

RENDIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARTICULAR

Estudio realizado por Gregori Puigserver i Canyelles.

Marratxí (Mallorca), enero de 2007

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como eje fundamental el seguimiento durante tres años del rendimiento de una instalación solar térmica situada en la azotea de una vivienda particular. Su principal objetivo es animar a hacer instalaciones de esta clase, en edificios de todo tipo, a aquellas personas que puedan tener dudas sobre su eficiencia, rentabilidad y beneficios sobre el medio ambiente. Y esto se pretende conseguir tanto mediante el estudio citado del rendimiento de la instalación térmica como desmintiendo con la experiencia del uso directo algunas de las numerosas falsas creencias que se tienen sobre la energía solar térmica. Así mismo, pensamos que de este documento podría surgir alguna idea para utilizar didácticamente la Energía solar térmica.

En el estudio se habla primero de los componentes y las características de la instalación, para seguidamente pasar a analizar mediante tablas y gráficos la proporción de días del año que fueron soleados y la de los que no lo fueron. Estas mismas proporciones se estudian después separadamente para los seis meses del año más favorables desde el punto de vista del rendimiento de la instalación, y para los seis meses más desfavorables.

A continuación pasa a analizarse el rendimiento de la instalación para los diferentes meses del año, con el mismo sistema que para un año completo y para los semestres. También se compara el rendimiento para cada uno de los tres años estudiados, y finalmente, para años y meses a la vez. Se acaba esta parte resumiendo el rendimiento global de los tres años en un mes ideal, media de todos los estudiados.

En la segunda parte del trabajo (pág. 43 y siguientes) se hacen una serie de consideraciones finales derivadas de la experiencia en el uso de la instalación; entre otras cosas, se habla de algunos consejos prácticos para racionalizar el consumo de agua caliente solar, de los beneficios de todo tipo, directos e indirectos, que proporciona la instalación, de si tiene o no un mantenimiento costoso, de cuánto tiempo se necesita para amortizarla, de qué vida operativa puede tener y en qué medida supone un ahorro en el consumo de gas y consecuentemente de las emisiones de CO₂.

El presente estudio se basa en el seguimiento de la insolación y el rendimiento de una instalación solar térmica durante tres años (2002, 2003 y 2004). Dicha instalación se encuentra en la azotea de una vivienda unifamiliar en la que viven 3 personas, situada en el término municipal de Marratxí (Mallorca) (*foto 1*).



Foto 1

La instalación consta de:

- Dos paneles térmicos de 2 x 1 m cada uno que, por lo tanto, proporcionan en total una superficie de captación de la radiación solar de 4 m² (*foto 1*).
- Un depósito de agua de 300 L; el agua que contiene, si ha habido suficiente radiación solar, se calienta hasta un máximo de 70° C (la temperatura máxima de consumo es de 40° C) y se emplea para los usos domésticos habituales, es decir, para la ducha, el baño, para lavar los platos y para fregar el suelo (*foto 1*).
- Además de los componentes de la instalación solar, el sistema cuenta con un calentador alternativo a gas butano, que permite disponer de agua caliente cuando no ha habido radiación solar suficiente para un consumo determinado (*fotos 2 y 3*).

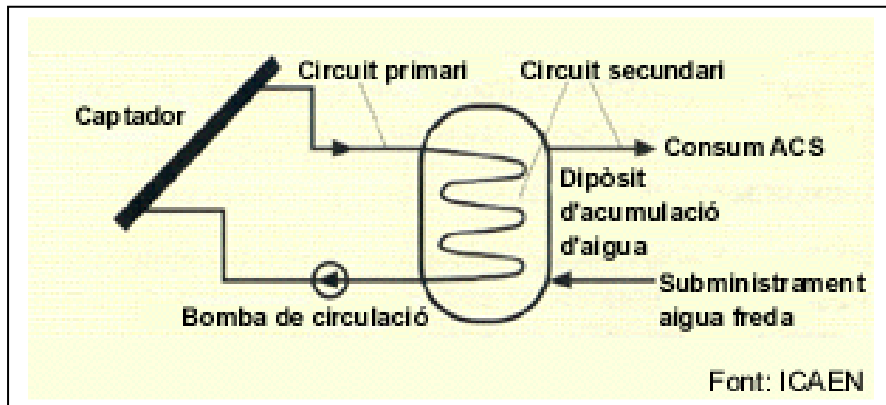


Foto 2



Foto 3

La instalación solar en sí comprende dos circuitos de agua (*ver esquema*):



Esquema de una instalación solar térmica como la nuestra: el circuito Primario es el de la izquierda (cerrado) y el Secundario es el de la derecha (abierto).

Aunque en el dibujo el depósito aparece a la misma altura que los paneles, en nuestro caso está por encima de ellos y, por lo tanto, no necesitamos la bomba de circulación que aparece en el esquema.

- El circuito PRIMARIO, que es cerrado y transporta el agua desde los paneles o colectores solares, donde se calienta (el ser negros y contar con una cubierta de plástico favorece el proceso) hasta el depósito de 300 L. Como el depósito, en nuestro caso, está situado por encima de los paneles, el proceso funciona espontáneamente, sin necesidad de bomba alguna. Este proceso, puramente físico, se denomina CONVECCIÓN, y se basa en que el agua, al calentarse en los paneles, pierde densidad y asciende. Cuando ha cedido parte de su energía calorífica al agua del depósito (agua que veremos forma parte del circuito Secundario), es decir, una vez enfriada, se vuelve más densa y tiende a descender, llegando de esta manera a su lugar de origen, los paneles. En éstos se reinicia el proceso y de esta manera, mientras haya insolación, el agua del depósito va incrementando su temperatura.

Hay viviendas en las que el depósito no puede estar por encima de las placas (por ejemplo, si éstas se encuentran sobre un tejado) y, por tanto, se tienen que ubicar en un lugar más bajo. En este caso no queda más remedio que, mediante una bomba eléctrica que formará parte del circuito Primario, forzar el agua a recorrerlo, ya que no puede hacerlo por convección. Esto complica todo el proceso, lo encarece y lo convierte en menos ecológico (si para producir la electricidad que alimenta la bomba empleamos una fuente de energía contaminante).

- El circuito SECUNDARIO está constituido por el agua que se almacena en el depósito y por las cañerías de entrada desde la red de distribución y de salida para el consumo. Como puede verse, este segundo circuito es abierto y, cuando ha habido radiación solar suficiente, proporciona agua caliente sanitaria (calentada gracias al circuito primario por CONDUCCIÓN) a través de la tubería de salida.

Vistos ya los componentes de la instalación, veamos ahora las características del estudio; éste consistió en tomar nota (con unos simples “SÍ” o “NO”) diariamente, durante los años 2002, 2003 y 2004, al final de cada jornada, de si ésta fue soleada o no y de si se dispuso de agua caliente solar o no. Evidentemente, no todos los días la respuesta a esta pregunta era en principio totalmente clara y hubo que decidirse por un “SÍ” o por un “NO”, de un modo ciertamente subjetivo, pero siguiendo siempre los mismos criterios. Dichos criterios fueron:

- considerar que el día fue soleado si por lo menos se llegó a la mitad de la insolación que podríamos considerar normal, es decir, si hizo sol durante el 50 % del día con intensidad normal o si lució durante todo el día pero con una intensidad

mitad de la normal, debido a la presencia de nubes; en caso de pensar que no se cumplía esta condición, el día se consideró “no soleado”.

- considerar que dispusimos de agua caliente solar si su temperatura y cantidad disponibles fueron suficientes para los usos normales del día (ducharse, fregar los platos o el suelo con agua caliente) y no hizo falta encender el calentador a butano; en caso contrario, consideramos que “no” dispusimos de agua caliente solar.

Naturalmente, el número de días con disponibilidad de agua sanitaria calentada solarmente, o agua caliente – sanitaria – solar (ACSo en las tablas y gráficos) fue superior al número de días soleados, debido al aprovechamiento de la inercia térmica que se consigue acumulando el agua caliente en el depósito. Aunque esta agua se enfría a medida una parte es consumida y es sustituida por agua fría proveniente del exterior, si hay mucho calor acumulado en el depósito (algo muy frecuente a lo largo del año), se puede disponer de agua caliente con tiempo nublado uno, dos o incluso más días, dependiendo de la época del año y de la cantidad de agua que se consuma (esto es posible, naturalmente, gracias a que las paredes del depósito son aislantes –se trata, de hecho, de un termo- , con lo que conservan el calor del agua del interior con pérdidas mínimas durante días).

Veamos seguidamente las tablas que resumen, por meses y globalmente, los dos aspectos que acabamos de comentar recogidos durante los tres años en cuestión:

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

Ahora, la tabla promedio de los tres años, mes a mes:

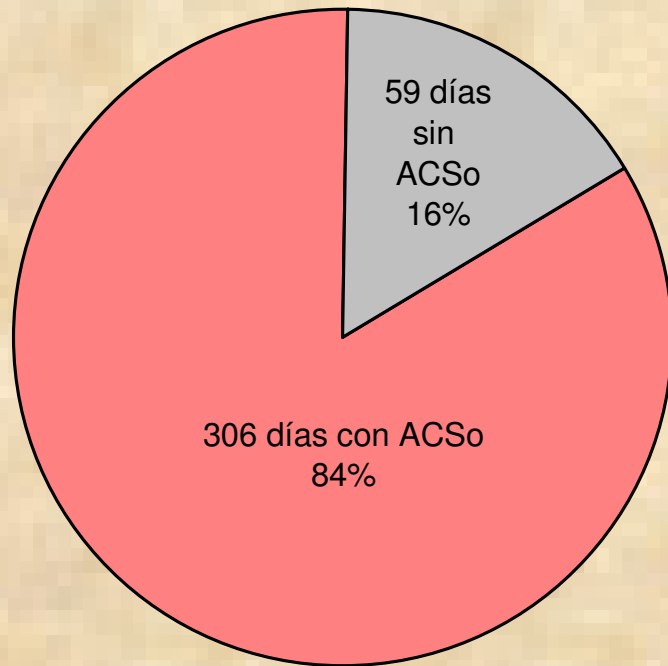
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Promedio
3 años	Días de sol	22,0	17,3	18,7	22,3	23,7	27,3	27,7	27,3	25,0	24,3	17,3	17,7	271	22,6
	Agua caliente solar	23,3	18,0	23,7	26,0	28,7	29,7	31,0	31,0	28,7	28,7	19,7	17,7	306	25,5

Y a continuación, los siguientes datos resumen, extraídos a partir de los totales de la tabla anterior. En la página siguiente encontraremos los mismos valores en forma de gráficos circulares:

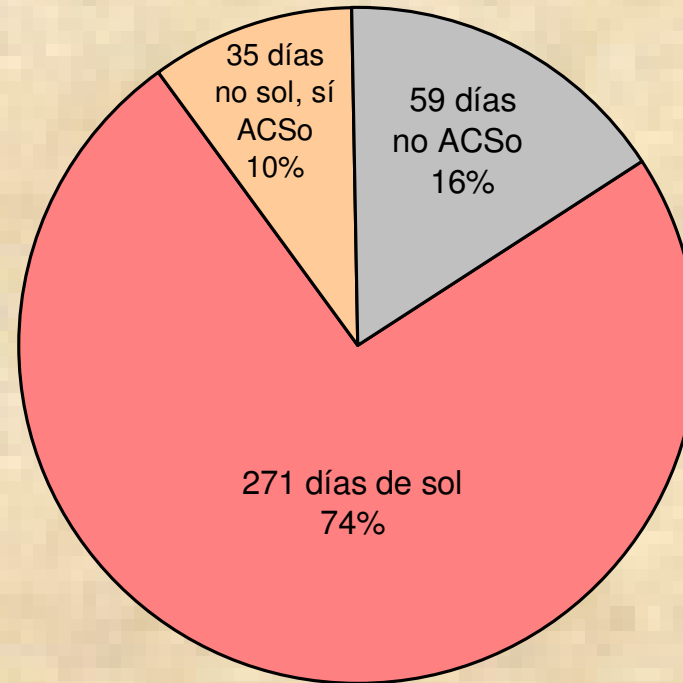
3 años	Agua caliente solar	306
	No ACSo	59
		<hr/>
		365

3 años	Sol	271
	No sol y sí ACSo	35
	No ACSo	59
		<hr/>
		365

Días con y sin agua caliente solar durante el año (media 3 años)



Días de sol y con agua caliente solar durante el año (media 3 años)



Gráfica 1

Como podemos ver en la gráfica de la izquierda, el rendimiento de la instalación es muy alto: ni más ni menos que durante un 84 % de los días del año (como media de los tres años) pudimos contar con agua calentada mediante la radiación solar a una temperatura y en una cantidad suficientes. Y por tanto, como podemos ver también en la gráfica, sólo durante un 16 % de los días no dispusimos de agua caliente solar (durante 59 días, es decir, aproximadamente casi dos meses, lo cual quiere decir que durante 10 meses al año disponemos de agua caliente solar).

En el diagrama circular de la derecha el color rojo no representa, como en el anterior, los días con agua caliente solar disponible (en cambio, el color gris sí representa lo mismo que en la primera gráfica, es decir, los días sin disponibilidad de ACSo), sino los días de sol, mientras que los días sin sol, pero aún con ACSo disponible en el depósito se representan en color marrón claro (beige). Estos últimos días, los de, podríamos decir, “vivir de rentas”, es decir, del calor acumulado en días anteriores con sol, significan de media de los tres años un nada despreciable 10 %, 35 días, es decir, algo más de 1 mes de los 10 vistos en el gráfico y párrafo anteriores.

Como resumen de todo lo que acabamos de ver, *grosso modo*, podemos decir que, de los 12 meses del año:

- 9 hace sol y tenemos ACSo.
- 1 no hace sol, pero también tenemos ACSo.
- 2 no hace sol ni tenemos ACSo.

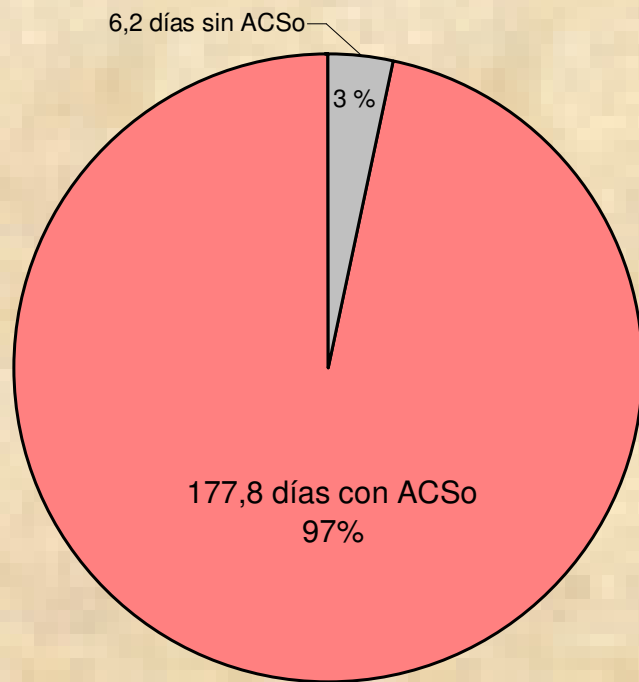
En las siguientes tablas y gráficos seguiremos estudiando el rendimiento de la instalación, pero en este caso dividiendo el año en 2 semestres, el más favorable (con más insolación y, por lo tanto, con más disponibilidad de ACSo) y el menos favorable (con menos insolación, y por lo tanto con menos disponibilidad de ACSo). Analizando la tabla resumen de los 3 años (y también las de cada uno de los años estudiados), puede verse rápidamente que el medio año más favorable transcurre de mayo a octubre, y el menos favorable, de noviembre a abril. Veamos ahora la primera de estas dos “medias tablas”, extraída de la resumen de los 3 años, y dos otras pequeñas tablas elaboradas a partir de los totales de la primera (en la página siguiente en forma de gráficos circulares):

		M	J	J	A	S	O	Suma	Promedio
3 años	Días de sol	23,7	27,3	27,7	27,3	25	24,3	155,3	25,9
	Agua caliente solar	28,7	29,7	31	31	28,7	28,7	177,8	29,6

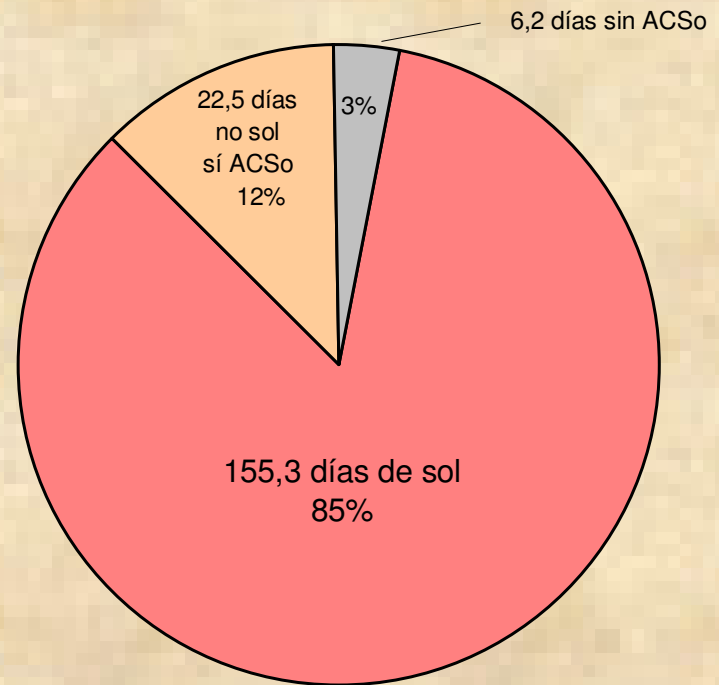
M-O		
	Agua caliente solar	177,8
	No ACSo	6,2
		<hr/>
		184

M-O		
	Sol	155,3
	No sol y sí ACSo	22,5
	No ACSo	6,2
		<hr/>
		184

**Días con y sin ACSo durante medio año
(de mayo a octubre)**



**Días de sol y con ACSo durante medio año
(de mayo a octubre)**



Gráfica 2

Como puede verse, el rendimiento durante el medio año más favorable es altísimo, ni más ni menos que de un 97 % en cuanto a la disponibilidad de agua caliente (un 13 % más que el valor para todo el año). De los 184 que comprende el trimestre en cuestión, solamente durante 6 días no se dispuso de agua caliente, valor que podemos considerar prácticamente despreciable. En cuanto a los días de sol, como vemos también, representaron un 85 % del total (un 11 % más que durante todo el año). Los días en que se vivió “de rentas” representan por su parte un 12 % del total, un 2 % más que para todo el año.

Como resumen y análogamente al caso de la gráfica 1, podemos decir que, de los 6 meses en cuestión:

- 5 meses hace sol y tenemos ACSo.
- Del mes restante, 3 semanas no hace sol, pero también tenemos ACSo,
- y durante menos de una semana, no hace sol ni tenemos ACSo.

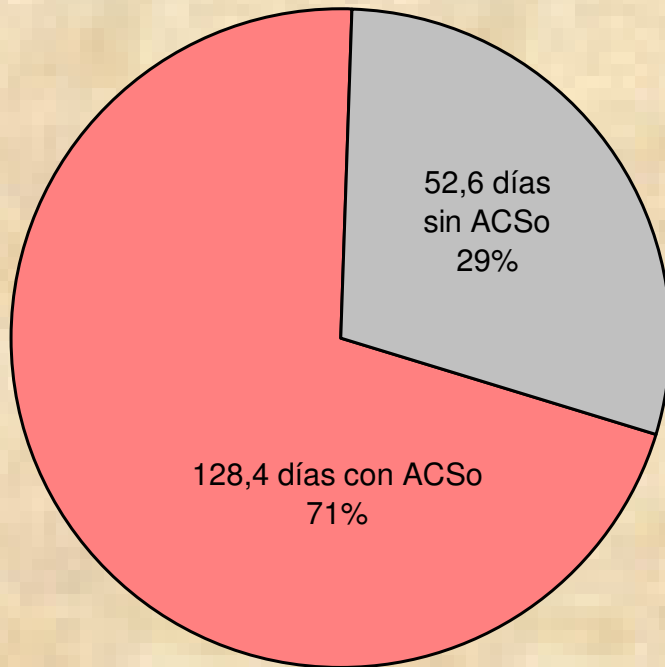
Veamos ahora los valores para el semestre menos favorable en cuanto a insolación y disponibilidad de ACSo (de noviembre a abril). Como en el caso anterior, he aquí la “media tabla” correspondiente a este semestre menos favorable, (extraída de la tabla promedio de los 3 años), las dos tablas resumen y las gráficas correspondientes:

		N	D	E	F	M	A	Suma	Promedio
3 años	Días de sol	17,3	17,7	22	17,3	18,7	22,3	115,3	19,2
	Agua caliente solar	19,7	17,7	23,3	18	23,7	26	128,4	21,4

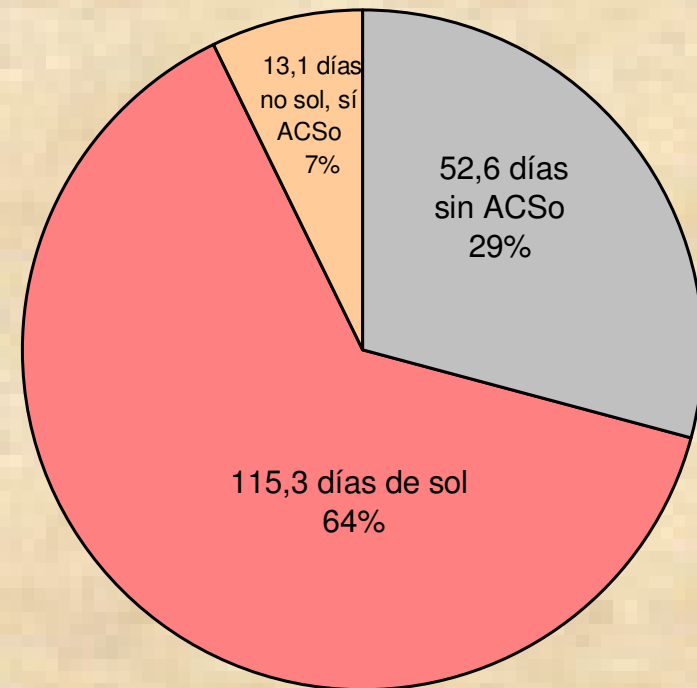
N-A	
Agua caliente solar	128,4
No ACSo	52,6
	181

N-A	
Sol	115,3
No sol y sí ACSo	13,1
No ACSo	52,6
	181

Días con y sin ACSo durante medio año
(de noviembre a abril)



Días de sol y con ACSo durante medio año
(de noviembre a abril)



Gráfica 3

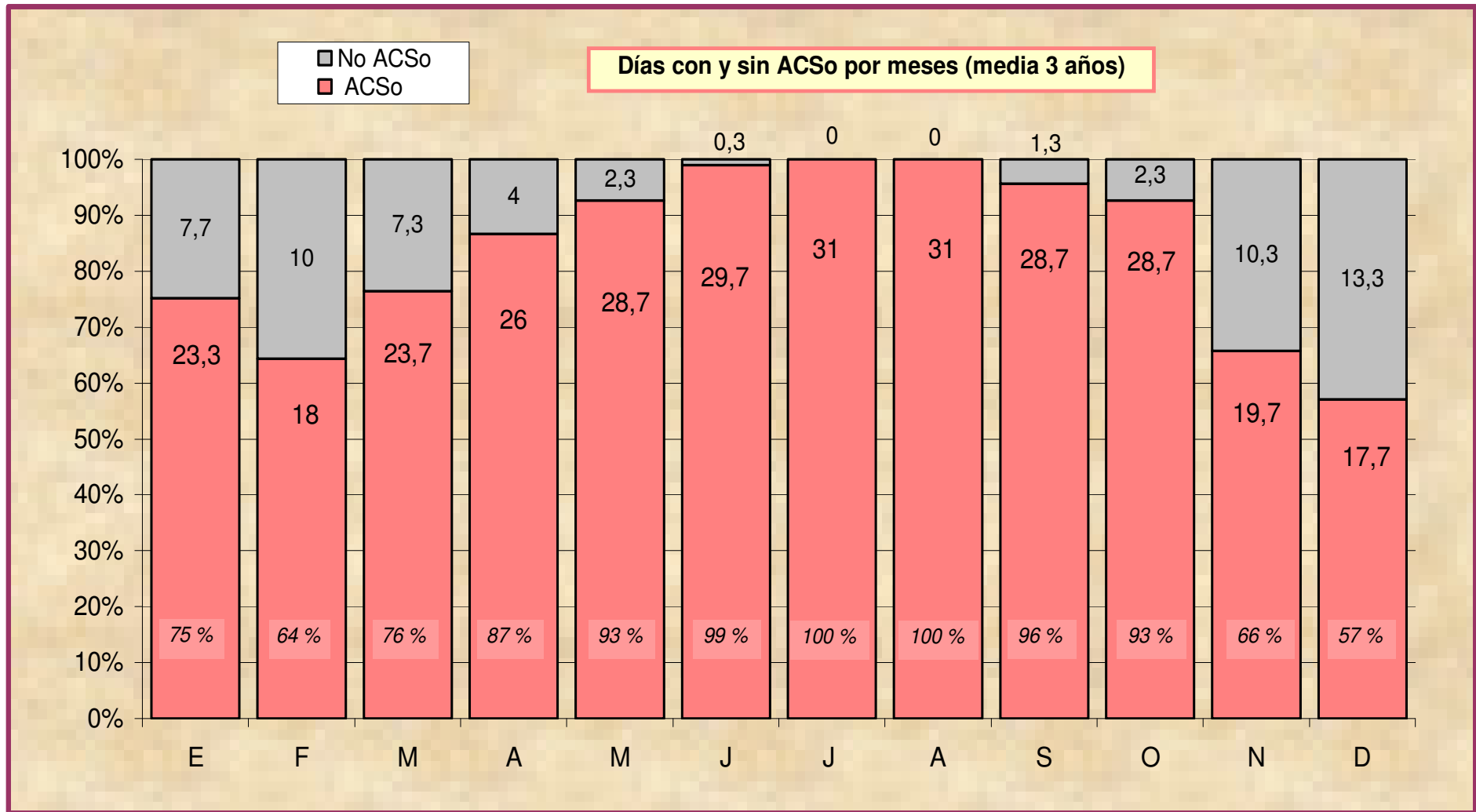
Vemos, pues, que el rendimiento durante el semestre menos favorable, aun siendo considerablemente más bajo que durante el más favorable (un 26 % más bajo en cuanto a disponibilidad de agua caliente), no lo es tanto respecto al valor medio de los tres años (sólo un 13 %) y de ninguna manera se puede considerar un valor bajo por sí mismo (un 71 % de días se dispuso de ACSo). Fijémonos, por otra parte, que los días del semestre que no hace sol ni se dispone de ACSo (52'6) representan casi la totalidad de los días con estas características de todo el año ($[52'6 / 59] \times 100 = 89'2$ %). Por su parte, los días de sol, como vemos, representaron un 64 % del total (un 21% menos que durante el semestre más favorable, pero sólo un 10 % menos que durante todo el año). Los días en los que se dispuso de agua caliente solar “de reserva” (se vivió de “rentas”) representan tan sólo un 7 % del total, es decir, un 5 % menos que durante el medio año más favorable y solamente un 3 % menos que para todo el año (pensemos que es lógico que en invierno, estación en la que el aporte de energía solar es menor, la inercia térmica sea más baja).

A modo de resumen y de manera análoga al caso de las gráficas 1 y 2, podemos decir que, de los 6 meses en cuestión:

- 3 meses y 3 semanas hace sol y tenemos ACSo.
- 2 semanas no hace sol, pero tenemos ACSo.
- 1 mes y 3 semanas no hace sol y no tenemos ACSo.

Seguidamente veremos en un diagrama de barras la disponibilidad de ACSo por meses, usando los datos que figuran en la tabla siguiente, obtenida a partir de la tabla promedio de los 3 años:

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3 años	Días con ACSo	23,3	18	23,7	26	28,7	29,7	31	31	28,7	28,7	19,7	17,7
	D. sin 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



Gráfica 4

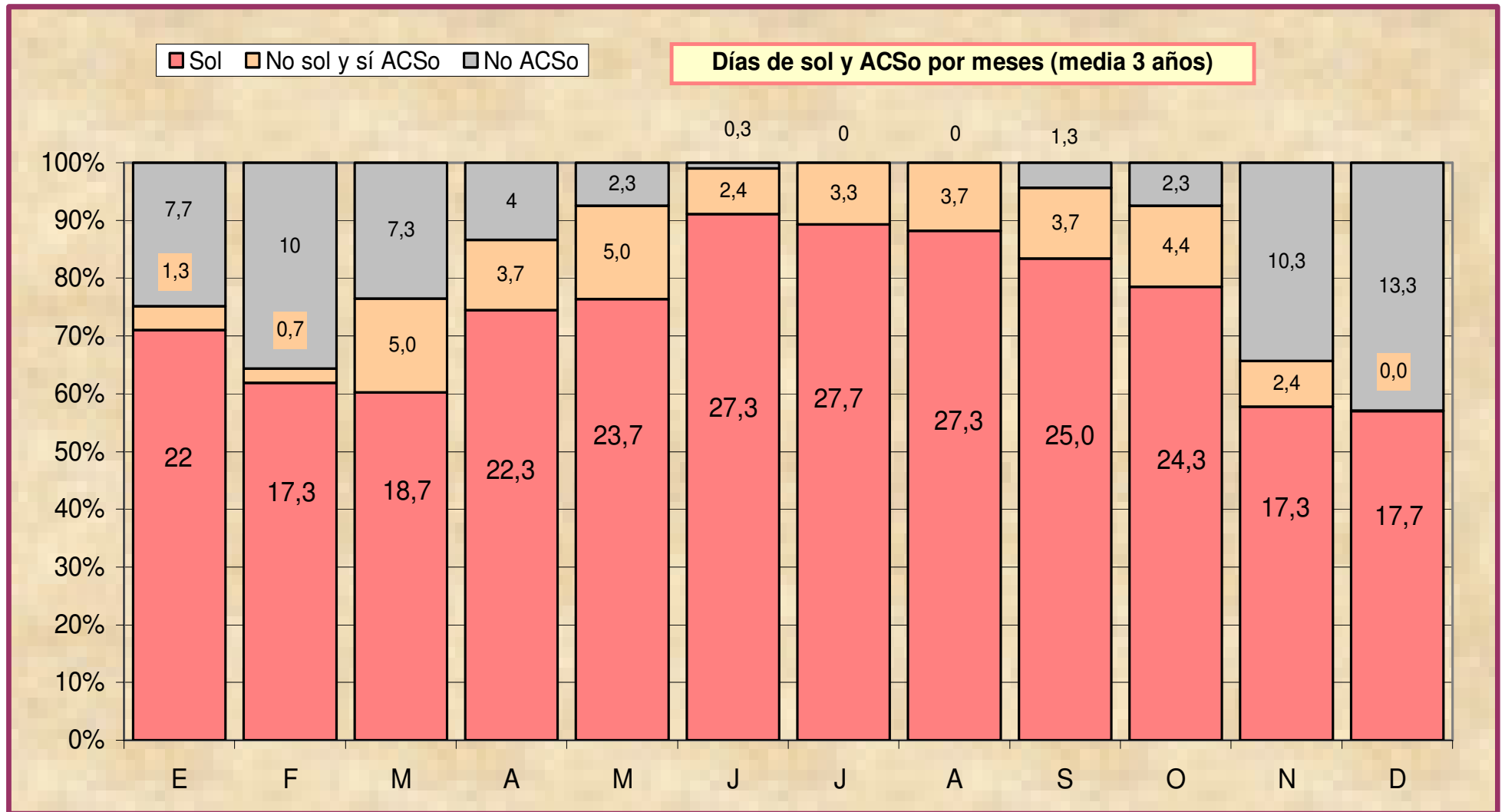
¿ Qué podemos observar en este diagrama de barras ? Muchas cosas. Fijémonos en algunas:

- En los dos meses centrales del verano, julio y agosto, el rendimiento es total, del 100 %; la disponibilidad de ACSo fue diaria durante estos dos meses de los tres años del estudio. En julio y agosto son tantas las horas de insolación y el sol está tan alto en el cielo, que se produce agua caliente de sobra para compensar los días carentes de sol.
- El rendimiento en los demás meses es más bajo, pero siempre superior al 50 %, es decir, que con este sistema, siempre dispondremos de agua caliente solar durante más de medio mes (siempre que el consumo esté dentro de los límites normales, lógicamente). Fijémonos, además, en que el porcentaje de días con agua caliente disminuye de un modo bastante regular desde los meses centrales hacia los extremos del diagrama de barras (en el punto siguiente hablaremos de una excepción a esta regularidad).
- Los meses más flojos son, con bastante lógica, los de otoño-invierno (principalmente diciembre, el más flojo de todos, con un rendimiento del 57 %) pero sorprendentemente hay una clara excepción, que es el mes de enero (75 %), mes con un rendimiento de la instalación como la de marzo (76 %) y superior a la de noviembre (66 %) mes éste último totalmente de otoño. Parece ser que este mayor rendimiento de la instalación en enero (si comprobamos las tablas de cada año veremos que no se da siempre, en sentido estricto), que lógicamente tiene que ver con que cuenta con más días soleados, es bastante habitual y climáticamente significativo (pensemos en las “calmas de enero”).

- Finalmente, podemos fijarnos también en una curiosidad: el número de días con ACSo puede ser el mismo para diferentes meses (por ejemplo, septiembre y octubre, con exactamente 28'7 días de este tipo en ambos casos), y a la vez este mismo número puede representar una proporción de días con ACSo diferente para cada caso (un 96 % en el caso del mes de septiembre, y un 93 % en el del mes de octubre). Es muy fácil adivinar el motivo: el número de días de los diferentes meses no siempre es el mismo y el tanto por ciento que representa un determinado número de días respecto al total del mes puede variar, dependiendo de si el mes es de 30, 31, 28 o 29 días (en el caso del ejemplo, los 28'7 días de septiembre representan una proporción mayor del mes que los mismos 28'7 de octubre, ya que el primero tiene 30 días y el segundo 31). Pensemos que en el eje de ordenadas de las gráficas se representan porcentajes y no valores absolutos, lo cual nos permite trabajar con barras de idéntica altura.

Ahora, en la página siguiente, podremos ver la misma gráfica anterior, pero desglosando en cada barra (como hemos hecho antes en el caso de las gráficas circulares) los días con disponibilidad de ACSo en días con sol por una parte (que representaremos con el mismo color rojo que en la gráfico anterior representaba los días con ACSo) y días sin sol pero todavía con disponibilidad de ACSo (en color beige). Los datos de esta nueva gráfica, que aparecen en la tabla que figura a continuación, están extraídos, nuevamente, de la tabla media de los valores de los 3 años. Fijémonos que en esta gráfica no aparecen los porcentajes, que sí veremos en la siguiente.

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3 años	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 y 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



Gráfica 5

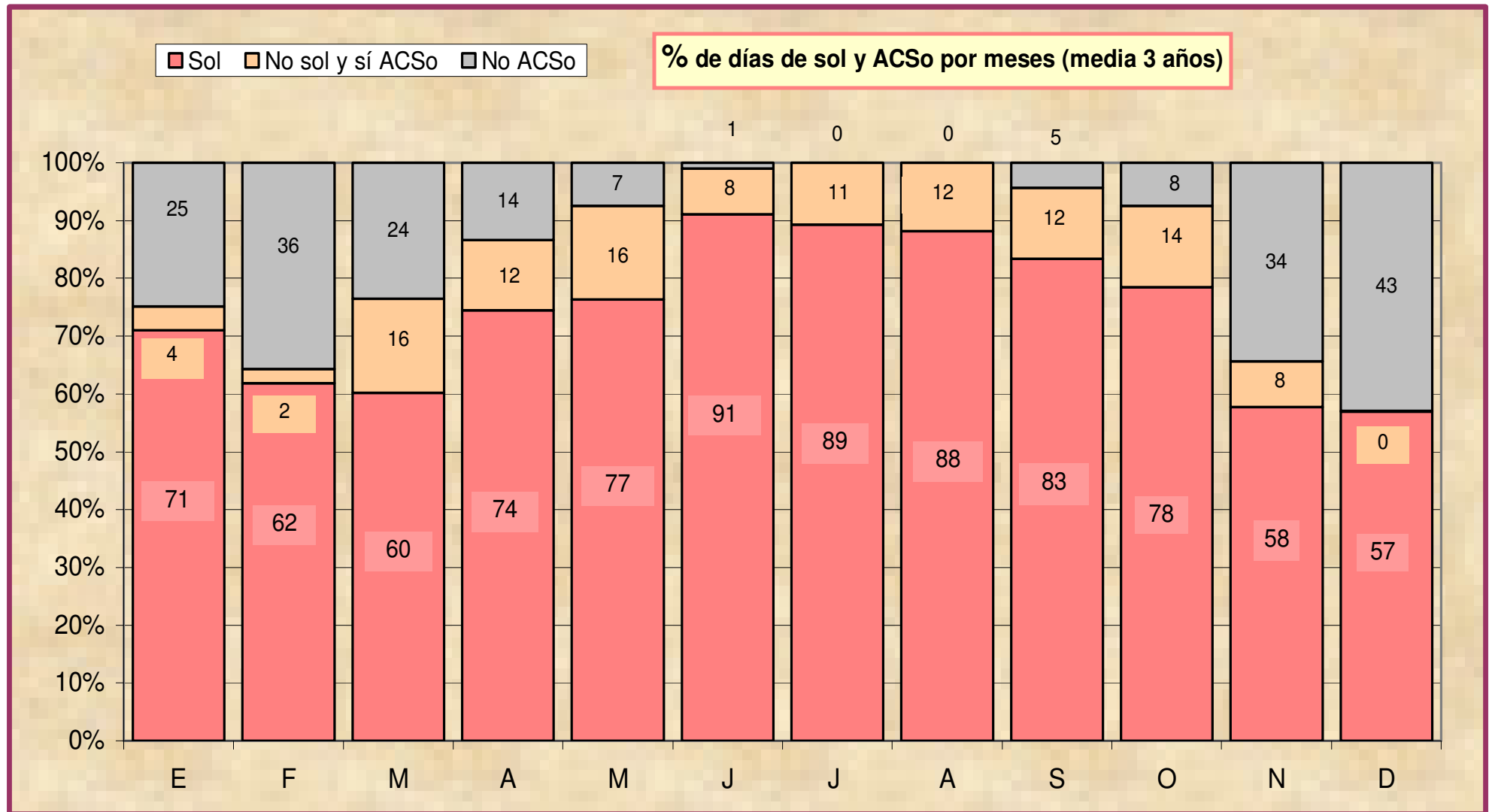
Si observamos, pues, el gráfico 5, un hecho que llama en seguida la atención es que sólo hay un mes sin ninguna inercia térmica, es decir, sin días que, sin haber hecho sol, se disponga de ACSo. Se trata de diciembre, lo cual no es de extrañar si tenemos en cuenta que es el mes del solsticio de invierno, en el que los días son más cortos y el sol se eleva menos sobre el horizonte; de esta manera el agua se calienta menos y, consecuentemente, se puede contrarrestar menos la frialdad del agua que entra en el depósito en sustitución de la caliente que se consume.

Enero y febrero también son meses flojos en cuanto a lo que acabamos de ver, por los mismos motivos que diciembre (el más flojo de los dos es febrero, como ya hemos visto más arriba).

Respecto al resto, vemos que en primavera hay un poco más de inercia térmica que en otoño (una posible explicación podría ser que en Mallorca la primavera es menos lluviosa que el otoño y suele estar menos nublado).

Finalmente, en verano hace tanto sol que la inercia térmica es suficiente para disponer de ACSo prácticamente todos los días; si nos fijamos, en los meses de verano no hay una franja de color beige mayor porque la roja (días de sol) ocupa casi toda la columna.

La gráfica de la página siguiente es exactamente la misma que la anterior, pero expresada en porcentajes en vez de número de días.



Gráfica 6

Este último gráfico no aporta grandes novedades respecto al anterior, pero sí nos permite, por ejemplo, si comparamos uno y otro, constatar que lo que pueden parecer “pocos días” de un mes, por ejemplo los 5 de marzo o mayo sin sol y sí ACSo, significan un porcentaje considerable (ni más ni menos que un 16 %). También nos permite constatar gráficamente que no hay ningún mes con menos de un 50 % de días de sol (y no tan sólo con disponibilidad de ACSo).

A continuación analizaremos el rendimiento de la instalación por años, porque, como veremos, de un año a otro de los tres estudiados, hay una variabilidad significativa. Para comparar los 3 años, utilizaremos la siguiente tabla, extraída de los datos generales de los 3 años:

		2002	2003	2004	Media
Por años	ACSo	313	308	297	306
	No ACSo	52	57	69	59,3
		365	365	366	

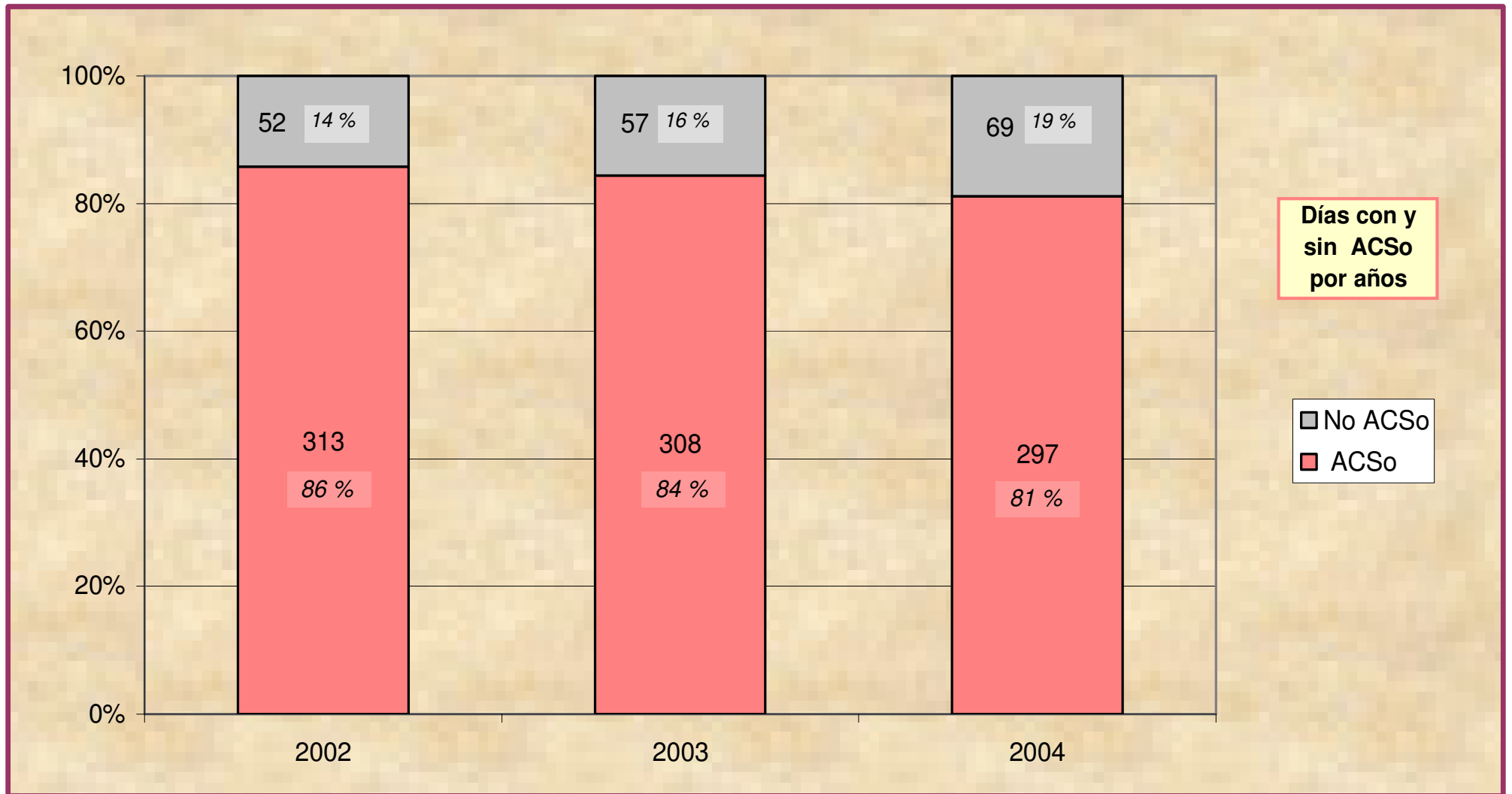


Gráfico 7

En primer lugar fijémonos en que, curiosamente, el año central del estudio, 2003, es también central en cuanto a los valores que presenta en el diagrama de barras, que, por lo tanto, se aproximan mucho a los valores medios para los 3 años que aparecen en el gráfico 1 (en porcentaje, son idénticos).

Por otra parte, como vemos, entre el año en que hubo menos disponibilidad de ACSo, 2004, y el año en que dicha disponibilidad fue mayor, 2002, hay 16 días de diferencia (días con ACSo), lo cual es un dato a tener en cuenta (la diferencia supone medio mes de más o de menos). Si comparamos los mismos datos, pero no en días sino en porcentaje, no parece una cifra tan importante (“sólo” un 5 %); vemos por tanto que un porcentaje pequeño de un número relativamente grande, puede suponer una cantidad de días a tener en cuenta.

Las mismas diferencias que acabamos de ver pueden apreciarse, inversamente, analizando la otra cara de la moneda, es decir, la diferencia entre 2002 y 2004 en cuanto a días sin disponibilidad de ACSo; de todos modos analizaremos este punto, también gráficamente pero de una manera más detallada, un poco más adelante.

A continuación veremos lo mismo que en las páginas anteriores, pero desglosando los días con disponibilidad de ACSo en días soleados y sin sol. La tabla de valores sería la siguiente:

		2002	2003	2004	Media
Por años	Sol	271	277	264	270,7
	No sol y sí ACSo	42	31	33	35,3
	No ACSo	52	57	69	59,3
		365	365	366	

Y la gráfica correspondiente aparece en la página siguiente:

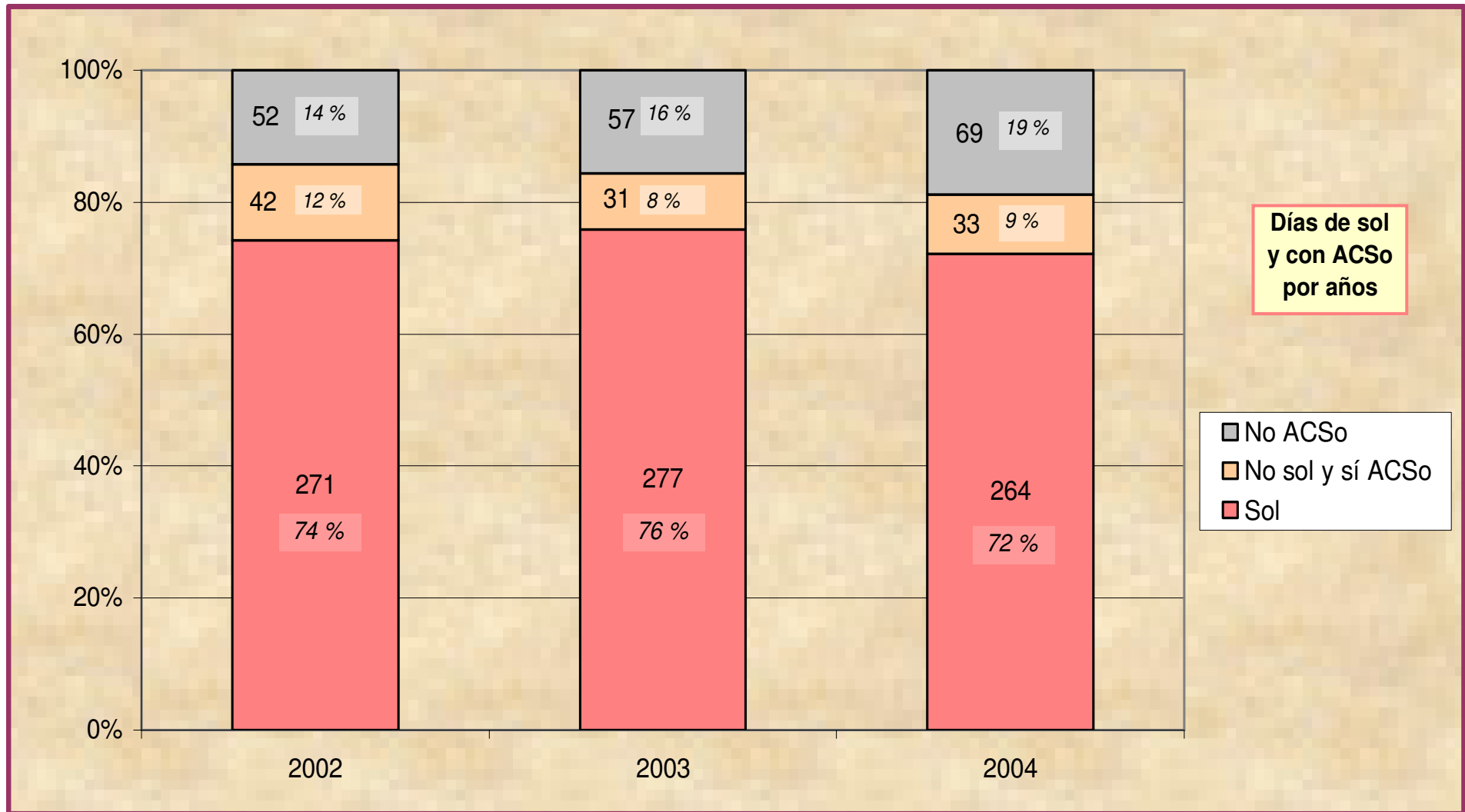


Gráfico 8

Curiosamente, ahora se acerca más a los valores medios 2002 y no 2003, si comparamos este gráfico con el número 1 (parte derecha).

Ahora bien, lo que llama más la atención del gráfico si lo comparamos con el anterior (nº 7) es que el año con más días de disponibilidad de ACSo (2002) no fue el que contó con más días soleados, como sería de esperar, sino que éste último fue otro, 2003. Esto implica que, aunque fueron menos los días de sol de 2002, hubo más con suficiente inercia térmica para poder disponer de agua caliente sin haber hecho sol (si comparamos las columnas correspondientes veremos que en 2002 hubo 11 días más de este tipo – color beige en el diagrama – que en 2003). La explicación, por lo menos en parte, tiene que radicar en casos como el de diciembre, mes que contó con bastantes más días soleados en el caso de 2003 que en el de 2002 (hay que pensar que es un mes sin prácticamente nada de inercia térmica).

A continuación veremos una parte de los gráficos 7 y 8, los días sin sol ni ACSo de los 3 años del estudio, pero de una manera “amplificada”; es decir, que para no “perdernos “ en el elevado número de días de un año, compararemos los que acabamos de citar sin tener en cuenta los demás. Por eso, el número de este tipo de días del año que tuvo más, constituirá, como punto de referencia, el 100 %. La tabla a partir de la cual obtendremos el gráfico será, pues, ésta (los valores en porcentajes aparecen sólo en el gráfico):

		2002	2003	2004	Media
Por años	No ACSo	52	57	69	59,3

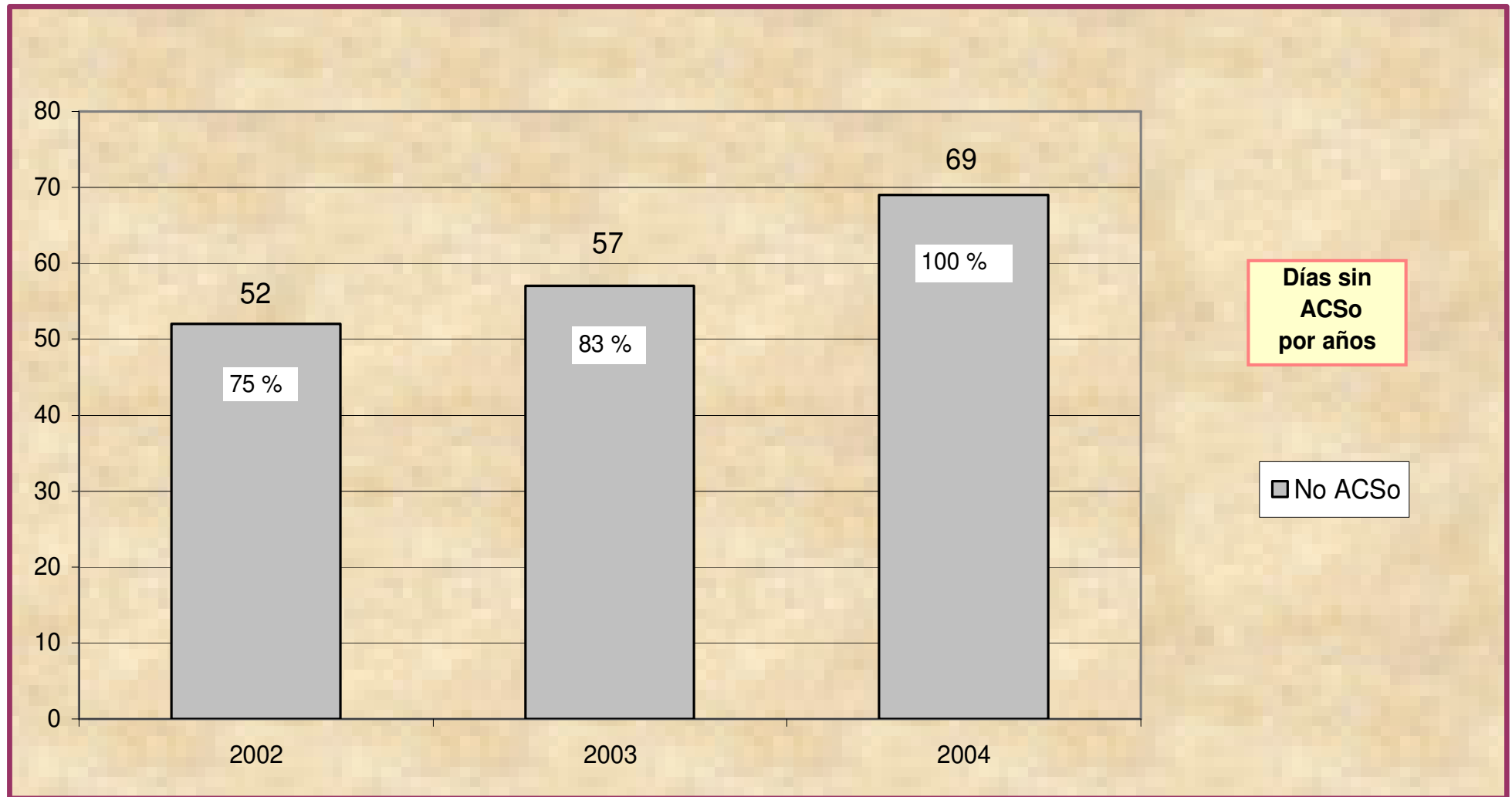


Gráfico 9

En el gráfico anterior se percibe de un vistazo una diferencia apreciable en el número de días sin ACSo (y sin sol) de los 3 años del estudio. Entre los dos años extremos en este sentido, 2002 y 2004, vemos que hay un no despreciable 25 % de diferencia (si consideramos un 100 % el valor de 2004). En valor absoluto, la diferencia entre los dos años citados es de 17 días que, teóricamente, tendría que coincidir con el valor de la diferencia (inversa, no obstante) entre los dos años referida a los días con ACSo. El motivo por el que hay un día de diferencia entre los dos valores (16 días frente a 17) es que 2004 fue un año bisiesto, de 366 días (véase la tabla de la página 24).

Sólo nos quedan ahora dos gráficas por ver. En la primera compararemos, como en otras, los días con disponibilidad de ACSo por meses, pero en este caso no nos interesarán los valores medios, sino los de los diferentes años del estudio. Éste es el motivo por el que, en aras de una mayor claridad, el gráfico será ahora lineal y no de barras (para cada mes compararemos tres valores a la vez). La tabla con cuyos valores trazaremos el gráfico está extraída, lógicamente, de las tablas con los valores de cada uno de los años (pág. 8).

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Media
Días con ACSo	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

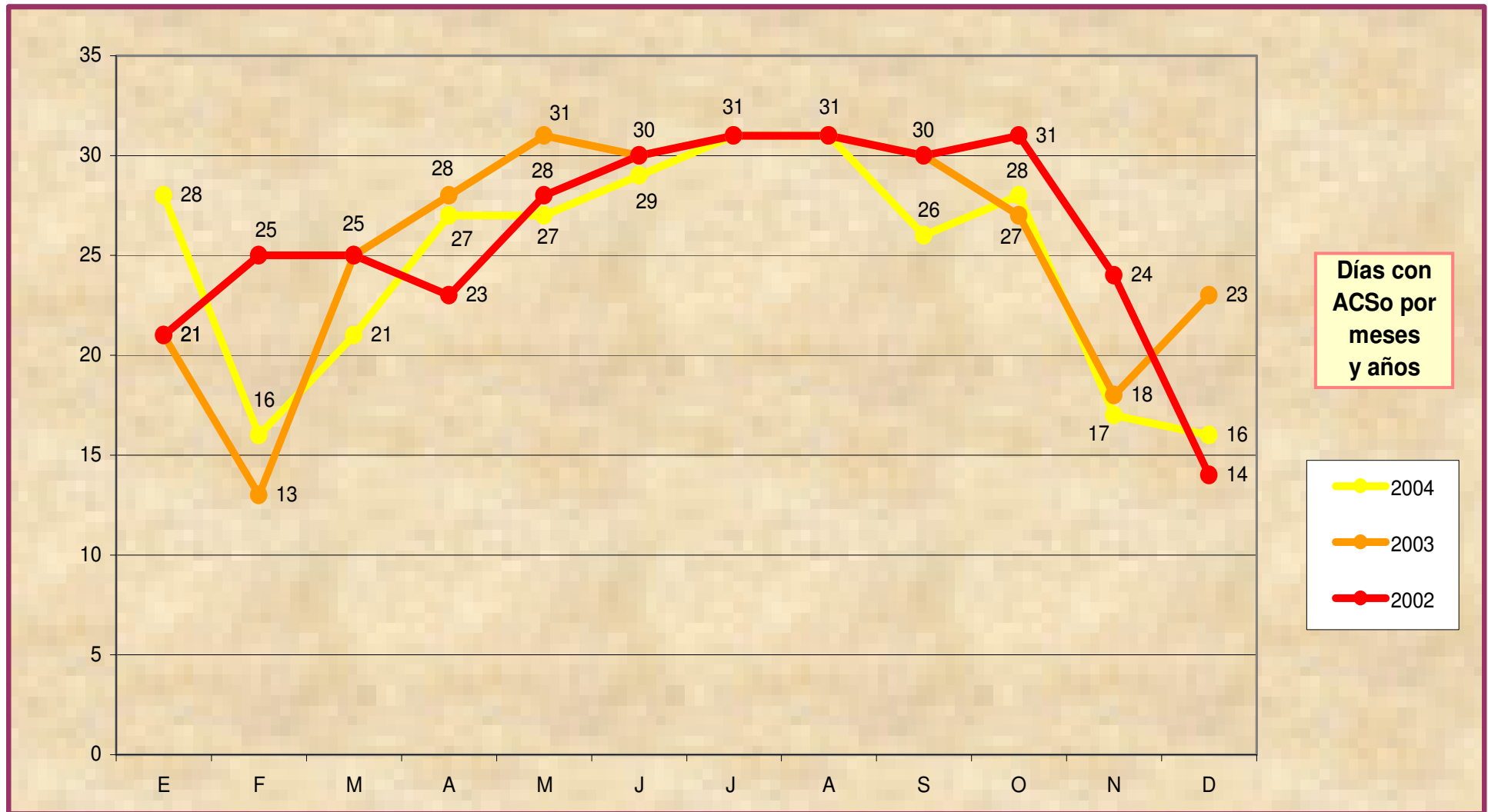


Gráfico 10

Lo que probablemente llama más la atención de la figura anterior es que la dispersión de valores es mayor cuanto más nos situamos en los extremos de la gráfica, es decir, que es muy grande en los meses de invierno, no tanto en primavera y otoño y muy pequeña o nula en los meses estivales. Además, como ya hemos visto más arriba, la magnitud de los valores aumenta desde los extremos al centro de la gráfica, contrariamente a lo que le sucede a la dispersión de estos mismos valores.

Si tenemos en cuenta los dos factores que acabamos de considerar, podemos concluir, por lo tanto, que:

- En verano tenemos agua caliente prácticamente siempre, y además la variabilidad es casi nula.
- En primavera y verano, disponemos de mucha ACSo, y la variabilidad es un poco mayor.
- En invierno, disponemos de menos agua caliente solar, y la variabilidad puede ser muy grande de un año a otro.

Si hablamos de valores concretos, vemos que la variabilidad más grande se dio en febrero; concretamente, hubo ni más ni menos que 12 días soleados de diferencia entre el mes de febrero de 2002 y el de 2003. El rango de variación en diciembre también fue muy elevado (9 días), y ya no tan elevado en los meses de otoño y primavera (4-5 días), si bien la variabilidad en noviembre, mes por otro lado muy cerca del invierno, también fue bastante elevada (7 días).

En la última gráfica que vamos a ver haremos una comparación muy parecida a la anterior, pero en esta ocasión lo que vamos a comparar por meses y años serán los días en los que hizo sol, en vez de los días con ACSO.

La tabla de valores a partir de la que se determinan los puntos del gráfico está extraída, también como en el caso anterior, de las tablas generales de datos de los tres años del estudio (pág. 8).

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma	Media
Días 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

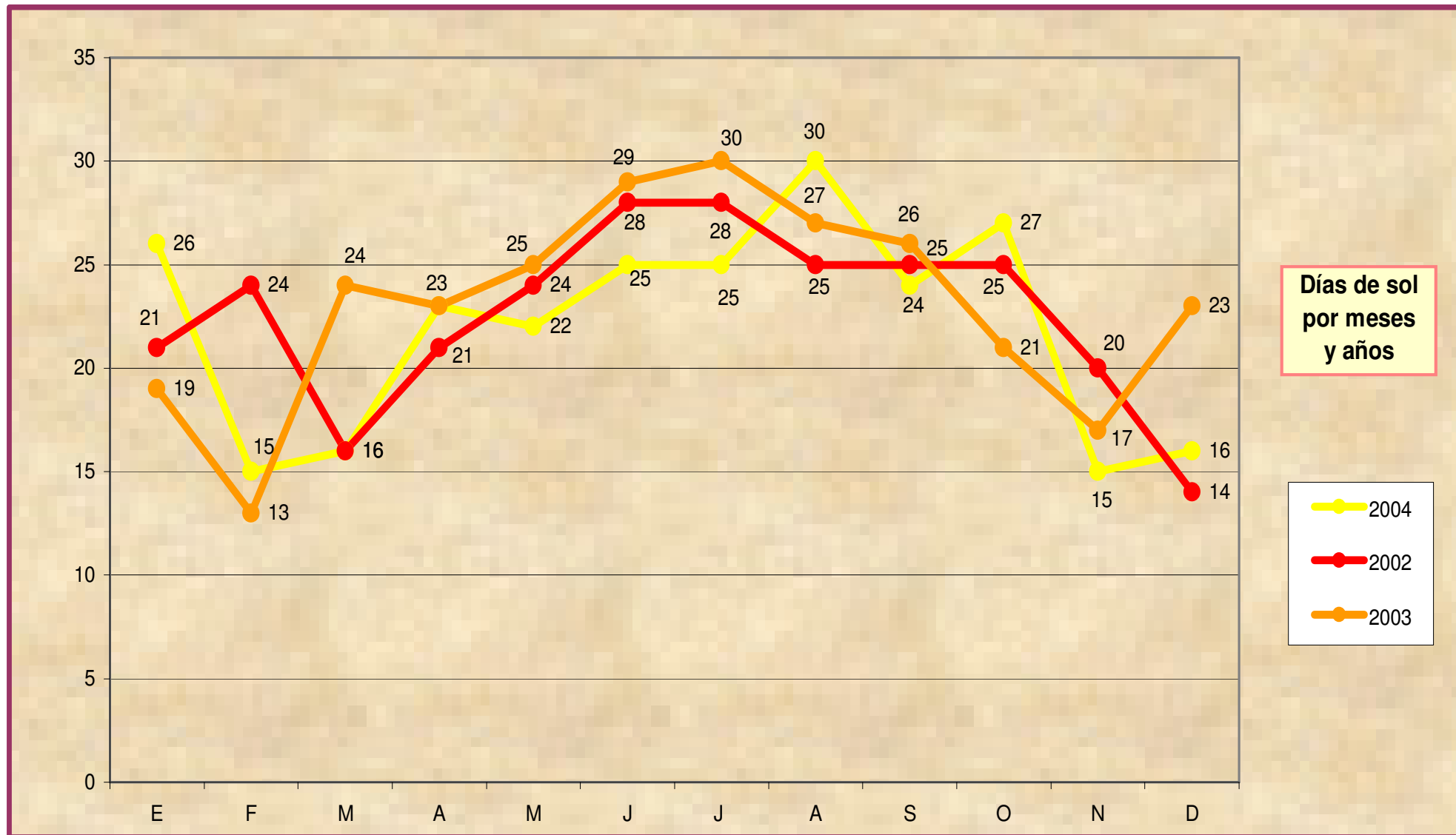


Gráfico 11

Fijémonos, en primer lugar, en que, como es lógico, los valores generales del gráfico son más bajos que los del anterior (nº 10). Después, llama la atención la dispersión de los diferentes valores para cada mes, que en general es más elevada que en el gráfico sobre el ACSo. Se trata de un hecho lógico, sobre todo en los meses de más insolación, (como los de verano), ya que, si bien en ninguno de estos meses hace sol cada día, sí es frecuente que se disponga de ACSo diariamente (o casi), con lo cual las líneas de diferente color tienden a confluir en la parte alta del gráfico nº 10. A veces, como vemos en el caso de abril, la dispersión es menor en el gráfico 10, pero todos los valores son más elevados que en el 11.

Otra cosa que se puede apreciar bastante bien comparando las gráficas 10 y 11 es lo que ya hemos visto en la página 29: 2002 fue el año de los tres con más ACSo disponible, pero no el más soleado (fijémonos en que la línea roja, la correspondiente a 2002, en general va por encima de las otras en el gráfico 10, pero normalmente por debajo de la de 2003 – de color naranja – en el caso del gráfico 11).

Como observaciones finales, podemos decir que, lógicamente, los valores estivales corresponden a una mayor insolación, y que la dispersión de valores también es más grande en los meses invernales, si bien esto no se ve tan claro como en el caso de la gráfica 10. Finalmente, los valores relativamente bajos de febrero, de los que ya hemos hablado más arriba, se pueden apreciar bien en los dos gráficos, aunque se ve también la excepcionalidad de 2002 en este aspecto, ya que el mes de febrero de ese año fue muy soleado.

Para terminar la parte gráfica de este trabajo, y como recapitulación de todo lo analizado, veremos ahora de otra manera, quizás algo más intuitiva, la parte derecha del gráfico 1 (gráfico circular en el que se ve la proporción de días de sol y ACSo, días sin sol y ACSo, y días sin sol ni ACSo durante un año promedio de los tres estudiados). Se trata de ver las mismas proporciones de dicho gráfico, pero aplicada a un mes ideal de 31 días, media de todos los meses. Veamos las equivalencias en la tabla que figura a continuación, en la que se han aplicado las mismas proporciones anuales a las de un mes media (la plasmación sobre un mes ideal –con los días agrupados por categorías- aparece en la página siguiente):

Días	Año promedio	%	Mes promedio
De sol con ACSo	271	74'25	23
No sol y sí ACSo	35	9'59	3
No sol ni ACSo	59	16'16	5
	365	100	31

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
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				

Vemos pues que, durante un mes cualquiera, media de los meses de los tres años del estudio, dispondríamos de agua calentada solarmente durante 26 días, y no dispondríamos de ella durante 5 días. ¿ Puede considerarse una mala proporción ?

CONSIDERACIONES FINALES

1. Pensamos que queda claro el alto rendimiento de este sistema de calentamiento solar de agua en nuestras latitudes. Parece increíble que no se haya generalizado totalmente (hay que reconocer, sin embargo, que la tendencia de las últimas normativas, como el *Código Técnico de la Edificación*, de 2006, es obligar a instalar sistemas de ACSo en las nuevas edificaciones).

Un hecho que estamos seguros ha contribuido a la no generalización de las Energías renovables, y concretamente de la Energía solar térmica, es la “leyenda negra” que sin duda las envuelve (una leyenda que, por otra parte pensamos no ha aparecido casualmente). Respecto a este punto, sabemos que hay no precisamente poca gente reticente a las instalaciones solares térmicas porque “se ha demostrado que no funcionan bien y que los que disponen de ellas empiezan ya a quitarlas”, como hemos oído decir en más de una ocasión.

2. No se ha pretendido llegar a una gran exactitud en los resultados, sino sólo que resultasen orientativos. Es obvio que hay días (la minoría) en cuyos datos se aplicó cierta subjetividad y que no se ha hecho un seguimiento científico del rendimiento de la instalación. Por ejemplo, no se han medido temperaturas ni cantidad de agua

caliente, pero como la metodología ha sido siempre la misma, creemos que los resultados se acercan mucho a la realidad.

3. Hablando de temperatura, hay gente que piensa que el ACSo no puede llegar a quemar. Pues bien, como hemos visto en la página 4, la temperatura máxima que alcanza el agua gracias a los colectores solares es de unos 70° C. De hecho, la experiencia de estos años nos dice que muy a menudo el agua solar literalmente escalda y tenemos que mezclarla con agua fría.

Otra creencia que parece tienen algunos es que este sistema no permite darse un baño de agua caliente. Pues bien, como es fácil deducir, no sólo es totalmente posible, sino que, además, si se quiere, se pueden tomar muchos baños en un solo día (¡ aunque no conviene derrochar tanta agua, naturalmente !). Para llenar una bañera de tamaño medio como la nuestra, de unos 240 litros de capacidad, bastan unos 115 litros de agua (tiene que caber la persona que se baña). Si queremos que esta agua esté a una temperatura apta para el baño, lo más normal, si ha hecho sol (lo habitual a lo largo del año, como hemos visto) es que tengamos que obtenerla mezclando la caliente proveniente del depósito al menos al 50 % con la fría, ¡ y podemos dar fe de que la temperatura del agua resultante es muy elevada ! Es decir, que para un baño, necesitaremos $115 / 2 = 57'5$ litros de agua caliente.

Si durante un día quisiéramos destinar toda el agua del depósito (300 L), suponiendo que estuviese lleno de agua caliente, a darnos baños a la temperatura óptima, podríamos hacerlo: $300 / 57'5 = 5'22$, aproximadamente ¡ 5 veces ! (sin tener en cuenta el enfriamiento del agua del depósito si pasara el tiempo suficiente entre baño y baño,

por un lado, pero por otro, ¡ tampoco el calentamiento de más agua que probablemente se produciría durante el día !).

Si lo que quisiésemos fuese, no bañarnos, sino ducharnos, (actividad mucho más recomendable desde el punto de vista del ahorro de agua) todas las veces posibles con el agua caliente del depósito, podríamos hacerlo (haciendo los cálculos de manera análoga al anterior):

- a) En caso de que las duchas fuesen de 60 litros (sin cerrar el grifo para enjabonarse) teniendo en cuenta que sólo 30 de estos litros, como en el caso anterior, deberían ser de agua caliente:

$$300 / 30 = 10 \rightarrow \text{¡ Tendríamos agua para } \underline{10 \text{ duchas de agua caliente}} \text{ !}$$

- b) Si, en cambio, las duchas fuesen de 40 litros (más o menos el agua que se puede consumir si se cierra el grifo para enjabonarse), 20 de estos litros tendrían que ser de agua caliente:

$$300 / 20 = 15 \rightarrow \text{¡¡ Tendríamos agua para } \underline{15 \text{ duchas}} \text{ de agua caliente !!}$$

4. Consideramos que un aspecto importante de la instalación es racionalizar su uso, sobre todo en invierno. Hemos visto que en dicha estación del año, aunque el frío no influya negativamente en el calentamiento del agua (para que

se caliente lo importante es que haga sol, no si hace frío o no; esto es así debido al efecto invernadero a pequeña escala que se produce en los paneles, gracias a estar éstos cubiertos por un plástico transparente), sí influye indirectamente en su enfriamiento, pues el agua se enfría mucho en las tuberías por donde circula al ir al depósito a sustituir la caliente que se ha consumido.

Teniendo en cuenta lo que acabamos de ver, si hace sol y queremos ducharnos en invierno, lo mejor es hacerlo a mediodía, cuando el agua ha tenido tiempo de calentarse y puede volver a hacerlo por la tarde, hasta la puesta de Sol. Otra posibilidad es ducharse más o menos a la vez que se lavan los platos, para evitar que el agua caliente del depósito haya tenido tiempo de enfriarse excesivamente al mezclarse con la fría que la va sustituyendo.

Consecuentemente, lo que no tiene demasiado sentido en invierno es ducharse a última hora del día o a primera hora de la mañana, si ya hemos consumido una parte del agua caliente disponible; si queremos hacerlo a las horas citadas, a menudo tendremos que consumir butano, cuando es, como acabamos de ver, muy sencillo evitarlo y aprovechar la energía del Sol.

Otro ejemplo de racionalización del consumo de agua caliente en cualquier época es, si no hay ACSo a primera hora de la mañana, vemos que el día va a ser soleado y podemos esperar, no consumir agua caliente en seguida utilizando el calentador a butano, sino esperar unas cuantas horas hasta que ya dispongamos de agua solar.

Y, para acabar, un último ejemplo de racionalización del consumo es procurar tener cierto cuidado a la hora de escoger el día para tomar un baño: con la cantidad de días soleados que hay a lo largo del año, no tiene mucho sentido hacer un gran consumo de agua caliente (algo que supone tomar un baño) si tenemos que quemar butano u

otro combustible para obtenerla. Ya que tendremos que consumir mucha agua, pensamos que vale la pena por lo menos no producir ni una pizca de CO₂ para calentarla.

5. Los beneficios de esta instalación son de todo tipo, no sólo medioambientales y económicos, sino también prácticos. Por ejemplo, supone no tener que cambiar frecuentemente, en nuestro caso, las bombonas de butano, con el tiempo y molestias que ello significa. Nosotros hemos pasado de un consumo aproximado de 2 bombonas de butano mensuales (por tanto, unas 24 cada año) a 4 anuales, es decir, que nos ahorramos unas 20 bombonas de butano al año. Curiosamente, esta proporción es prácticamente idéntica a la de la gráfica 1 izquierda, lo que indirectamente indica el poco peso total que supone el butano consumido en la cocina:

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

La frecuencia de cambio de bombonas, sin embargo, no es siempre la misma. Como ejemplo curioso, en 2005, año ya fuera del estudio, hicimos dos cambios de bombonas, el primero en enero y el segundo en diciembre, es decir, que ¡durante cerca de un año no fue necesario cambiarlas !

Otro beneficio de este sistema es que el agua que baja directamente del depósito solar sale con más presión que si pasa por el calentador de butano, probablemente por dos motivos: porque al no pasar por este último lugar

no pierde presión y porque proviene de una cierta altura (recordemos que el depósito y los paneles están en la azotea).

Finalmente, otra ventaja es que el agua caliente, si se acaba cuando alguien se está duchando (¡ rara vez !) normalmente no lo hace de golpe, sino que su temperatura va bajando gradualmente. En cambio, todos los que tienen un calentador a butano en casa saben qué pasa en invierno cuando se termina el gas de las bombonas...

También es cierto, por otra parte, que en los meses con menos insolación, con frecuencia conviene hacer una comprobación antes de usar agua caliente, para ver si el calentamiento solar ha sido suficiente, pero ¿ no vale la pena, antes de utilizar un combustible caro y contaminante, comprobar si disponemos de agua calentada ecológica y gratuitamente ? Un empleado de una empresa instaladora de paneles solares térmicos que disponía de ellos en su casa nos dijo que él empezaba a consumir agua caliente solar sólo a partir de abril. Y nosotros nos preguntamos: ¿ Y los otros meses ? ¿ No hemos visto que en todos hace sol más de la mitad de los días ?

6. En cuanto al mantenimiento del sistema, durante los 5 años y medio desde que nos lo instalaron, (en abril de 2001) ha consistido en lo siguiente: tuvimos que cambiar una válvula que goteaba (precio aprox. 12 €) y, de vez en cuando, tenemos que limpiar los paneles con agua para eliminar de ellos el polvo acumulado, por ejemplo cuando ha llovido barro. ¿ Se puede considerar un mantenimiento caro o difícil ?

7. Respecto a la amortización económica de la instalación, tenemos que hacer las siguientes consideraciones:

- La instalación no puede considerarse barata, ya que nos costó 406.610 ptas. (abril de 2001).
- Después de dos años de gestiones, llegó la subvención que habíamos solicitado del Gobierno Balear; 720 € (originalmente tenían que ser 120.000 ptas; al cambio, los 720 euros representan algo menos de lo prometido).
- Teniendo en cuenta el precio actual de la bombona de butano (11'78 € en enero de 2007), pero también que este precio va subiendo con el paso del tiempo, podemos hacer un cálculo aproximado del tiempo necesario para amortizar los 1.724 euros netos que nos costó la instalación (obtenido descontando del precio total, equivalente a aproximadamente 2.444 €, los 720 € de la subvención). Haremos el cálculo probablemente a la baja, ya que consideraremos como precio medio de la bombona de butano durante el período de amortización, 10 €:

20 bombonas ahorradas cada año x 10 € por bombona = 200 € de ahorro anuales.

$1.724 \text{ €} / 200 \text{ €} = 8'62$ años, que podemos aproximar a 8 años teniendo en cuenta que seguramente hemos hecho el cálculo a la baja. Es decir, que en estos momentos (enero de 2007), con la instalación funcionando a pleno rendimiento, estamos como mucho a un año y medio de conseguir amortizar la inversión. A partir del momento en que la hayamos amortizado, ya empezaremos a obtener beneficios económicos netos de ella.

En cuanto al tiempo que puede durar una instalación de estas características, no lo sabemos, pero sí tenemos constancia de que al menos hay una, de un familiar nuestro, que lleva funcionando 22 años como el primer día.

8. Intentaremos ahora cuantificar el principal beneficio medioambiental producido por nuestra instalación solar, es decir, la cantidad de CO₂ que hemos dejado de emitir a la atmósfera gracias a todo el butano ahorrado a lo largo de los años que lleva funcionando. Los cálculos serían los siguientes:

- La instalación funciona desde hace 5 años y 8 meses, es decir, 5'67 años.
- Las bombonas de butano ahorradas habrán sido, por lo tanto, más o menos:

$5'67 \text{ años} \times 20 \text{ bombonas / año} = 113'4 \text{ bombonas}$ (¡las que caben en un camión pequeño! -*Véase figura*-).



Cantidad aproximada de butano que nos hemos ahorrado desde que funciona nuestra instalación solar térmica.

- Cada bombona llena contiene 12'5 Kg de butano. En consecuencia, todas las ahorradas:
 $113'4 \text{ bombonas} \times 12'5 \text{ Kg. de butano / bombona} = 1.417'5 \text{ Kg. de butano.}$
- Si tenemos en cuenta ahora que la combustión de 1 Kg de butano produce 2'7 Kg de CO₂ , habremos dejado de emitir:
 $1.417'5 \text{ Kg. de butano} \times 2'7 \text{ Kg de CO}_2 / \text{Kg de butano} = 3.827'25 \text{ Kg de CO}_2 \text{ !!}$ (esta cantidad de dióxido de carbono equivale a la que se produce si se recorren unos 21.300 Km en un coche a gasolina, actividad, como vemos, tampoco nada recomendable desde el punto de vista ecológico...).

9. El depósito de agua de nuestra instalación solar también puede funcionar como un termo eléctrico (si se enchufa a la red la resistencia con la que cuenta), si bien nosotros no lo hemos usado nunca con esta función. Parece que la cantidad de energía eléctrica que se consume así puede llegar a ser totalmente desproporcionada, especialmente en invierno, cuando el enfriamiento del agua del depósito, una vez se ha hecho uso de ACSo, puede ser muy acusado (de hecho, sabemos que hay gente, no muy bien informada que, debido a tener siempre enchufada la resistencia en cuestión, han gastado muchísimo en corriente y, erróneamente consideran que “la energía solar” sale carísima; lo que hace la mala información...). Además, las solas transformaciones:

combustibles fósiles (carbón, fuel) → energía eléctrica → calor

son un despropósito total, mediante el que se pierden cantidades desorbitadas de energía. Sin ninguna duda, teniendo en cuenta el origen de la energía de la red eléctrica que consumimos en Mallorca, es mucho más rentable energética y económicamente, quemar directamente, en caso necesario, un combustible fósil (en nuestro caso butano) que consumir electricidad con todas las transformaciones energéticas intermedias que acabamos de ver.

Para acabar este apartado, queríamos citar otra posibilidad que existe en este tipo de instalaciones (no es, sin embargo, nuestro caso): calentar con el calentador a butano el agua templada o no suficientemente caliente proveniente del depósito solar. De esta manera se puede ahorrar gas, si bien hay que tomar la precaución de controlar la potencia del calentador para evitar su sobrecalentamiento.

10. Finalmente, quisiéramos hacer una última reflexión. El invierno transcurrido hasta el momento de terminar este estudio (enero de 2007) ha sido inusualmente cálido y soleado; el cambio climático que, lenta pero inexorablemente empieza a manifestarse, probablemente tiene mucho que ver con ello.

Pues bien, sin ninguna duda y aunque no hayamos hecho un seguimiento detallado de ello, el rendimiento en los últimos meses de nuestra instalación solar ha sido claramente superior al que sería de esperar en esta época.

Algún “efecto colateral” positivo tenían que tener las anomalías meteorológicas a las que empezamos a estar sometidos.
