

# Estudio preliminar de instalación fotovoltaica sobre cubierta de escuela en Cádiz para autoconsumo por balance neto



Enrique Iniesta Navarro  
Ingeniero Técnico Industrial

Cádiz, 7 de noviembre de 2012

[www.ingenierofotovoltaico.com](http://www.ingenierofotovoltaico.com)

## **ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN EN UN ESCENARIO CON BALANCE NETO**

El balance neto es un modo de compensación de saldos de energía que permite al consumidor auto-productor compatibilizar su curva de demanda y producción. Se trata de un sistema interconectado a la red pudiendo verter o consumir energía en momentos puntuales.

Estos sistemas implican un cambio de filosofía en el que el “consumidor” produce parte de lo que posteriormente va a consumir. Además, mediante el contador el consumidor puede identificar los picos y valles de demanda pudiendo modificar sus hábitos de consumo adaptando así la curva de demanda a la generación.

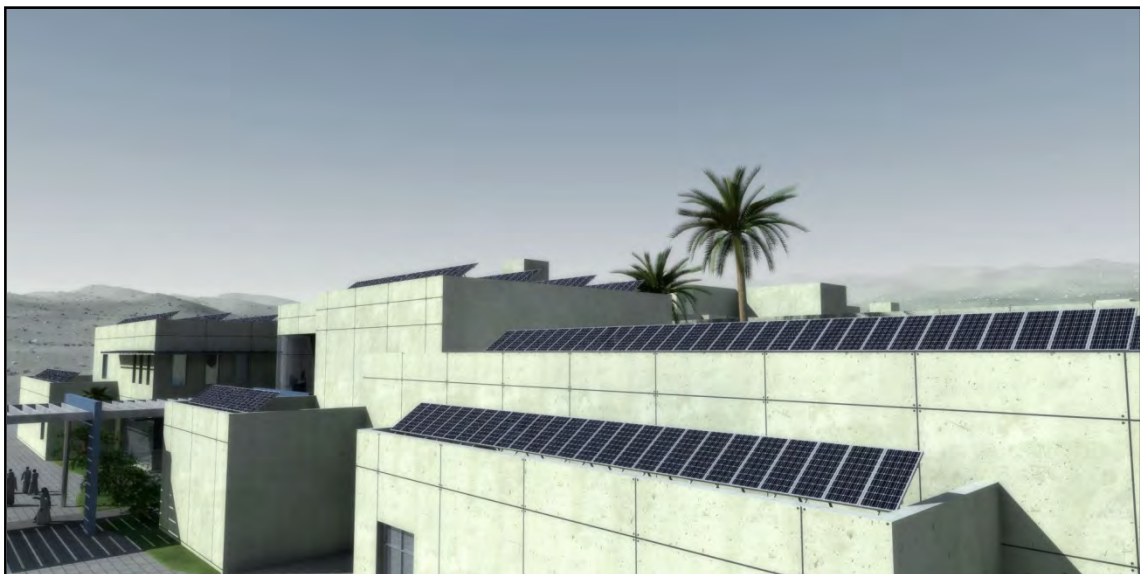
El modelo de autoconsumo fomenta el concepto de generación distribuida

Permite la generación a pequeña escala

Facilita el suministro en puntos cercanos al consumidor

Conexión directa en redes de baja tensión

Conduce a la independencia en la gestión y control de la generación



Además, complementa y mejora el actual modelo de generación centralizada, permitiendo reducir las importantes pérdidas que se producen en la red de transporte y distribución, en el entorno del 12%.

No obstante, las grandes plantas fotovoltaicas podrán competir en igualdad de condiciones con las tecnologías convencionales.



Con los datos de producción y consumo, podemos cuantificar la cantidad de energía que se autoconsume (se genera y en el mismo instante se consume), es decir, que existe acoplamiento entre generación y consumo. Del mismo modo, existirá a veces una energía excedentaria, que podría consumirse en otro momento (consumo diferido), o sea energía que no está acoplada en ese momento con el consumo.

En el ejemplo que plantearemos en detalle, caso de una escuela con consumo principalmente por las mañanas y vacaciones en verano, se harán tres supuestos:

- Acoplamiento al 100% (caso equivalente a la ausencia de peajes)
- Acoplamiento al 75%
- Acoplamiento al 50%

Por otra parte, con respecto a la valoración de los excedentes a recuperar y teniendo en cuenta que aún no existe una normativa definitiva al respecto (sólo contamos con borradores, informes y rumores) se supondrá cautelosamente que ésta será la mitad del precio del KWh pagado por el abonado. Por ejemplo, si el abonado paga 0,14€KWh por la energía consumida de la red, suponemos que los KWh inyectados en la misma serían valorados a 0,07€KWh y compensados en forma de energía. Es decir, en una relación 2:1, por cada 2Kwh generados e inyectados en la red, el usuario podría consumir 1Kwh sin coste alguno.

Supondremos un período de vigencia de los excedentes de un año y que los mismos se consumen en su totalidad. Contemplamos la ausencia de peajes para la energía generada y autoconsumida instantáneamente, en contra de lo que proponen algunos actores del sector. Además, admitimos que el precio del KWh convencional continuará con su tendencia al alza. Suponemos un incremento del mismo del 10% anual.

La inversión se considera realizada con capital propio, lo cual generaría un coste de oportunidad, al tener inmovilizado el capital, estimado del 4% anual. Los gastos de operación y mantenimiento, así como de seguro se prevén del orden de 400€el primer año y suponemos un IPC del 3%. Según el fabricante del módulo fotovoltaico, se garantiza el 80% de rendimiento al cabo de 25 años, lo cual significa una degradación anual de 0,833% que será tenida en cuenta.

En base a estos supuestos y teniendo en cuenta el coste de nuestra instalación y su producción energética, realizaremos el cálculo del ahorro económico conseguido durante los 25 años de operación esperados para las tres posibilidades apuntadas más arriba: acoplamientos de generación y demanda de 100%, 75% y 50% respectivamente.





## ESTUDIO DE VIABILIDAD

En las siguientes tablas, se incluyen los resultados de calcular, en base a los supuestos del apartado anterior, el Valor Actualizado Neto (V.A.N.), la Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) y el Payback (plazo de recuperación) para las tres posibilidades contempladas (100%, 75% y 50%) de acoplamiento entre generación y consumo.

V.A.N.: es el rendimiento actualizado de los flujos positivos y negativos originados por la inversión. Es decir por todos los rendimientos que esperamos obtener de la misma. Si obtenemos un VAN positivo el análisis nos indicará que el valor actualizado de las entradas y salidas de la inversión proporciona beneficio, expresado por dicho importe a la fecha inicial, por encima del que obtendríamos considerando esa inversión a un coste o rendimiento mínimo exigido (coste de oportunidad). Sin embargo, si el VAN resulta negativo, indicará que a esa tasa de actualización se produce una pérdida de la cuantía que exprese el VAN. Es decir, las inversiones con VAN positivo serían interesantes y aquellas en las que el valor fuera negativo serían rechazables. Además, es útil para clasificar las interesantes en función del mayor o menor valor neto, lo que nos proporciona su grado de interés.

T.I.R.: es la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión; es decir, es aquel tipo de actualización que hace igual a cero el valor del capital. El V.A.N. nos informa del beneficio absoluto que se va a obtener del proyecto de inversión. Así, entre varias opciones escogeremos aquella cuyo VAN sea más alto, porque será la que nos proporcionará un beneficio más elevado. En cambio, el T.I.R. nos informa de la rentabilidad de la inversión, por lo tanto, es un indicador relativo al capital invertido. Al escoger, lo haremos de aquella opción que nos produzca mayor beneficio por euro invertido.

Payback: es el tiempo que tarda en recuperarse la inversión realizada.

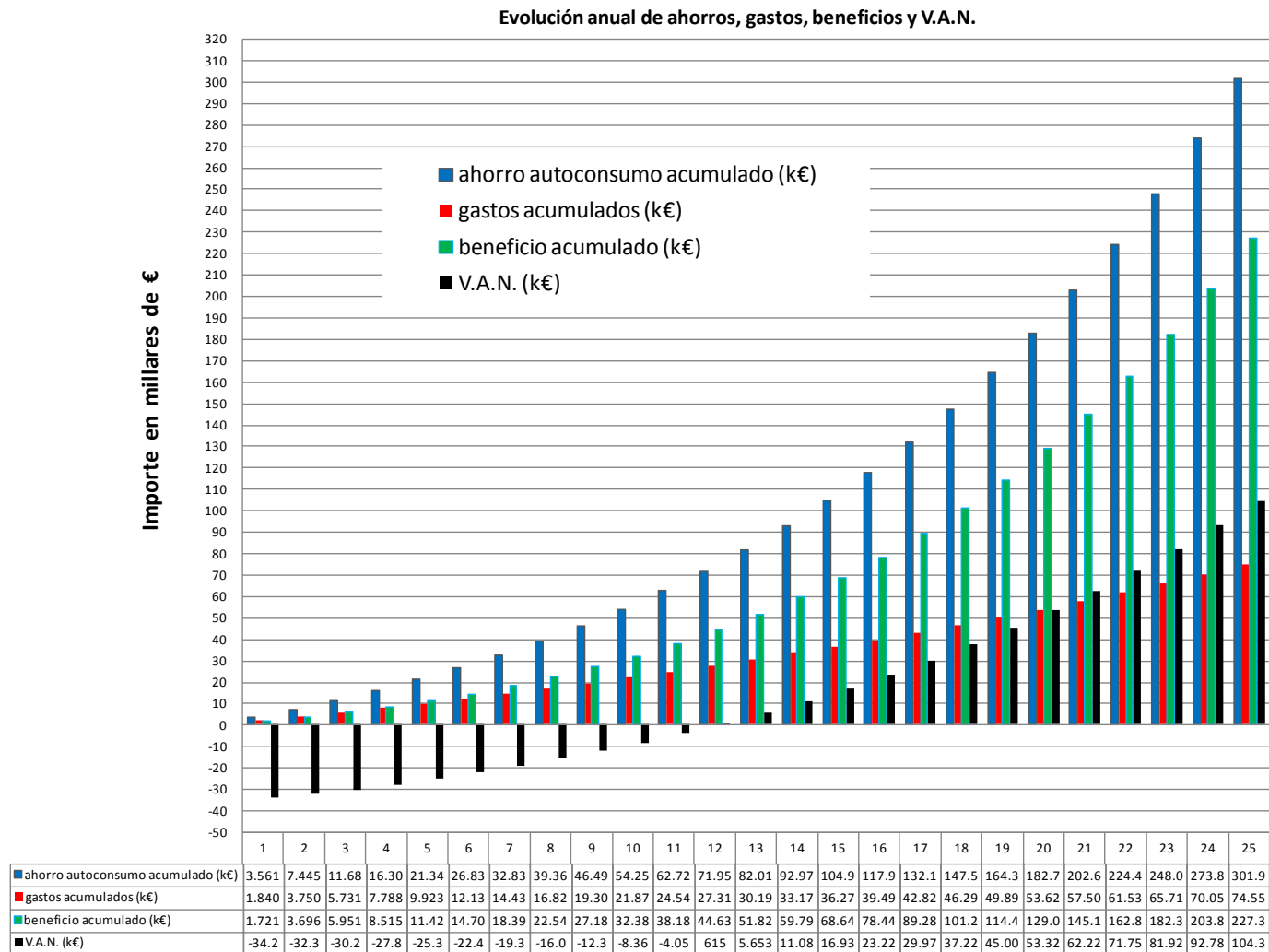
## Supuesto de 100% de acoplamiento entre generación y consumo

Latitud (°)	36,52	Potencia pico instalada (kWp)	18	irradiación anual horizontal	irradiación anual óptima	irradiación anual efectiva	productividad final
Azimut (°)	-50,00	Coste por vatio pico (€/Wp)	2,00	Ga-horiz (kWh/m²)	Ga-opt (kWh/m²)	Ga-eff (kWh/m²)	Y <sub>final</sub> (kWh/kWp)
Inclinación real (°)	50,00	Acoplamiento gen/consumo (%)	100				
Inclinación óptima (°)	28,90	Inversión inicial (€)	36.000				

año	generación (Kwh/año)	degradación módulos (% acumulado)	precio Kwh de la red (€/Kwh)	ahorro autoconsumo (€/año)	ahorro autoconsumo acumulado (€)	gastos operación, mantenimiento y seguros (€/año), IPC 3%	coste de oportunidad acumulado (€)	coste de oportunidad (€/año)	gastos acumulados (€)	beneficio ahorro - coste (€/año)	beneficio acumulado (€)	cash flow (€/año)	cash flow actualizado (€/año)	V.A.N. (€)
1	24.109	0,00	0,1477	3.561	3.561	400	1.440	1.440	1.840	1.721	1.721	-34.279	-34.279	-34.279
2	23.908	0,83	0,1625	3.884	7.445	412	2.938	1.498	3.750	1.975	3.696	1.975	1.917	-32.362
3	23.707	1,67	0,1787	4.237	11.682	424	4.495	1.558	5.731	2.255	5.951	2.255	2.126	-30.236
4	23.506	2,50	0,1966	4.621	16.303	437	6.115	1.620	7.788	2.564	8.515	2.564	2.347	-27.890
5	23.305	3,33	0,2162	5.040	21.343	450	7.800	1.685	9.923	2.905	11.420	2.905	2.581	-25.309
6	23.105	4,17	0,2379	5.496	26.839	464	9.551	1.752	12.139	3.280	14.700	3.280	2.830	-22.479
7	22.904	5,00	0,2617	5.993	32.832	478	11.374	1.822	14.439	3.693	18.393	3.693	3.093	-19.386
8	22.703	5,83	0,2878	6.534	39.366	492	13.268	1.895	16.825	4.148	22.541	4.148	3.372	-16.014
9	22.502	6,67	0,3166	7.124	46.491	507	15.239	1.971	19.303	4.647	27.188	4.647	3.668	-12.345
10	22.301	7,50	0,3483	7.767	54.257	522	17.289	2.050	21.874	5.195	32.383	5.195	3.982	-8.364
11	22.100	8,33	0,3831	8.466	62.724	538	19.420	2.132	24.543	5.797	38.180	5.797	4.314	-4.050
12	21.899	9,17	0,4214	9.228	71.952	554	21.637	2.217	27.314	6.458	44.638	6.458	4.665	615
13	21.698	10,00	0,4635	10.058	82.010	570	23.943	2.305	30.190	7.182	51.820	7.182	5.038	5.653
14	21.497	10,83	0,5099	10.961	92.972	587	26.340	2.398	33.175	7.976	59.797	7.976	5.432	11.084
15	21.296	11,67	0,5609	11.945	104.917	605	28.834	2.494	36.274	8.846	68.643	8.846	5.848	16.933
16	21.095	12,50	0,6170	13.015	117.932	623	31.427	2.593	39.490	9.799	78.442	9.799	6.290	23.222
17	20.895	13,33	0,6787	14.181	132.113	642	34.124	2.697	42.829	10.842	89.284	10.842	6.756	29.979
18	20.694	14,17	0,7465	15.449	147.561	661	36.929	2.805	46.295	11.983	101.266	11.983	7.250	37.228
19	20.493	15,00	0,8212	16.829	164.390	681	39.847	2.917	49.893	13.230	114.497	13.230	7.772	45.000
20	20.292	15,83	0,9033	18.330	182.720	701	42.880	3.034	53.629	14.595	129.092	14.595	8.323	53.323
21	20.091	16,67	0,9937	19.963	202.683	722	46.036	3.155	57.506	16.086	145.177	16.086	8.906	62.229
22	19.890	17,50	1,0930	21.740	224.424	744	49.317	3.281	61.532	17.715	162.892	17.715	9.522	71.752
23	19.689	18,33	1,2023	23.673	248.096	766	52.730	3.413	65.711	19.493	182.385	19.493	10.173	81.925
24	19.488	19,17	1,3226	25.774	273.870	789	56.279	3.549	70.050	21.435	203.821	21.435	10.861	92.786
25	19.287	20,00	1,4548	28.059	301.930	813	59.970	3.691	74.554	23.555	227.376	23.555	11.587	104.374

V.A.N.	104.373,74 €
T.I.R.	14%
PAYBACK (años)	11

## Gráfico comparativo de resultados (millares de €/año) para el supuesto de **100%** de acoplamiento entre generación y consumo



## Supuesto de 75% de acoplamiento entre generación y consumo

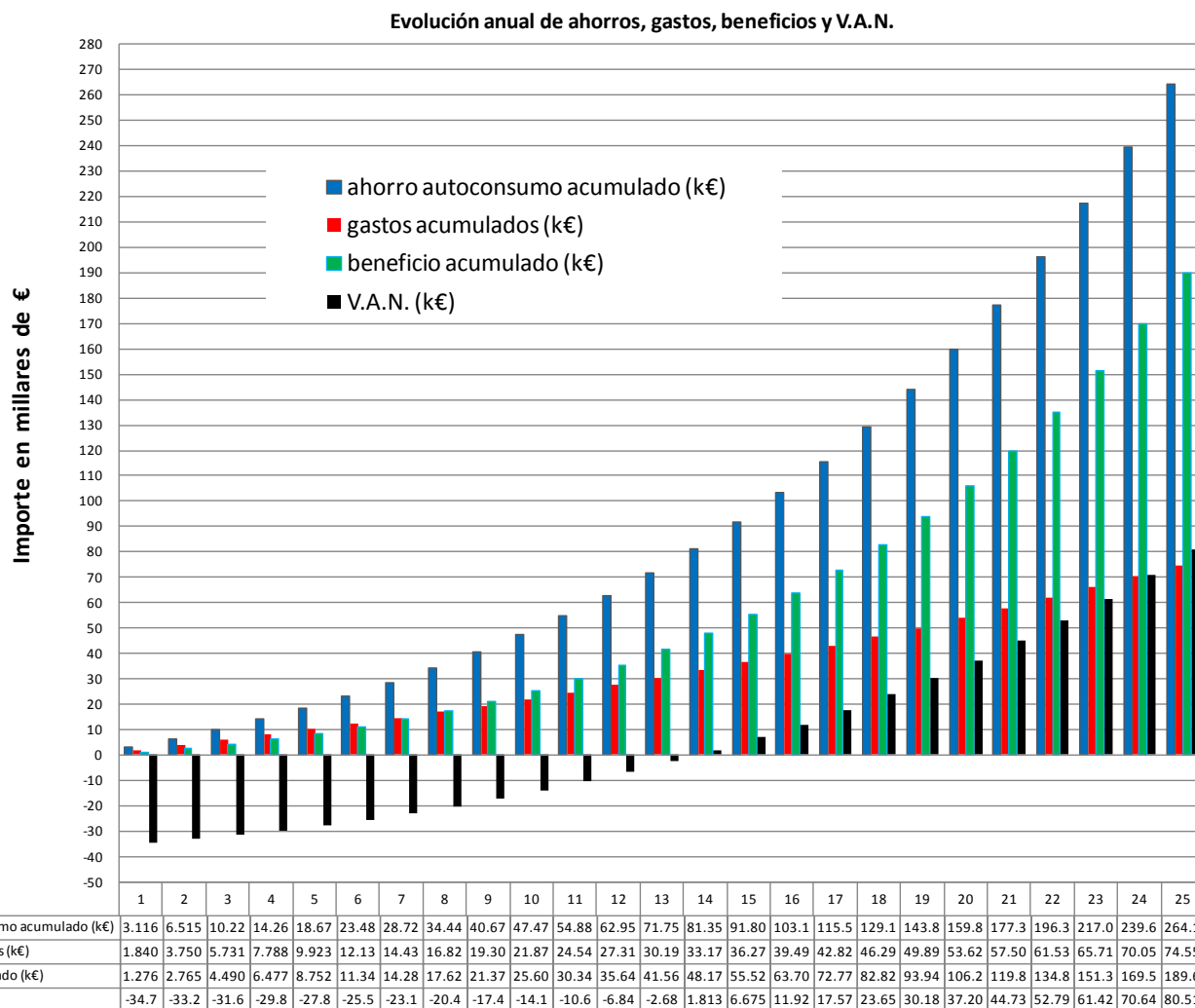
Latitud (°)	36,52	Potencia pico instalada (kWp)	18	irradiación anual horizontal		irradiación anual óptima		irradiación anual efectiva		productividad final	
Azimut (°)	-50,00	Coste por vatio pico (€/Wp)	2,00	Ga-horiz (kWh/m²)	1.711	Ga-opt (kWh/m²)	1.927	Ga-eff (kWh/m²)	1.576	Y <sub>final</sub> (KWh/KWp)	1.339
Inclinación real (°)	50,00	Acoplamiento gen/consumo (%)	75								
Inclinación óptima (°)	28,90	Inversión inicial (€)	36.000								

año	generación (Kwh/año)	degradación módulos (% acumulado)	precio Kwh de la red (€/Kwh)	ahorro autoconsumo (€/año)	ahorro autoconsumo acumulado (€)	gastos operación, mantenimiento y seguros (€/año), IPC 3%	coste de oportunidad acumulado (€)	coste de oportunidad (€/año)	gastos acumulados (€)	beneficio ahorro - coste (€/año)	beneficio acumulado (€)	cash flow (€/año)	cash flow actualizado (€/año)	V.A.N. (€)
1	24.109	0,00	0,1477	3.116	3.116	400	1.440	1.440	1.840	1.276	1.276	-34.724	-34.724	-34.724
2	23.908	0,83	0,1625	3.399	6.515	412	2.938	1.498	3.750	1.489	2.765	1.489	1.446	-33.278
3	23.707	1,67	0,1787	3.707	10.222	424	4.495	1.558	5.731	1.725	4.490	1.725	1.626	-31.652
4	23.506	2,50	0,1966	4.043	14.265	437	6.115	1.620	7.788	1.987	6.477	1.987	1.818	-29.834
5	23.305	3,33	0,2162	4.410	18.675	450	7.800	1.685	9.923	2.275	8.752	2.275	2.021	-27.813
6	23.105	4,17	0,2379	4.809	23.484	464	9.551	1.752	12.139	2.593	11.345	2.593	2.237	-25.576
7	22.904	5,00	0,2617	5.244	28.728	478	11.374	1.822	14.439	2.944	14.289	2.944	2.466	-23.110
8	22.703	5,83	0,2878	5.718	34.446	492	13.268	1.895	16.825	3.331	17.620	3.331	2.708	-20.402
9	22.502	6,67	0,3166	6.234	40.679	507	15.239	1.971	19.303	3.756	21.376	3.756	2.965	-17.437
10	22.301	7,50	0,3483	6.796	47.475	522	17.289	2.050	21.874	4.224	25.601	4.224	3.238	-14.199
11	22.100	8,33	0,3831	7.408	54.883	538	19.420	2.132	24.543	4.739	30.340	4.739	3.526	-10.673
12	21.899	9,17	0,4214	8.075	62.958	554	21.637	2.217	27.314	5.304	35.644	5.304	3.832	-6.841
13	21.698	10,00	0,4635	8.801	71.759	570	23.943	2.305	30.190	5.925	41.569	5.925	4.156	-2.685
14	21.497	10,83	0,5099	9.591	81.350	587	26.340	2.398	33.175	6.606	48.175	6.606	4.498	1.813
15	21.296	11,67	0,5609	10.452	91.802	605	28.834	2.494	36.274	7.353	55.529	7.353	4.861	6.675
16	21.095	12,50	0,6170	11.389	103.191	623	31.427	2.593	39.490	8.172	63.700	8.172	5.245	11.920
17	20.895	13,33	0,6787	12.408	115.599	642	34.124	2.697	42.829	9.069	72.770	9.069	5.652	17.572
18	20.694	14,17	0,7465	13.518	129.116	661	36.929	2.805	46.295	10.052	82.821	10.052	6.081	23.653
19	20.493	15,00	0,8212	14.725	143.841	681	39.847	2.917	49.893	11.127	93.948	11.127	6.536	30.189
20	20.292	15,83	0,9033	16.039	159.880	701	42.880	3.034	53.629	12.303	106.252	12.303	7.017	37.205
21	20.091	16,67	0,9937	17.468	177.348	722	46.036	3.155	57.506	13.590	119.842	13.590	7.525	44.730
22	19.890	17,50	1,0930	19.023	196.371	744	49.317	3.281	61.532	14.997	134.839	14.997	8.062	52.792
23	19.689	18,33	1,2023	20.713	217.084	766	52.730	3.413	65.711	16.534	151.373	16.534	8.629	61.421
24	19.488	19,17	1,3226	22.552	239.636	789	56.279	3.549	70.050	18.214	169.587	18.214	9.229	70.649
25	19.287	20,00	1,4548	24.552	264.188	813	59.970	3.691	74.554	20.048	189.635	20.048	9.862	80.512

V.A.N.	80.511,56 €
T.I.R.	12%
PAYBACK (años)	13



Gráfico comparativo de resultados (millares de €/año) para el supuesto de **75%** de acoplamiento entre generación y consumo



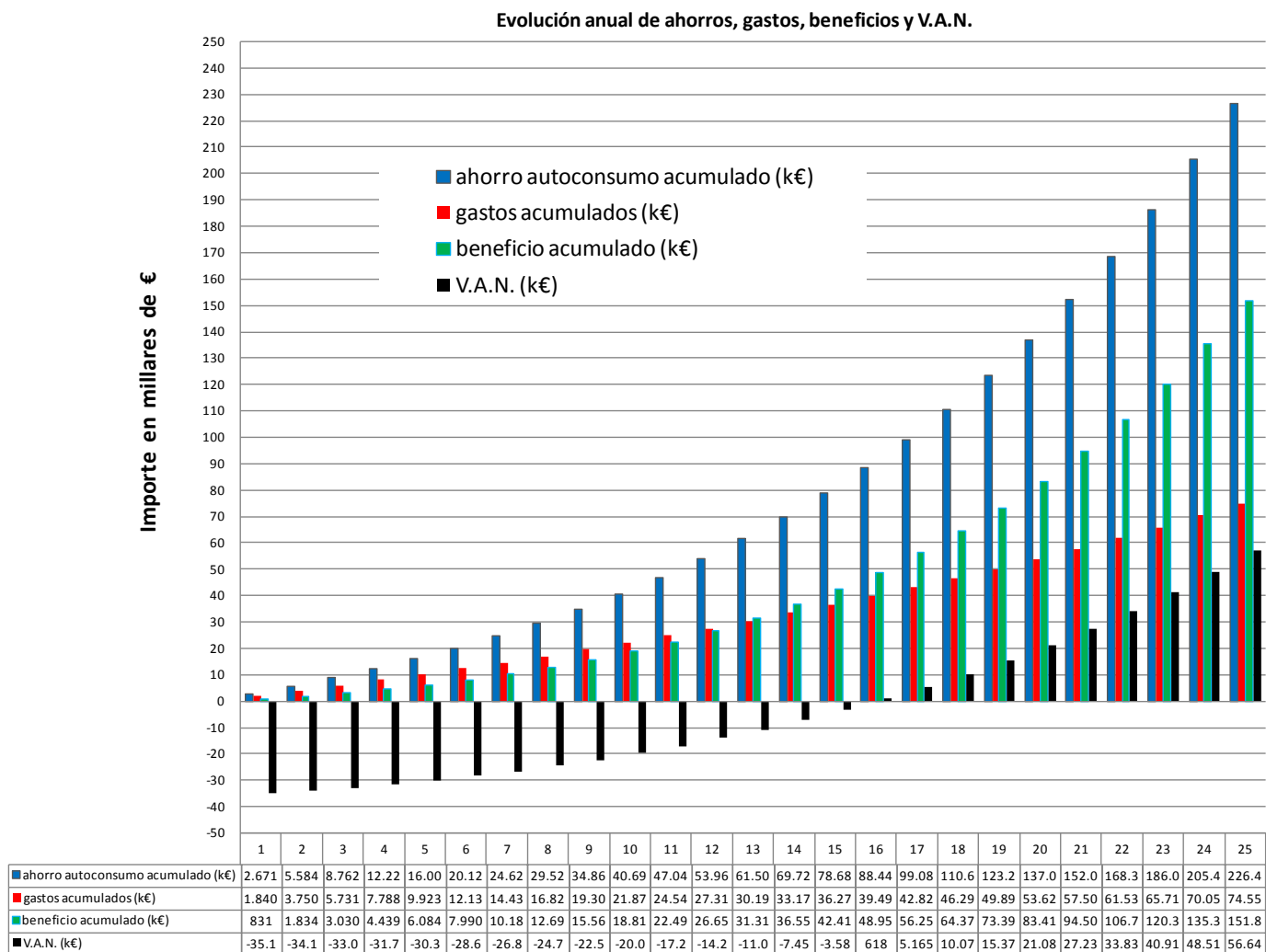
## Supuesto de 50% de acoplamiento entre generación y consumo

Latitud (°)	36,52	Potencia pico instalada (kWp)	18	irradiación anual horizontal	irradiación anual óptima	irradiación anual efectiva	productividad final
Azimut (°)	-50,00	Coste por vatio pico (€/Wp)	2,00	G <sub>a-horiz</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	1.711	G <sub>a-opt</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	1.927
Inclinación real (°)	50,00	Acoplamiento gen/consumo (%)	50				
Inclinación óptima (°)	28,90	Inversión inicial (€)	36.000				

año	generación (Kwh/año)	degradación módulos (% acumulado)	precio Kwh de la red (€/Kwh)	ahorro autoconsumo (€/año)	ahorro autoconsumo acumulado (€)	gastos operación, mantenimiento y seguros (€/año), IPC 3%	coste de oportunidad acumulado (€)	coste de oportunidad (€/año)	gastos acumulados (€)	beneficio ahorro - coste (€/año)	beneficio acumulado (€)	cash flow (€/año)	cash flow actualizado (€/año)	V.A.N. (€)
1	24.109	0,00	0,1477	2.671	2.671	400	1.440	1.440	1.840	831	831	-35.169	-35.169	-35.169
2	23.908	0,83	0,1625	2.913	5.584	412	2.938	1.498	3.750	1.004	1.834	1.004	974	-34.195
3	23.707	1,67	0,1787	3.178	8.762	424	4.495	1.558	5.731	1.196	3.030	1.196	1.127	-33.068
4	23.506	2,50	0,1966	3.466	12.227	437	6.115	1.620	7.788	1.409	4.439	1.409	1.289	-31.778
5	23.305	3,33	0,2162	3.780	16.007	450	7.800	1.685	9.923	1.645	6.084	1.645	1.462	-30.317
6	23.105	4,17	0,2379	4.122	20.129	464	9.551	1.752	12.139	1.906	7.990	1.906	1.644	-28.672
7	22.904	5,00	0,2617	4.495	24.624	478	11.374	1.822	14.439	2.195	10.185	2.195	1.838	-26.834
8	22.703	5,83	0,2878	4.901	29.525	492	13.268	1.895	16.825	2.514	12.699	2.514	2.044	-24.790
9	22.502	6,67	0,3166	5.343	34.868	507	15.239	1.971	19.303	2.866	15.565	2.866	2.262	-22.528
10	22.301	7,50	0,3483	5.825	40.693	522	17.289	2.050	21.874	3.254	18.819	3.254	2.494	-20.034
11	22.100	8,33	0,3831	6.350	47.043	538	19.420	2.132	24.543	3.681	22.499	3.681	2.739	-17.295
12	21.899	9,17	0,4214	6.921	53.964	554	21.637	2.217	27.314	4.151	26.650	4.151	2.999	-14.297
13	21.698	10,00	0,4635	7.544	61.508	570	23.943	2.305	30.190	4.668	31.318	4.668	3.274	-11.023
14	21.497	10,83	0,5099	8.221	69.729	587	26.340	2.398	33.175	5.236	36.554	5.236	3.565	-7.457
15	21.296	11,67	0,5609	8.959	78.687	605	28.834	2.494	36.274	5.860	42.414	5.860	3.874	-3.583
16	21.095	12,50	0,6170	9.762	88.449	623	31.427	2.593	39.490	6.545	48.959	6.545	4.201	618
17	20.895	13,33	0,6787	10.635	99.085	642	34.124	2.697	42.829	7.297	56.256	7.297	4.547	5.165
18	20.694	14,17	0,7465	11.587	110.671	661	36.929	2.805	46.295	8.120	64.376	8.120	4.913	10.078
19	20.493	15,00	0,8212	12.621	123.293	681	39.847	2.917	49.893	9.023	73.399	9.023	5.300	15.378
20	20.292	15,83	0,9033	13.748	137.040	701	42.880	3.034	53.629	10.012	83.412	10.012	5.710	21.088
21	20.091	16,67	0,9937	14.973	152.013	722	46.036	3.155	57.506	11.095	94.506	11.095	6.143	27.231
22	19.890	17,50	1,0930	16.305	168.318	744	49.317	3.281	61.532	12.280	106.786	12.280	6.601	33.832
23	19.689	18,33	1,2023	17.754	186.072	766	52.730	3.413	65.711	13.575	120.361	13.575	7.085	40.916
24	19.488	19,17	1,3226	19.331	205.403	789	56.279	3.549	70.050	14.992	135.353	14.992	7.596	48.513
25	19.287	20,00	1,4548	21.044	226.447	813	59.970	3.691	74.554	16.540	151.893	16.540	8.137	56.649

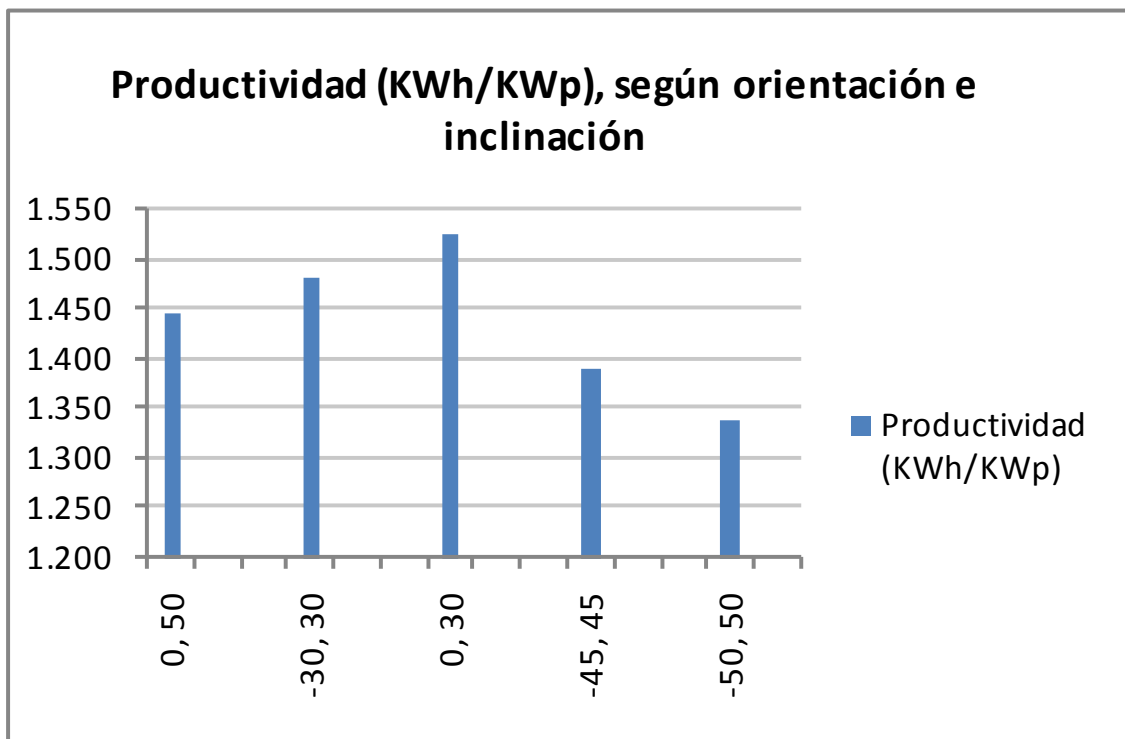
V.A.N.	56.649,37 €
T.I.R.	10%
PAYBACK (años)	15

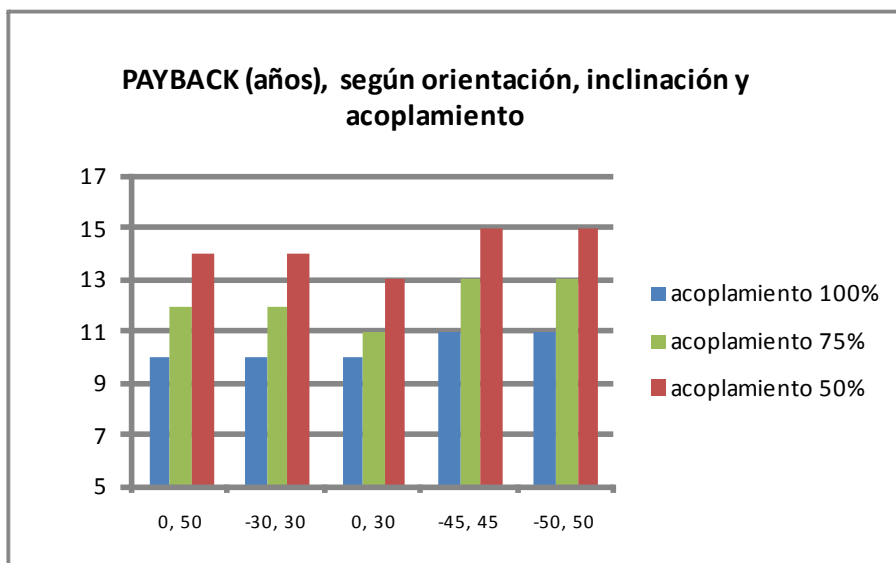
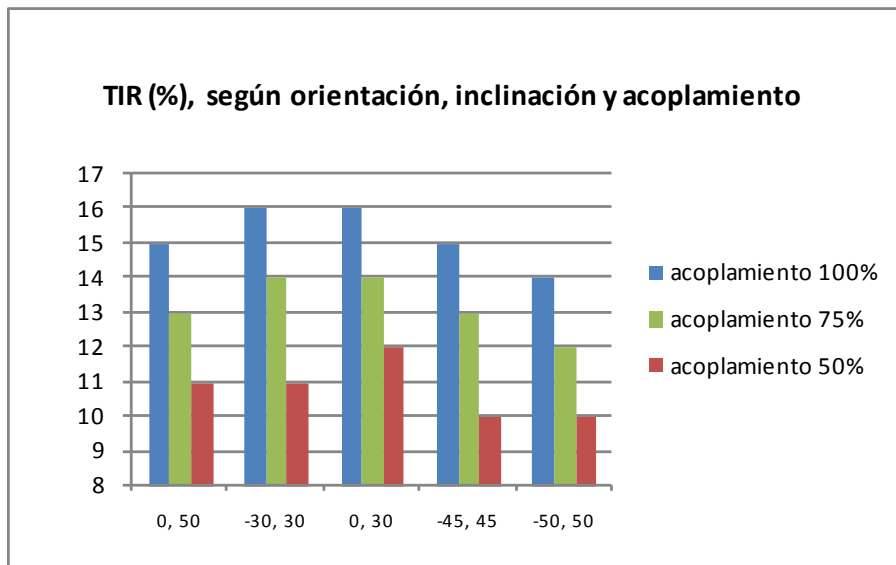
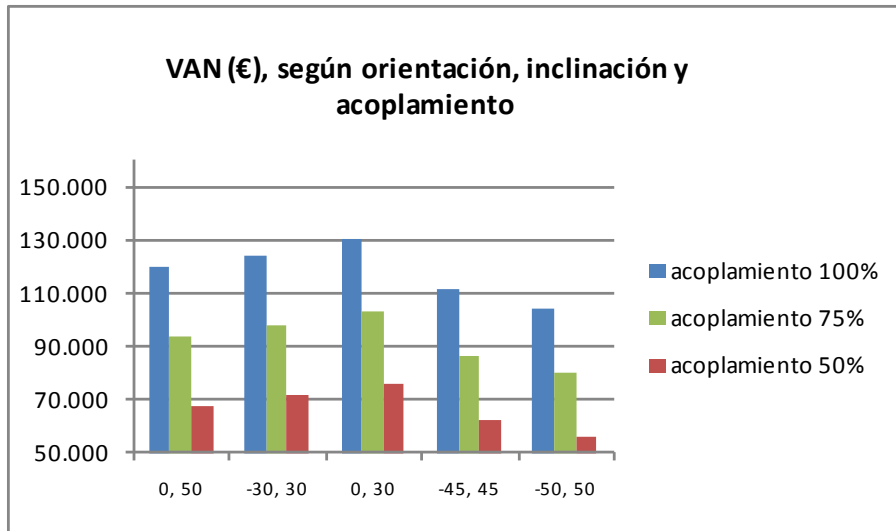
## Gráfico comparativo de resultados (millares de €/año) para el supuesto de 50% de acoplamiento entre generación y consumo



## RESUMEN DE RESULTADOS

Orientación (º), Inclinación (º)	Productividad (KWh/KWp)	Acoplamiento (%)	VAN (€)	TIR (%)	PAYBACK (años)
0, 50	1.447	100	119.716	15	10
		75	93.936	13	12
		50	68.156	11	14
-30, 30	1.483	100	124.772	16	10
		75	98.360	14	12
		50	71.948	11	14
0, 30	1.526	100	130.994	16	10
		75	103.804	14	11
		50	76.615	12	13
-45, 45	1.390	100	111.592	15	11
		75	86.828	13	13
		50	62.063	10	15
-50, 50	1.339	100	104.373	14	11
		75	80.511	12	13
		50	56.649	10	15







## CONCLUSIONES

Durante la pasada feria Genera 2012, que tuvo lugar entre los días 23 y 25 de mayo de 2012 en el recinto ferial de IFEMA en Madrid, se pudo deducir de las distintas conferencias relativas a la generación distribuida, autoconsumo y balance neto (donde hubo representantes, entre otros, de ENDESA, CNE, GAS NATURAL FENOSA, APPA, UNEF e IBERDROLA) que, probablemente, el Gobierno optará por una solución intermedia entre lo que proponen las asociaciones del sector fotovoltaico y las grandes empresas eléctricas.

Es razonable, por lo tanto, asumir que siempre resultará más interesante consumir lo producido que inyectarlo en la red. En consecuencia, para cada perfil de demanda y ubicación, condicionando ésta última la productividad del sistema, habrá que encontrar un tamaño óptimo de la instalación fotovoltaica que permita acoplamiento cercanos al 100%.

En vista de los resultados obtenidos, el análisis llevado a cabo indica que la rentabilidad de este tipo de inversión puede resultar atractiva. En nuestro proyecto, según se deduce de los supuestos contemplados, la operación sería óptima para orientación Sur, inclinación de 30° sobre la horizontal y acoplamiento entre generación y consumo del 100%, lo cual únicamente se produciría en aquellas situaciones donde, debido a las características de la actividad desarrollada por la industria en cuestión, coincidieran los flujos energéticos producidos y requeridos. No obstante, es improbable que, para esta orientación e inclinación, se consigan acoplamientos del 100% en el caso de una escuela cuyo perfil de consumo aconseja aprovechar los rayos de la mañana procedentes del Este y capturar eficientemente los correspondientes a la época invernal, durante la cual la elevación del Sol sobre el horizonte disminuye. En este caso, lo adecuado sería orientar el generador 50°Este e inclinarlo 50° sobre la horizontal.

Estas consideraciones se verán notablemente afectadas cuando la nueva normativa que regule el autoconsumo sea aprobada y queden clarificados los diversos aspectos que aún están en el aire (peajes, períodos de vigencia de los excedentes, etc.).

