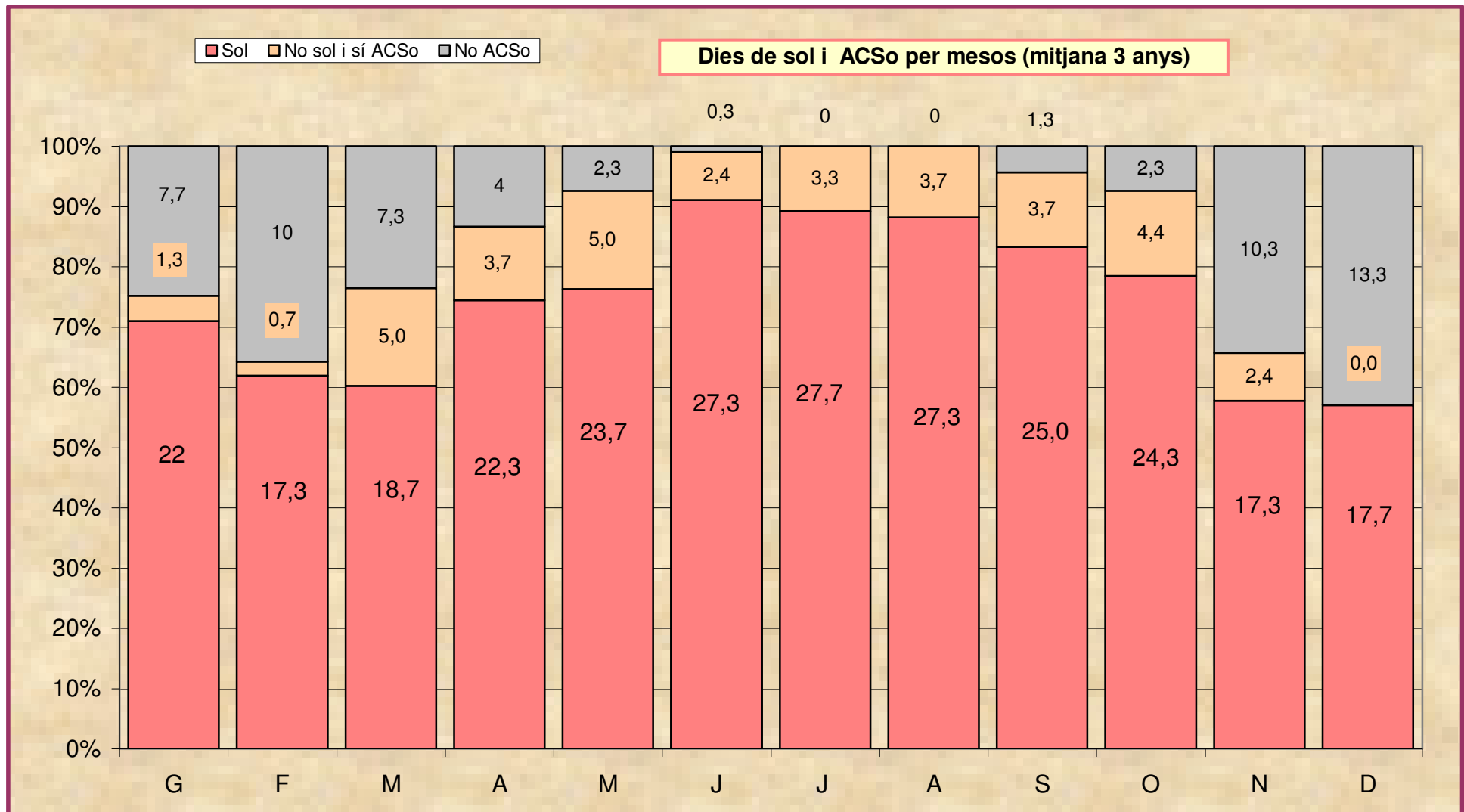
- Els dos mesos centrals de l'estiu, el juliol i l'agost, el rendiment és total, del 100 %; la disponibilitat d'ACSo fou diària durant aquests dos mesos dels 3 anys de l'estudi. Pel juliol i l'agost les hores d'insolació són tantes i el sol està tan amunt en el cel que es produeix aigua calenta de sobra per compensar els dies que no fa sol.
- El rendiment dels altres mesos és més baix, però sempre superior al 50 %, és a dir, que amb aquest sistema, sempre disposarem d'aigua calenta solar durant més de mig mes (sempre que el consum estigui dins els límits normals, lògicament). Fixem-nos, a més, que el percentatge de dies amb aigua calenta minva d'una manera bastant regular des dels mesos centrals cap als extrems del diagrama de barres (al punt següent parlarem d'una excepció a aquesta regularitat).
- Els mesos més fluixos són, bastant lògicament, els de tardor-hivern (principalment el desembre, el més fluix de tots, amb un rendiment d'un 57 %) però sorprenentment hi ha una clara excepció, que és el mes de gener (75%), mes amb un rendiment de la instal·lació com la del març (76 %) i superior a la del novembre (66 %), mes aquest darrer totalment de tardor. Sembla ésser que aquest major rendiment de la instal·lació durant el gener (si comprovam les taules de cada

any veurem que no es compleix estrictament sempre), que lògicament té a veure amb el fet que compta més dies assolats, és bastant habitual i climàticament significatiu (pensem en les “calmes del gener”).

- Finalment, ens podem fixar també en una curiositat: el nombre de dies amb ACSO pot ésser el mateix per a diferents mesos (per exemple, el setembre i l'octubre, amb exactament 28'7 dies en els dos casos), i alhora aquest mateix nombre pot representar una proporció de dies amb ACSO diferent per a cada cas (un 96 % en el cas del setembre, i un 93 % en el de l'octubre). El motiu és ben bo d'endevinar: el nombre de dies dels diferents mesos no sempre és el mateix i el tant per cent que representa un determinat nombre de dies respecte al total del mes pot variar, segons si el mes és de 30, 31, 28 o 29 dies (en el cas de l'exemple, els 28'7 dies del setembre representen una proporció major del mes que els mateixos 28'7 de l'octubre, ja que el primer té 30 dies i el segon 31). Pensem que a l'eix d'ordenades dels gràfics es representen percentatges i no valors absoluts, la qual cosa ens permet treballar amb barres de la mateixa altura.

Ara, a la pàgina següent, podrem veure la mateixa gràfica anterior, però desglossant a cada barra (com hem fet abans en el cas dels gràfics circulars) els dies amb disponibilitat d'ACSo en dies amb sol per una banda (que representarem amb el mateix color vermell que a la gràfica anterior representava els dies amb ACSo) i dies sense sol però encara amb disponibilitat ACSo (en color beix). Les dades d'aquesta nova gràfica, que apareixen a la taula que figura a continuació, estan extretes, novament, de la taula mitjana dels valors dels 3 anys. Fixem-nos que en aquesta gràfica no apareixen els percentatges, que sí veurem a la següent.

		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3 anys	Sol	22	17,3	18,7	22,3	23,7	27,3	27,7	27,3	25,0	24,3	17,3	17,7
	No sol i sí ACSo	1,3	0,7	5,0	3,7	5,0	2,4	3,3	3,7	3,7	4,4	2,4	0,0
	No ACSo	7,7	10	7,3	4	2,3	0,3	0	0	1,3	2,3	10,3	13,3
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31



Gràfic 5



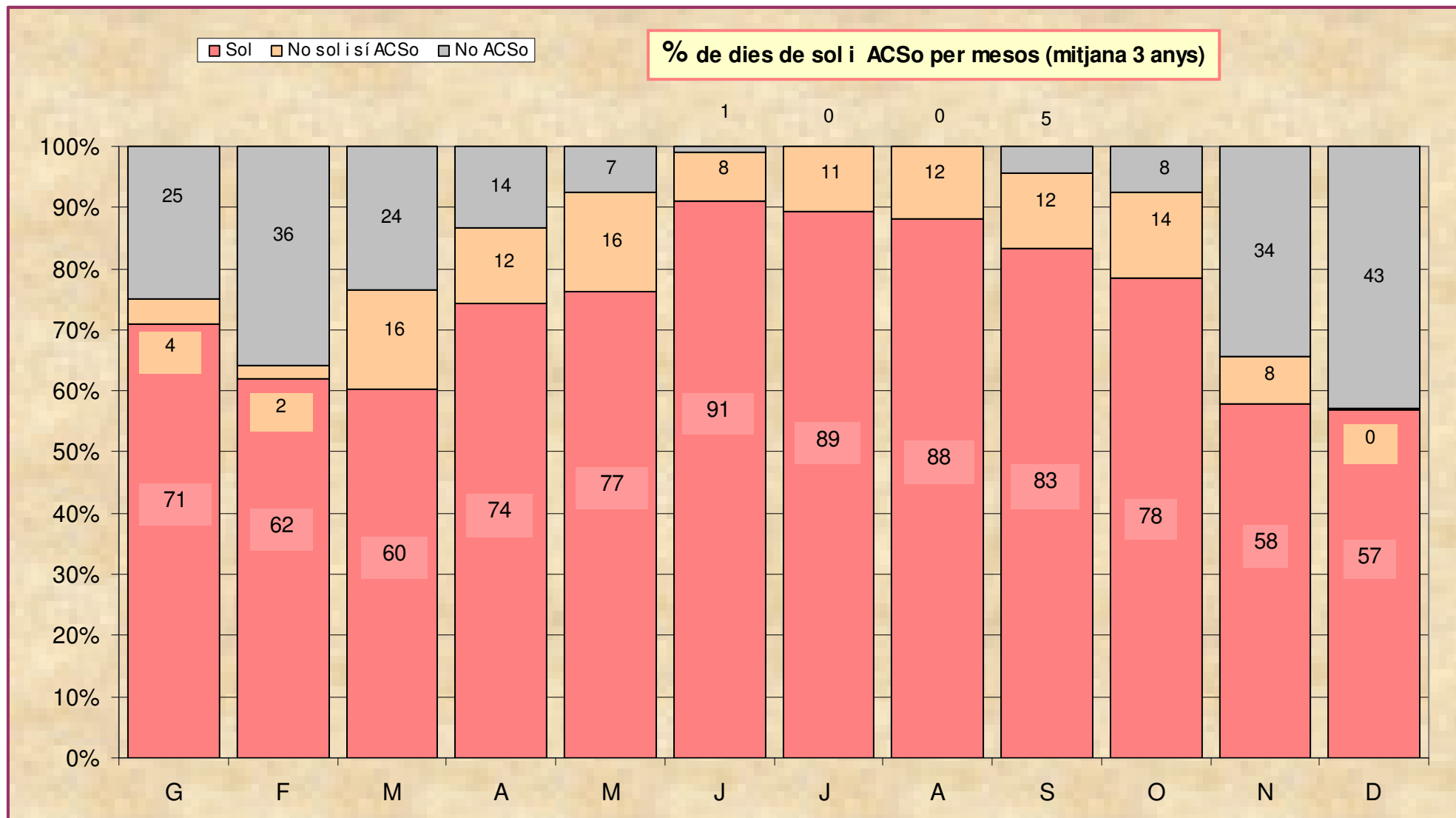
Si observam el gràfic 4, doncs, un fet que crida l'atenció tot d'una és que només hi ha un mes sense gens d'inèrcia tèrmica, és a dir, sense dies que, sense haver fet sol, es disposi d'ACSo. Es tracta del desembre, la qual cosa no ens ha d'estranyar si tenim en compte que és el mes del solstici d'hivern, en què els dies són més curts i el sol s'eleva menys per damunt l'horitzó; d'aquesta manera l'aigua s'encalenteix menys i, per tant, es pot contrarestar menys la fredor de l'aigua que entra dins el depòsit en substitució de la calenta que es consumeix.

El gener i el febrer també són mesos fluixos quant al que acabam de veure, pels mateixos motius que el desembre (el més fluix de tots dos és el febrer, com ja hem vist més amunt).

Quant a la resta, veim que a la primavera hi ha un poc més d'inèrcia tèrmica que a la tardor (una possible explicació podria esser que a Mallorca la primavera és menys plujosa que la tardor i sol estar menys ennigulat).

Finalment, a l'estiu fa tant de sol que la inèrcia tèrmica és suficient per disposar d'ACSo pràcticament tots els dies; si ens hi fixam, en els mesos d'estiu no hi ha una franja color beix més grossa perquè la vermella (dies de sol) ocupa quasi tota la columna.

La gràfica de la pàgina següent és exactament la mateixa que l'anterior, però expressada en percentatges en lloc de nombre de dies.

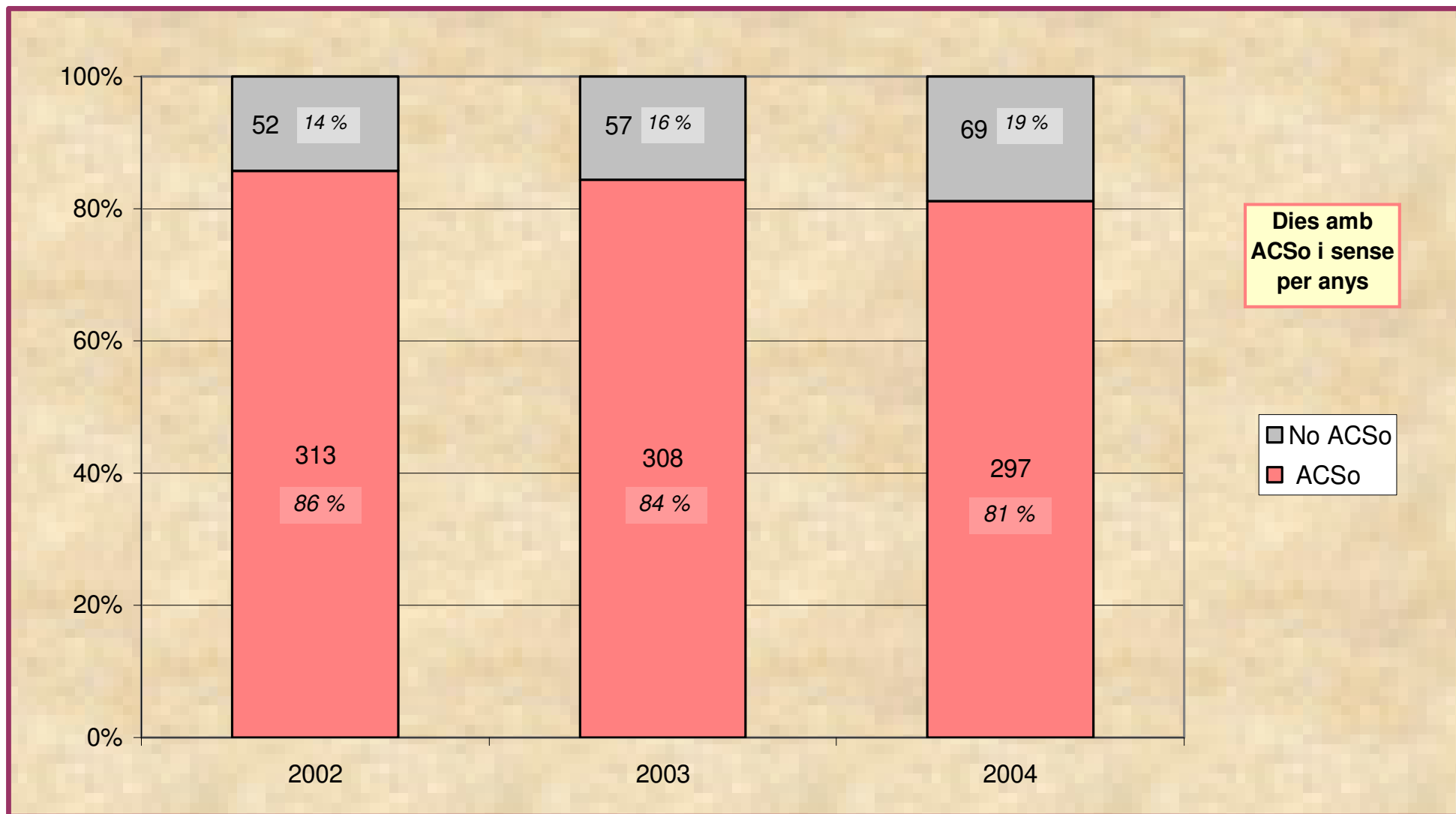


Gràfic 6

Aquest darrer gràfic no aporta grans novetats respecte a l'anterior, però sí ens permet, per exemple, comparant-les totes dues, constatar que el que poden semblar “pocs dies” d'un mes, per exemple els 5 del març o del maig sense sol i sí amb ACSo, signifiquen un percentatge considerable (ni més ni menys que un 16 %). També ens permet constatar gràficament que no hi ha cap mes amb menys d'un 50 % de dies de sol (i no tan sols amb disponibilitat d'ACSo).

A continuació analitzarem el rendiment de la instal·lació per anys, perquè com veurem, d'un any a l'altre dels tres estudiats, hi ha una variabilitat significativa. Per comparar els 3 anys, emprarem la següent taula, extreta de les dades generals dels 3 anys:

		<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	Mitjana
Per anys	ACSo	313	308	297	306
	No ACSo	52	57	69	59,3
		365	365	366	



Gràfic 7

En primer lloc fixem-nos que, curiosament, l'any central de l'estudi, el 2003, és també central quant als valors que presenta al diagrama de barres, que, per tant, s'aproximen molt als valors mitjans per als 3 anys que apareixen al gràfic 1 (en percentatge, són idèntics).

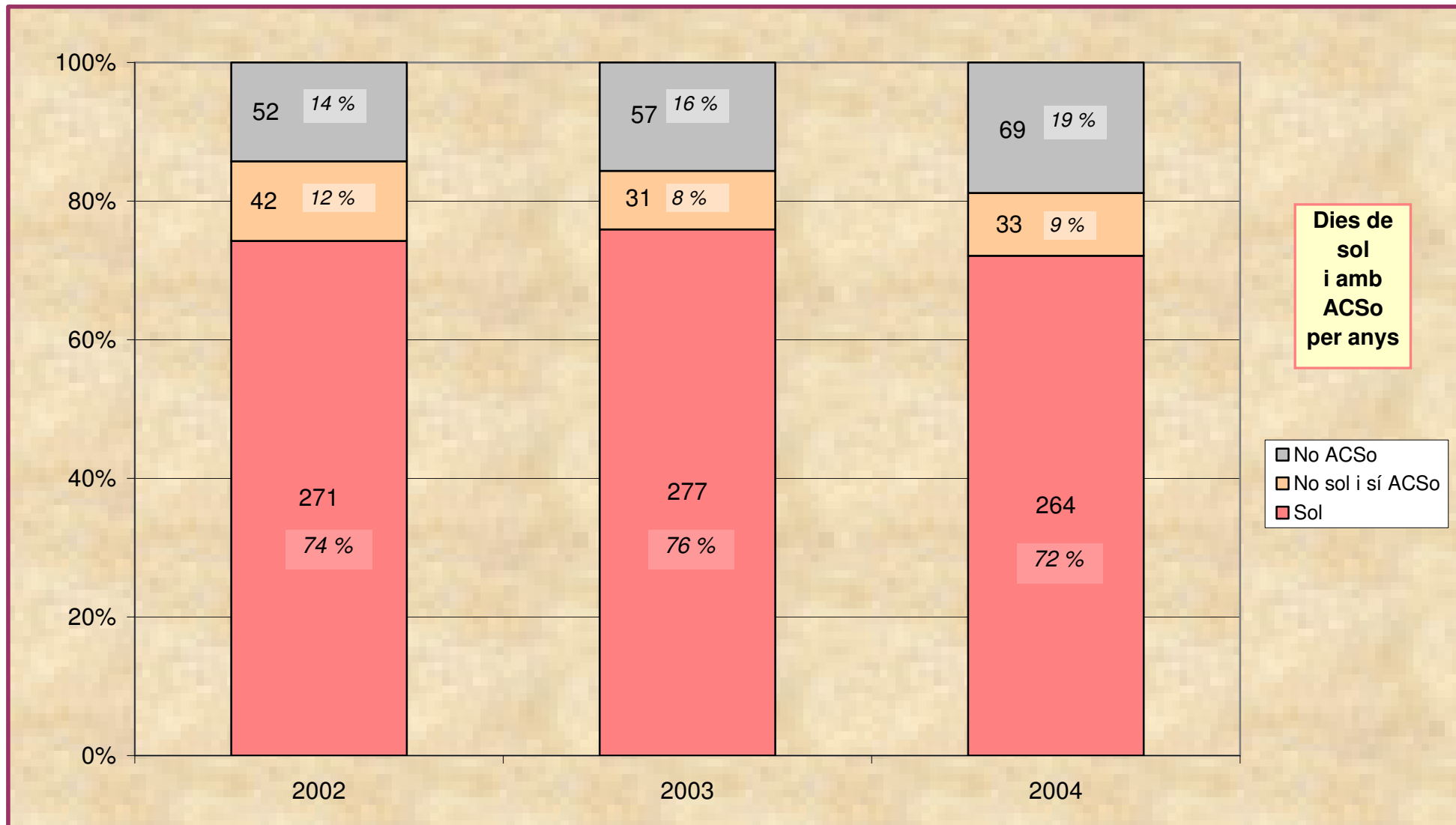
Per altra banda, com veim, entre l'any que hi hagué menys disponibilitat d'ACSo, el 2004, i el que n'hi hagué més, el 2002, hi ha 16 dies amb la dita disponibilitat de diferència, que és una dada a tenir en compte (pensem que es tracta de mig mes de més o de manco). Si comparam les mateixes dades, però no en dies sinó en percentatge, no sembla una dada tan important ("només" un 5 %); veim per tant que un percentatge petit d'un nombre relativament gros, pot suposar una quantitat a tenir en consideració.

Les mateixes diferències que acabam de veure es poden apreciar, inversament, analitzant l'altra cara de la moneda, és a dir, la diferència entre el 2002 i el 2004 quant a dies sense disponibilitat d'ACSo; de tota manera aquest punt l'analitzarem, també gràficament però d'una manera més detallada, un poc més envant.

A continuació veurem el mateix que a les pàgines anteriors, però desglossant els dies amb disponibilitat d'ACSo en dies assolellats i sense sol. La taula de valors seria la següent:

		<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	Mitjana
Per anys	Sol	271	277	264	270,7
	No sol i sí ACSo	42	31	33	35,3
	No ACSo	52	57	69	59,3
		365	365	366	

I la gràfica corresponent apareix a la pàgina següent:



Gràfic 8

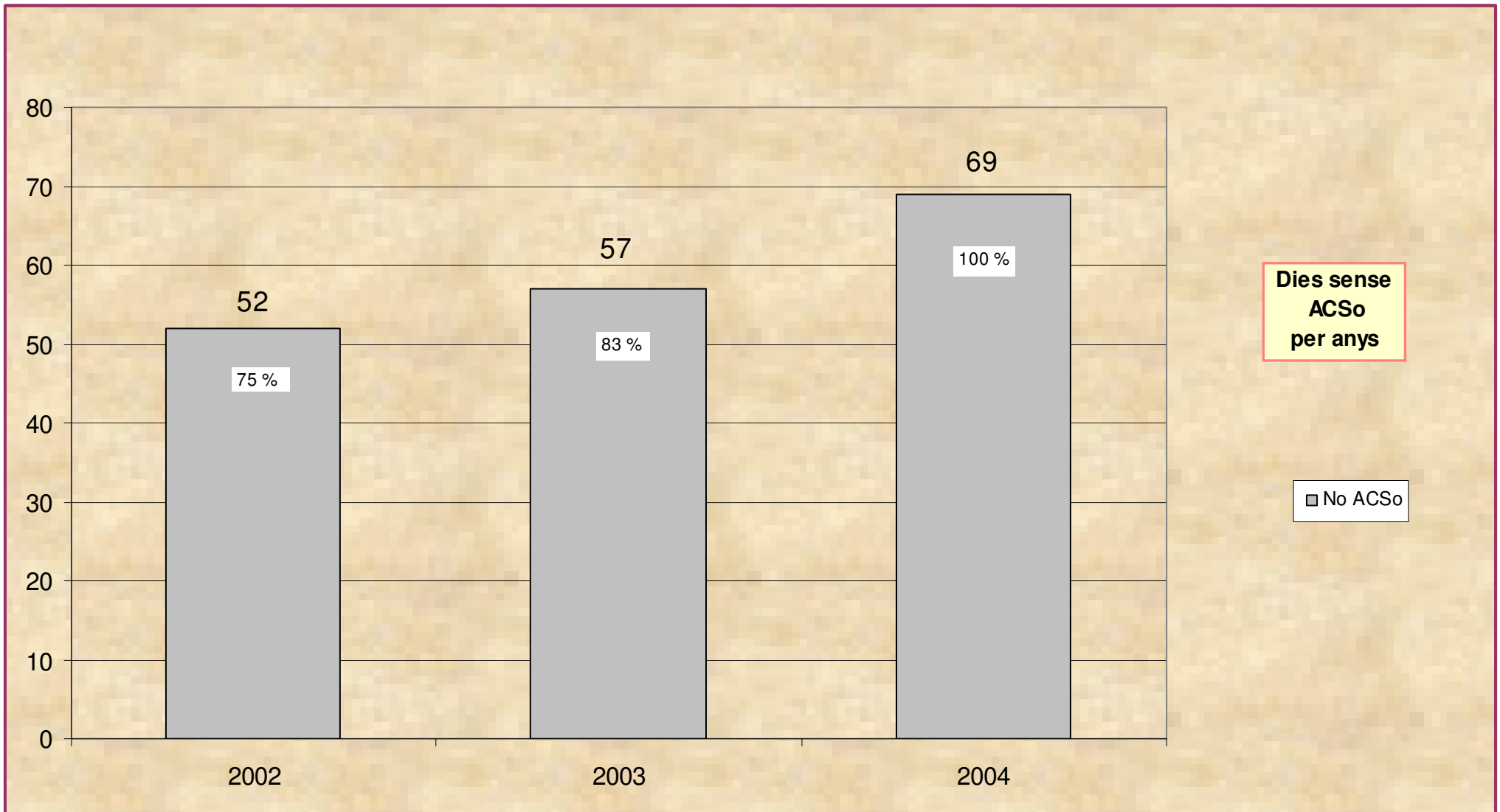
Curiosament, ara s'acosta més als valors mitjans el 2002 i no el 2003, si comparem aquest gràfic amb el número 1 (part dreta).

Ara bé, el que crida més l'atenció del gràfic si el comparem amb l'anterior (núm. 7) és que l'any amb més dies de disponibilitat d'ACSo (2002) no fou el que comptà amb més dies assolellats, com seria d'esperar, sinó que aquest darrer fou un altre, el 2003. Això implica que el 2002, encara que hi hagué menys dies de sol, n'hi hagué més amb prou inèrcia tèrmica perquè es disposàs d'aigua calenta sense haver fet sol (si comparem les columnes corresponents veurem que el 2002 hi hagué 11 dies més d'aquest tipus –color beix al diagrama- que el 2003). L'explicació, almenys en part, ha de raure en casos com el del desembre, mes que comptà amb bastants més dies assolellats en el cas del 2003 que en el del 2002 (pensem que és un mes amb pràcticament gens d'inèrcia tèrmica).



A continuació veurem una part dels gràfics 7 i 8, els dies sense sol ni ACSo dels 3 anys de l'estudi, però d'una manera "amplificada". És a dir, que per no "perdre'ns" en l'elevat nombre de dies d'un any, compararem els que acabam de citar sense tenir en compte els altres. Per això, el nombre d'aquest tipus de dies de l'any que en tengué més, constituirà, com a punt de referència, el 100 %. La taula a partir de la qual obtindrem el gràfic serà, doncs, aquesta (els valors en percentatges apareixen només al gràfic):

		<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	Mitjana
Per anys	No ACSo	52	57	69	59,3

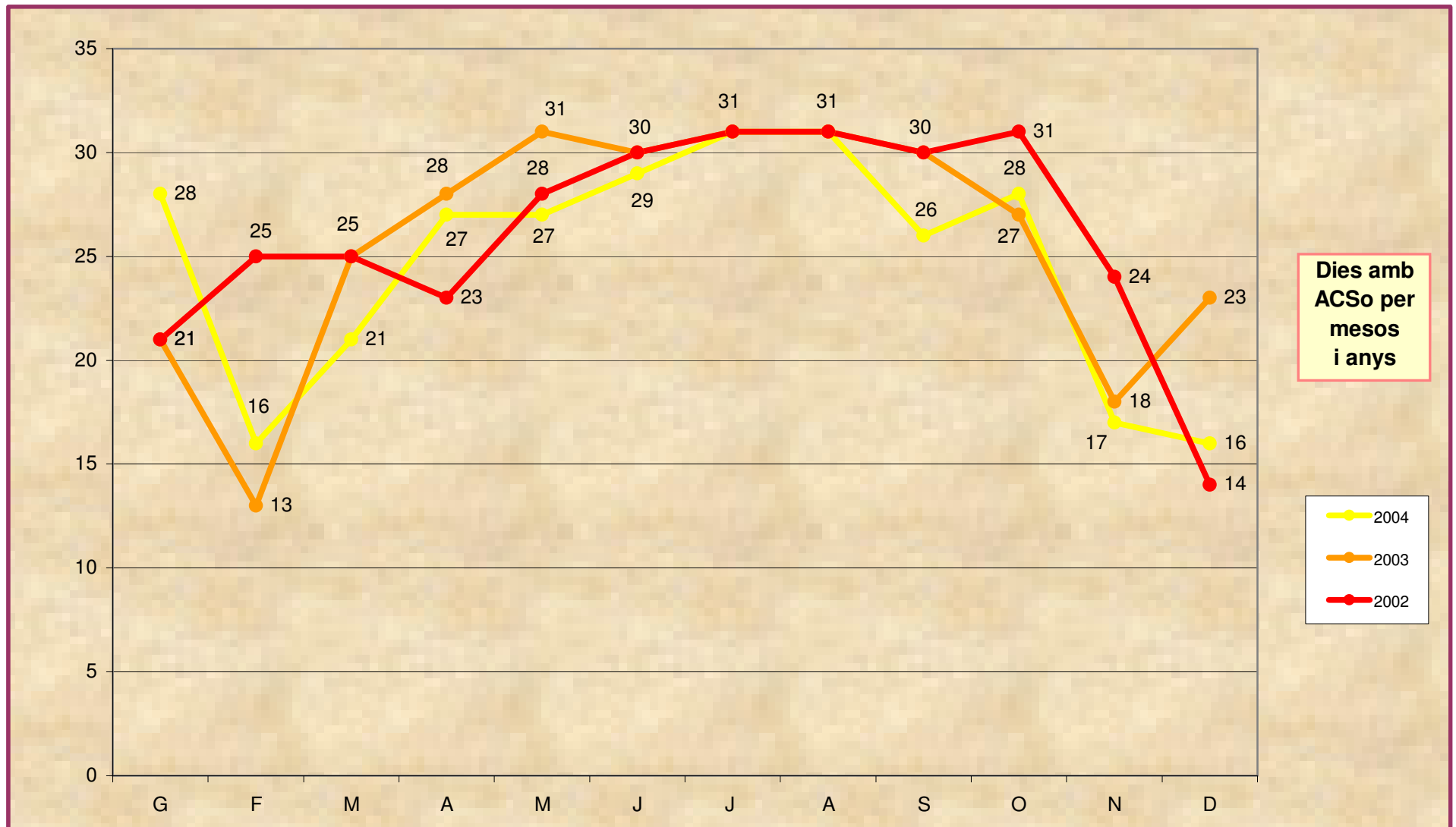


Gràfic 9

Al gràfic anterior es veu amb un cop de vista que hi ha una diferència apreciable en el nombre de dies sense ACSo (i sense sol) dels 3 anys de l'estudi. Entre els dos anys extrems en aquest sentit, el 2002 i el 2004 veim que hi ha un no menyspreable 25 % de diferència (si considerem un 100 % el valor del 2004). En valor absolut, la diferència entre els dos anys citats és de 17 dies, que, teòricament, hauria de coincidir amb el valor de la diferència (inversa, però) entre els dos anys referida als dies amb ACSo. El motiu per mor del qual hi ha un dia de diferència entre els 2 valors (16 i 17 dies) és que el 2004 fou un any bixest, de 366 dies (vegeu la taula de la pàgina 24).

Només ens queden ara dues gràfiques per veure. A la primera compararem, com a d'altres, els dies amb disponibilitat d'ACSo per mesos, però en aquest cas no ens interessaran els valors mitjans, sinó els dels diferents anys de l'estudi. Aquest és el motiu pel qual, per augmentar-ne la claredat, el gràfic serà ara lineal i no de barres (per a cada mes compararem 3 valors alhora). La taula amb els valors de la qual traçarem el gràfic està extreta, lògicament, de les taules amb els valors de cada un dels anys (pàg. 8).

Dies amb ACSo													Suma	Mitjana
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2002	21	25	25	23	28	30	31	31	30	31	24	14	313	26,1
2003	21	13	25	28	31	30	31	31	30	27	18	23	308	25,7
2004	28	16	21	27	27	29	31	31	26	28	17	16	297	24,8



Gràfic 10

El que probablement crida més l'atenció de la figura anterior és que la dispersió de valors és major com més als extrems de la gràfica ens situam, és a dir, és molt grossa els mesos d'hivern, no tant a la primavera i a la tardor i molt petita o nul·la els mesos d'estiu. A més, com ja hem vist més amunt, la magnitud dels valors augmenta dels extrems al centre de la gràfica, contràriament al que fa la dispersió d'aquests mateixos valors.

Si tenim en compte els dos factors que acabam de veure, podem concloure, per tant, que:

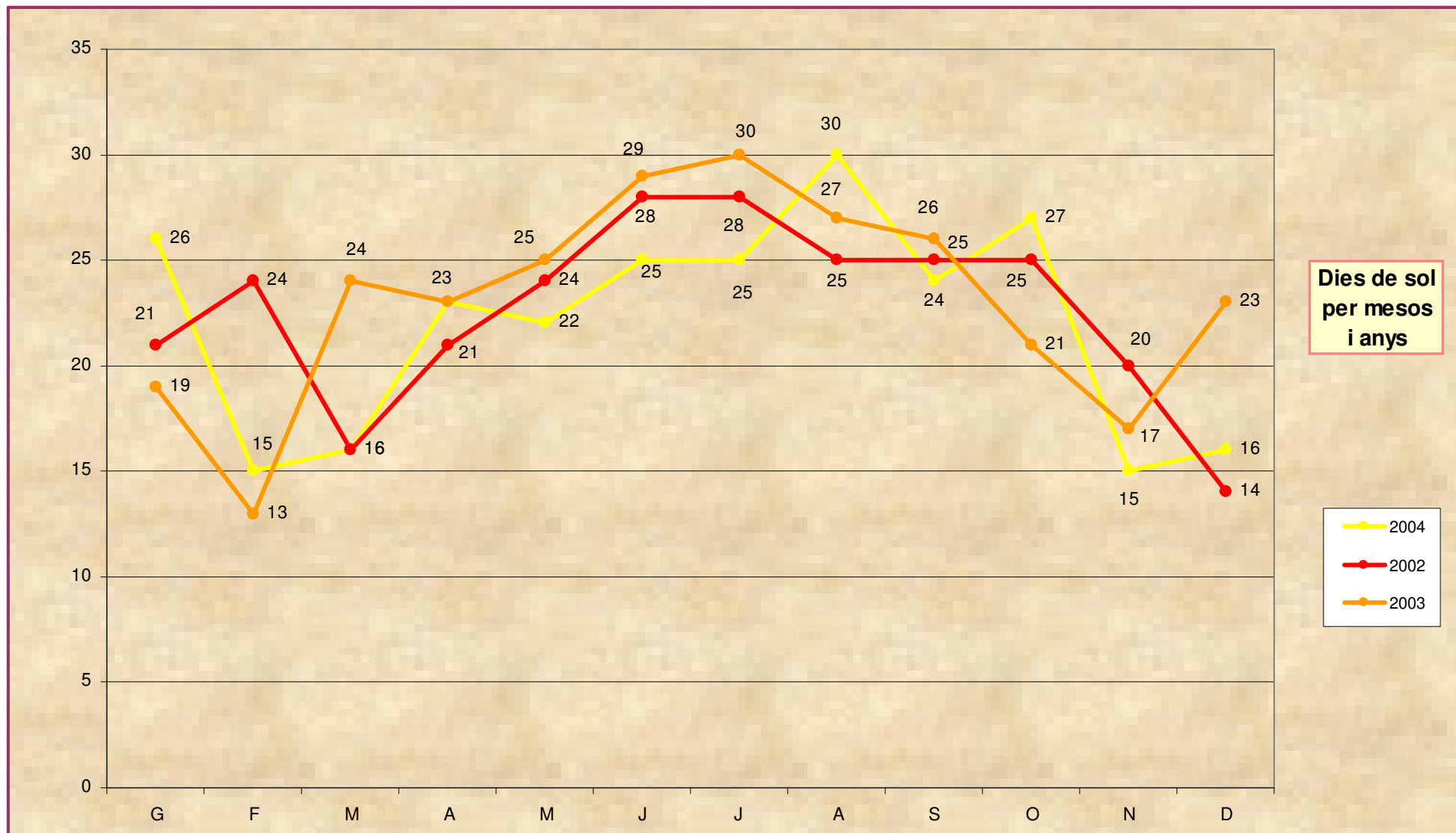
- A l'estiu tenim aigua calenta pràcticament sempre i a més la variabilitat és quasi nul·la.
- A la primavera i a la tardor disposam de molta d'ACSo i la variabilitat és un poc més grossa.
- A l'hivern disposam de menys aigua calenta solar i la variabilitat pot esser molt grossa d'un any a un altre.

Si parlam de valors concrets, veim que la variabilitat més grossa es donà al febrer; concretament, hi hagué ni més ni menys que 12 dies assolellats de diferència entre el febrer del 2002 i el del 2003. El rang de variació pel desembre també fou molt elevat (9 dies), i ja no tan elevat els mesos de tardor i primavera (4-5 dies), si bé la variabilitat el mes de novembre, mes per altra banda molt acostat a l'hivern, també fou bastant elevada (7 dies).

A la darrera gràfica que veurem farem una comparació molt semblant a l'anterior, però ara el que compararem per mesos i anys seran els dies que féu sol, en lloc de comparar els dies amb ACSo.

La taula de valors a partir de la qual es determinen els punts del gràfic està extreta, també com en el cas anterior, de les taules generals de dades dels tres anys de l'estudi (pàg. 8):

		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Mitjana
Dies de sol	2002	21	24	16	21	24	28	28	25	25	25	20	14	271	22,6
	2003	19	13	24	23	25	29	30	27	26	21	17	23	277	23,1
	2004	26	15	16	23	22	25	25	30	24	27	15	16	264	22,0



Gràfic 11



Fixem-nos en primer lloc que, com és lògic, els valors generals del gràfic són més baixos que els de l'anterior (núm. 10). Després, crida l'atenció la dispersió dels diferents valors per a cada mes, que en general és més elevada que en el gràfic sobre l'ACSo. Es tracta d'un fet lògic, sobretot els mesos de més insolació (com els de l'estiu), ja que, si bé cap mes d'aquests fa sol cada dia, sí és freqüent que es disposi d'ACSo diàriament (o quasi), amb la qual cosa les línies de diferent color tendeixen a confluïr a la part alta del gràfic núm. 10. De vegades, com veim en el cas del mes d'abril, la dispersió és menor en el gràfic 10, però els valors són tots més elevats que a l'11.

Una altra cosa que es pot apreciar bastant bé comparant les gràfiques 10 i 11 és el que ja hem vist a la pàgina 29: es tracta del fet que el 2002 fou l'any dels tres amb més ACSo disponible, però no el més assolat (fixem-nos que la línia vermella, la corresponent al 2002, va en general per damunt les altres al gràfic 10, però normalment per davall la del 2003 – de color taronja – en el cas del gràfic 11).

Com a observacions finals, podem dir que, lògicament, els valors estivals corresponen a una major insolació, i que la dispersió de valors també és més grossa en els mesos hivernals, si bé això no es veu tan clar com en el cas de la gràfica 10. Finalment, els valors relativament baixos del febrer, de què ja hem parlat més amunt, es poden apreciar bé als dos gràfics, si bé es veu també l'excepcionalitat del 2002 en aquest aspecte, ja que el mes de febrer d'aquest any fou molt assolat.

Per acabar la part gràfica d'aquest treball, i com a recapitulació de tot el que hem vist, veurem ara d'una altra manera, per ventura un poc més intuïtiva, la part dreta del gràfic 1 (gràfic circular en què es veu la proporció de dies de sol i ACSo, dies sense sol i ACSo, i dies sense sol ni ACSo durant un any mitjana dels tres estudiats). Es tracta de veure les mateixes proporcions del dit gràfic, però aplicades a un mes ideal de 31 dies, mitjana de tots els mesos. Vegem les equivalències a la taula que figura a continuació, a la qual s'han aplicat les mateixes proporcions anuals a les d'un mes mitjana (la plasmació a damunt un mes ideal – amb els dies agrupats per categories – apareix a la pàgina següent):

Dies	Any mitjana	%	Mes mitjana
De sol amb ACSo	271	74'25	23
No sol i sí ACSo	35	9'59	3
No sol ni ACSo	59	16'16	5
	365	100	31

Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Veim, per tant, que durant un mes qualsevol, mitjana dels mesos dels tres anys de l'estudi, disposaríem d'aigua calenta escalfada solarment durant 26 dies, i no en disposaríem durant 5 dies. Es pot considerar una mala proporció ?

### **CONSIDERACIONS FINALS**

1. Creim que queda clar l'alt rendiment d'aquest sistema d'encalament solar d'aigua a les nostres latituds. Sembla increïble que no s'hagi generalitzat totalment (s'ha de reconèixer, emperò, que la tendència de les darreres normatives, com el *Código Técnico de la Edificación*, del 2006, és obligar a instal·lar sistemes d'ACS solar a les noves edificacions).

Un fet que estam segurs que ha contribuït a la no generalització de les Energies renovables, i concretament de l'Energia solar tèrmica, és la “llegenda negra” que sens dubte les envolta (una llegenda que, per altra banda, pensam que no ha aparegut casualment). Respecte a això, sabem que hi ha no precisament poca gent reticent a les instal·lacions solars tèrmiques perquè “s'ha demostrat que no funcionen bé i els que en disposen ja les comencen a llevar”, com hem sentit a dir més d'un pic.

2. No s'ha pretès arribar a una gran exactitud en els resultats, sinó només que resultin orientatius. És obvi que hi ha dies (la minoria) en què s'aplicà una certa subjectivitat a les dades i que no s'ha fet un seguiment científic del

rendiment de la instal·lació. Per exemple, no s'han mesurat temperatures ni quantitat d'aigua calenta, però com que la metodologia ha estat sempre la mateixa, creim que els resultats s'acosten molt a la realitat.

3. Parlant de temperatura, hi ha gent que es pensa que l'ACSo no pot arribar a cremar. Doncs bé, com hem vist a la pàgina 4, la temperatura màxima que assoleix l'aigua gràcies als col·lectors solars és de devers 70 °C. De fet, l'experiència d'aquests anys ens diu que molt sovint l'aigua solar literalment bofega i l'hem de mesclar amb l'aigua freda.

Una altra creença que sembla que tenen alguns és que aquest sistema no permet donar-se un bany d'aigua calenta. Doncs bé, com és bo de deduir, no només és totalment possible, sinó que, a més, si es vol, es poden prendre molts de banys en un sol dia (encara que no convé tadar tanta d'aigua, naturalment !). Per omplir una banyera mitjana com la nostra (d'uns 240 litres de capacitat) basten uns 115 litres d'aigua, ja que hem de tenir en compte que hi ha de cabre la persona que es banya... Si volem que aquesta aigua estigui a una temperatura apta per al bany, el més normal, si ha fet sol (l'habitual al llarg de l'any, com hem vist) és que l'haguem d'obtenir mesclant la calenta provinent del depòsit almanco al 50 % amb la freda, i podem donar fe que la temperatura de l'aigua resultant és ben elevada ! Es a dir, que per a un bany, haurem de menester  $115 / 2 = 57'5$  litres d'aigua calenta.

Si durant un dia volguéssim destinar tota l'aigua del depòsit (300 l), suposant que fos ple d'aigua calenta, a donar-nos banys a la temperatura òptima, ho podríem fer:  $300 / 57'5 = 5'22$ , aproximadament 5 vegades ! (sense

tenir en compte el refredament de l'aigua del depòsit si passàs prou temps entre bany i bany, per una banda, però per l'altra, tampoc l'encalament de més aigua que probablement es produiria durant el dia !).

Si el que volguéssim fos, no banyar-nos, sinó dutxar-nos (activitat molt més recomanable del punt de vista de l'estalvi d'aigua) totes les vegades possibles amb l'aigua calenta del depòsit, ho podríem fer (fent els càlculs de manera anàloga a l'anterior):

- a) En cas que les dutxes fossin de 60 litres (sense aturar l'aigua per ensabonar-se), tenint en compte que només 30 d'aquests litres, com en el cas anterior, haurien d'esser d'aigua calenta:

$$300 / 30 = 10 \rightarrow \text{Tendríem aigua per a } \underline{10 \text{ dutxes}} \text{ d'aigua calenta !}$$

- b) Si, en canvi, les dutxes fossin de 40 litres (més o menys l'aigua que es pot consumir si s'atura l'aigua per ensabonar-se), 20 l haurien d'esser d'aigua calenta:

$$300 / 20 = 15 \rightarrow \text{Tendríem aigua per a } \underline{15 \text{ dutxes}} \text{ d'aigua calenta !!}$$

4. Consideram que un aspecte important de la instal·lació és racionalitzar-ne l'ús, sobretot a l'hivern. Hem vist que en aqueixa estació de l'any, encara que el fred no influesqui negativament en l'encalentiment de l'aigua (perquè s'encalentesqui l'important és que faci sol, no si fa fred o no; això és així degut a l'efecte hivernacle a petita escala que es produeix als panells, gràcies a estar coberts amb un plàstic transparent), sí influeix indirectament en el seu refredament, ja que l'aigua es refreda molt a dins les canonades per on circula en anar a substituir al depòsit la calenta que s'ha consumit.

Tenint en compte el que acabam de veure, si fa sol i ens volem dutxar a l'hivern, el millor és fer-ho a migdia, quan l'aigua ha tengut temps d'encalenticir-se i ho pot tornar a fer l'horabaixa, fins a la posta de Sol. Una altra possibilitat és dutxar-se més o menys simultàniament al moment d'escurar, per evitar que l'aigua calenta del depòsit hagi tengut temps de refredar-se excessivament en mesclar-se amb la freda que la va substituint.

Conseqüentment, el que no té gaire sentit a l'hivern és dutxar-se el vespre o el matí a primera hora, si ja hem consumit una part de l'aigua calenta disponible; si ho volem fer a les hores esmentades sovint haurem de consumir butà, quan és, com acabam de veure, molt senzill evitar-ho i aprofitar l'energia del Sol.

Un altre exemple de racionalització del consum d'aigua calenta a qualsevol època és, si no hi ha ACSo a primera hora del matí, veim que el dia serà assolellat i podem esperar, no consumir aigua calenta totd'una emprant l'encalentidor de butà, sinó esperar un parell d'hores fins que ja disposem d'aigua solar.

I, per acabar, un darrer exemple de racionalització del consum és tenir esment a l'hora de triar el dia per prendre un bany: amb la quantitat de dies assolellats que hi ha durant l'any, no té gaire sentit fer un gran consum d'aigua calenta (el que suposa prendre un bany) si hem de cremar butà o un altre combustible per obtenir-la. Ja que haurem de consumir molta d'aigua, trobam que val la pena almenys no produir ni una unça de CO<sub>2</sub> per encaletir-la.

5. Els beneficis d'aquesta instal·lació són de tot tipus, no només mediambientals i econòmics, sinó també pràctics. Per exemple, suposa no haver de canviar, en el nostre cas, molt sovint les bombones de butà, amb el temps i els maldecaps que això significa. Nosaltres hem passat d'un consum aproximat de 2 bombones de butà mensuals (per tant, unes 24 cada any) a 4 anuals, és a dir, que ens estalviam devers 20 bombones de butà a l'any. Curiosament, aquesta proporció és pràcticament idèntica a la de la gràfica 1 esquerra, el que indirectament indica el poc pes total que suposa el butà consumit a la cuina:

$$4 / 24 = 0'1666 \rightarrow \text{aprox. } 16 \% \qquad 20 / 24 = 0'8333 \rightarrow \text{aprox. } 84 \%$$

La freqüència de canvi de bombones, emperò, no és sempre la mateixa. Com a exemple curiós, el 2005, any ja fora de l'estudi, férem dos canvis de bombones, el primer pel gener i el segon pel desembre, és a dir, que estiguérem prop d'un any sense haver-les de canviar !



Un altre benefici d'aquest sistema és que l'aigua que ve directament del depòsit solar surt amb més pressió que si passa per l'encalentidor de butà, probablement per dos motius: perquè en no passar per aquest darrer lloc no perd pressió i perquè prové d'una certa altura (recordem que el depòsit i els panells es troben al terrat).

Finalment, un altre avantatge és que l'aigua calenta, en dutxar-se, si s'acaba (rara vegada !) normalment no ho fa de cop, sinó que va davallant de temperatura gradualment. En canvi, tots els que tenen un encalentidor de gas butà a ca seva, saben què passa a l'hivern quan s'acaba el gas de les bombones...

També és cert que els mesos amb menys insolació, sovint convé fer una comprovació abans d'emprar aigua calenta, per veure si l'encalentiment solar ha estat suficient, però no val la pena, abans d'emprar un combustible car i contaminant mirar si disposam d'aigua encalentida gratuïtament i ecològica ? Un empleat d'una empresa instal·ladora de panells solars tèrmics que en tenia a ca seva ens digué que ell començava a consumir aigua calenta solar només a partir de l'abril ... I nosaltres ens demanam: I els altres mesos ? No hem vist que fa sol més de la meitat dels dies ???

6. Quant al manteniment de la instal·lació, durant els 5 anys i mig que fa que disposam del sistema (ens l'instal·laren l'abril del 2001), ha consistit en el següent: vàrem haver de canviar una vàlvula que degotava (preu aprox.12 €) i, de tant, en tant, hem de fer els panells nets amb aigua per eliminar-ne la pols acumulada, per exemple quan ha plogut terra. Es pot considerar un manteniment car o difícil ?

7. Respecte a l'amortització econòmica de la instal·lació hem de fer les següents consideracions:

- La instal·lació no es pot considerar barata, ja que ens costà 406.610 ptes. (abril de 2001).
- Després de dos anys de gestions, arribà la subvenció que havíem demanat al Govern Balear: 720 € (originalment havien d'esser 120.000 ptes; al canvi, els 720 euros representen un poc menys del promès).
- Tenint en compte el preu actual de la bombona de butà (11'78 € el gener del 2007), però també que aquest preu va pujant al llarg del temps, podem fer un càlcul aproximat del temps necessari per amortitzar els 1.724 euros nets que ens costà la instal·lació (obtingut descomptant del preu total, equivalent a aproximadament 2.444 €, els 720 € de la subvenció). El càlcul el farem probablement a la baixa, ja que considerarem com a preu mitjà de la bombona de butà al llarg del període d'amortització, 10 €:

20 bombones estalviades cada any x 10 € per bombona = 200 € d'estalvi anuals.

$1.724 \text{ €} / 200 \text{ €} = 8'62$  anys, que podem aproximar a 8 anys tenint en compte que segurament hem fet el càlcul a la baixa. Es a dir, que en aquests moments (gener del 2007), amb la instal·lació funcionant a ple rendiment, estam com a molt a un any i mig d'aconseguir quitar o amortitzar la inversió. A partir de quan l'haguem amortitzada, ja començarem a obtenir-ne beneficis econòmics nets.

Quant al temps que pot durar una instal·lació d'aquestes característiques, no ho sabem, però sí tenim constància que almanco n'hi ha una, d'un familiar nostre, que fa 22 anys que funciona com el primer dia.

8. Intentarem ara quantificar el principal benefici mediambiental produït per la nostra instal·lació solar, és a dir, la quantitat de CO<sub>2</sub> que hem deixat d'emetre a l'atmosfera gràcies a tot el butà estalviat al llarg dels anys que fa que funciona. Els càlculs serien els següents:

- La instal·lació fa 5 anys i 8 mesos que està en funcionament, és a dir, 5'67 anys.
- Les bombones de butà estalviades hauran estat, per tant, més o menys:

$5'67 \text{ anys} \times 20 \text{ bombones /any} = 113'4 \text{ bombones}$  (les que caben a un camió petit ! -*Vegeu figura-*).



Quantitat aproximada de butà que ens hem estalviat d'ençà que funciona la nostra instal·lació solar tèrmica.

- Cada bombona plena conté 12'5 kg de butà. En conseqüència, totes les estalviades:  
 $113'4 \text{ bombones} \times 12'5 \text{ kg de butà / bombona} = 1.417'5 \text{ kg de butà.}$
- Si tenim en compte ara que la combustió d'1 kg de butà produeix 2'7 kg de CO<sub>2</sub>, haurem deixat d'emetre:  
 $1.417'5 \text{ kg de butà} \times 2'7 \text{ kg de CO}_2 / \text{kg de butà} = 3.827'25 \text{ kg de CO}_2 \text{ !!}$  (aquesta quantitat de diòxid de carboni equival a la que es produeix si es recorren devers 21.300 km amb un cotxe de benzina, activitat, com veim, tampoc gens recomanable des del punt de vista ecològic...).

9. El depòsit d'aigua de la nostra instal·lació solar, també pot funcionar com un termos elèctric (si s'endolla a la xarxa la resistència amb què compta), si bé nosaltres no l'hem emprat mai amb aquesta funció. Sembla que la quantitat d'energia elèctrica que es consumeix així pot arribar a esser totalment desproporcionada, especialment a l'hivern, quant el refredament de l'aigua del depòsit, una vegada s'ha fet ús d'ACSo, és molt acusat (de fet, sabem que hi ha gent, no molt ben informada que, degut a tenir endollada aqueixa resistència, han fet despeses enormes de corrent i que, erròniament, consideren que "l'energia solar" surt caríssima; això és el que fa la mala informació...). A més, les soles transformacions:

combustibles fòssils (carbó, fuel) → energia elèctrica → calor

són un despropòsit total, mitjançant el qual es perden quantitats desorbitades d'energia. Sense cap dubte, tenint en compte l'origen de l'energia elèctrica en xarxa que consumim a Mallorca, és molt més rendible energèticament i econòmica, cremar directament, en cas necessari, un combustible fòssil (en el nostre cas el butà) que consumir electricitat amb totes les transformacions energètiques intermèdies que acabam de veure.

Per acabar aquest apartat, volíem fer esment d'una altra possibilitat que existeix en aquest tipus d'instal·lacions (no és el cas de la nostra, emperò): escalfar amb l'encalentidor de butà l'aigua teba o no calenta a bastament provinent del depòsit solar. D'aquesta manera es pot estalviar gas, si bé s'ha de prendre la precaució de controlar la potència de l'encalentidor per evitar-ne el sobreescalfament.

10.Finalment, volíem fer una darrera reflexió. L'hivern transcorregut fins al moment d'acabar aquest estudi (gener del 2007) ha estat inusualment càlid i assolellat; el canvi climàtic que, lentament però inexorable es comença a manifestar, probablement hi té molt a veure.

Doncs bé, sense cap dubte i encara que no n'haguem fet un seguiment detallat, el rendiment els darrers mesos de la nostra instal·lació solar ha estat clarament superior al que seria d'esperar en aquesta època.

Qualque “efecte col·lateral” positiu havien de tenir les anomalies meteorològiques a què començam a estar sotmesos.

-----