

05-022

USE OF THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AT A MUNICIPAL SPORTS CENTRE CONNECTED TO THE ELECTRICITY NETWORK

López Ochoa, Luis María; Las Heras Casas, Jesús; García Lozano, César; López
González, Luis María
Universidad de La Rioja

This paper presents the results of a study whose objective was to design and calculate a photovoltaic solar installation connected to the network to meet the electrical needs of a municipal sports centre, while also having the option of selling excess energy production to the network or putting it to use for other public purposes. Three options are presented. The first and second options propose covering the entire roof with photovoltaic modules in order to produce the maximum quantity of electrical energy possible. However, while the first option purchases necessary energy from the network and sells all the energy produced to the network, the second employs a net balance system with the network. The third alternative utilises the minimum number of photovoltaic modules necessary to satisfy the sports centre's annual electrical consumption. In addition to evaluating the cumulative savings produced, this study also examines how the selling price of the energy produced affects the amortisation of the installation and its viability. The importance of a suitable relationship between the selling and purchase prices was also confirmed, so as to guarantee the project's economic viability and its environmental sustainability.

Keywords: *Photovoltaic solar energy; electricity; energy storage; viability and sustainability; State-run example; European energy policy*

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN UN POLIDEPORTIVO MUNICIPAL CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red o poder ser aprovechada por el municipio para otros fines públicos. Se presentan tres alternativas. En la primera y segunda alternativas se contempla cubrir todo el faldón de la cubierta de módulos fotovoltaicos para producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible. Mientras que en la primera se compra a la red toda la energía requerida y se vende a la red toda la energía producida, en la segunda se emplea un sistema de balance neto con la red. En la última alternativa se colocan los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo. Además de evaluar el ahorro acumulado se ha estudiado cómo afecta el precio de venta de la energía producida a la amortización de la instalación y su viabilidad. También se ha comprobado la necesidad de una relación adecuada de precio de compra y de precio de venta para garantizar la viabilidad económica y la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave: *Energía solar fotovoltaica; electricidad; almacenamiento de energía; viabilidad y sostenibilidad; el ejemplo de la Administración; política energética europea*

Correspondencia: Luis María López Ochoa luis-maria.lopezo@unirioja.es

1. Introducción

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red o poder ser aprovechada por el municipio para otros fines públicos.

2. Objetivos

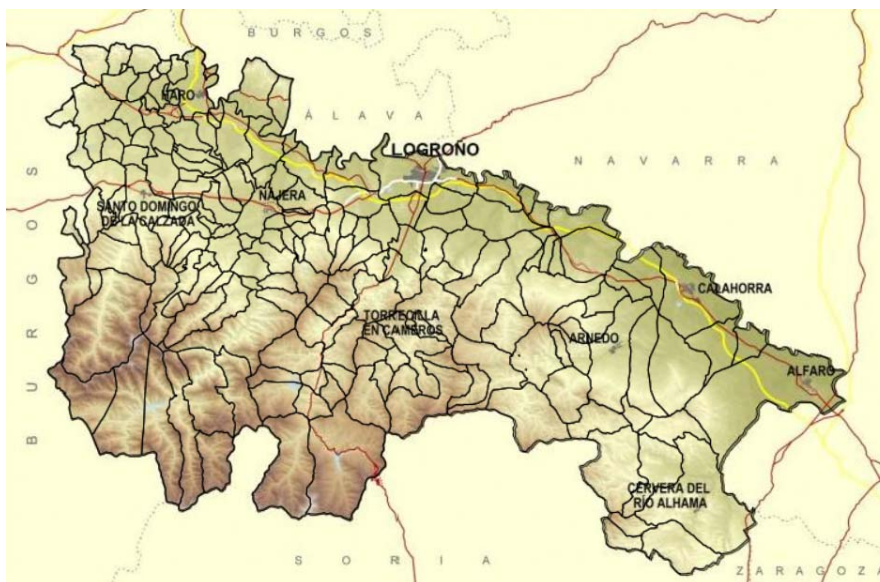
El objetivo es el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red, realizando un estudio de viabilidad de la instalación para las tres alternativas propuestas.

Se presentan tres alternativas. Mientras que en la primera se compra a la red toda la energía requerida y se vende a la red toda la energía producida, en la segunda se emplea un sistema de balance neto con la red. En la última alternativa se colocan los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo.

3. Pabellón polideportivo

La instalación solar fotovoltaica se realizará en la cubierta de un pabellón polideportivo, situado en Calahorra (La Rioja) (Figura 1), en el cual se pueden realizar todo tipo de actividades deportivas y de ocio.

Figura 1: Mapa de situación de Calahorra



Su cubierta es metálica y se caracteriza por ser a dos aguas, teniendo una de ellas dos inclinaciones diferentes (Figura 2).

La extensión total de la cubierta es de 2.328,8 m². Esta superficie está repartida entre tres faldones: Uno de ellos, el más inclinado con 38,5° respecto a la horizontal; tiene una extensión de 703,2 m²; el segundo, con 6,3° de inclinación, tiene 482,6 m²; y, por último, otro faldón con 5,1°, con una superficie de 1.143,0 m².

Figura 2: Pabellón polideportivo



3.1 Necesidades eléctricas

A partir de los consumos anuales eléctricos del pabellón de los últimos cinco años y un análisis pormenorizado de las potencias de todos los elementos de la instalación eléctrica y su tiempo medio estimado de funcionamiento, se han determinado las necesidades eléctricas del pabellón.

Para determinar el consumo eléctrico de la iluminación del pabellón (Tabla 1) se han contabilizado los consumos de todas las luminarias, focos y proyectores de todos los recintos del pabellón.

Tabla 1: Consumo anual eléctrico de iluminación, en kWh

Planta	Recinto	Consumo	Subtotal
Baja	Baños y vestuarios	9.305	24.447
	Pasillos	9.388	
	Zona sauna y botiquín	275	
	Sala polivalente 1: Spinning	1.261	
	Sala polivalente 2: Gimnasia	591	
	Gimnasio	3.627	
Primera	Graderío	742	38.348
	Pista fútbol sala	6.132	
	Frontón 1	17.082	
	Frontón 2	13.140	
	Squash	1.252	
TOTAL			62.795

Para determinar el consumo del resto de elementos eléctricos del pabellón (Tabla 2) se ha contabilizado el consumo de bicicletas elípticas, cintas de correr, aparatos de música, máquinas expendedoras y otros.

Tabla 2: Consumo anual del resto de elementos eléctricos, en kWh

Recinto	Consumo
Gimnasio	6.099
Sala spinning	176
Recinto polideportivo general	7.154
Sala instalaciones	1.342
TOTAL	14.771

El consumo anual eléctrico de la iluminación asciende 62.795 kWh. El consumo anual del resto de elementos eléctricos es de 14.771 kWh. Por lo tanto, el consumo eléctrico anual de todo el pabellón es de 77.566 kWh.

Dado que el consumo eléctrico puede sufrir picos, se ha decidido sobredimensionar la instalación fotovoltaica en un 20 %, para poder cubrir un consumo eléctrico anual de 93.079 kWh.

3.2 Instalación fotovoltaica

Se plantean dos diseños: Uno que permita producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible y otra que permita cubrir las necesidades eléctricas del pabellón polideportivo.

La instalación para obtener la producción máxima posible está compuesta por:

- 432 módulos fotovoltaicos, de 215 Wp de potencia cada uno.
- 24 ramales, contando cada uno con 18 módulos fotovoltaicos.
- 2 inversores de 50 kW cada uno.
- Protecciones eléctricas.
- Todos los cuadros y elementos auxiliares necesarios para un correcto funcionamiento.

La instalación para cubrir las necesidades eléctricas del pabellón polideportivo está compuesta por:

- 62 módulos fotovoltaicos, de 215 Wp de potencia cada uno.
- 4 ramales: tres con 18 módulos cada uno y uno con 8 módulos.
- 1 inversor de 20 kW.
- Protecciones eléctricas.
- Todos los cuadros y elementos auxiliares necesarios para un correcto funcionamiento.

Los módulos fotovoltaicos se instalarán en el faldón de la cubierta cuya inclinación es de 38,5°.

3.3 Producción estimada

Se han considerado pérdidas por orientación e inclinación, por sombras, en el inversor, en la parte de corriente continua, por el deterioro de las células y por el cableado. Todas ellas suman un 19,26%. Adicionalmente se considera un rendimiento del 95% por criterios de mantenimiento y una degradación anual de los paneles del 1 %.

La energía total real anual producida con el diseño para producción máxima, habiendo considerado todas las pérdidas y un coeficiente de seguridad adicional, es de 802.573 kWh.

La energía total real anual producida con el diseño para cubrir todas las necesidades eléctricas, habiendo considerado todas las pérdidas y un coeficiente de seguridad adicional, es de 93.079 kWh.

4. Estudio de viabilidad

Se presentan tres alternativas diferentes:

- Alternativa 1: Contempla producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible, comprando a la red toda la energía requerida y vendiendo a la red toda la energía producida.
- Alternativa 2: Contempla producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible, empleando un sistema de balance neto con la red.
- Alternativa 3: Contempla instalar los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo durante todo el periodo de utilización, empleándose un sistema de balance neto con la red.

Para el estudio de viabilidad de cada una de las alternativas estudiadas se ha considerado que el consumo eléctrico anual del pabellón es de 93.079 kWh, que la tasa de incremento de ingresos y la de gastos es del 2,5%, y que el interés es del 10%.

4.1 Alternativa 1

En esta alternativa, partiendo de que la cubierta del faldón está cubierta completamente por módulos fotovoltaicos (producción máxima posible), se considera que se venderá todo lo que se produce y se comprará todo lo que se necesite.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 802.573 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 770.504 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 8.250 € en el primer año.

Se han calculado los precios de venta a la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es de 0,1790 €/kWh. Además se compara con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1268 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 20 años, con un VAN de 508 € y un beneficio en el horizonte de 559 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1392 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 93.627 € y un beneficio en el horizonte de 102.990 €.

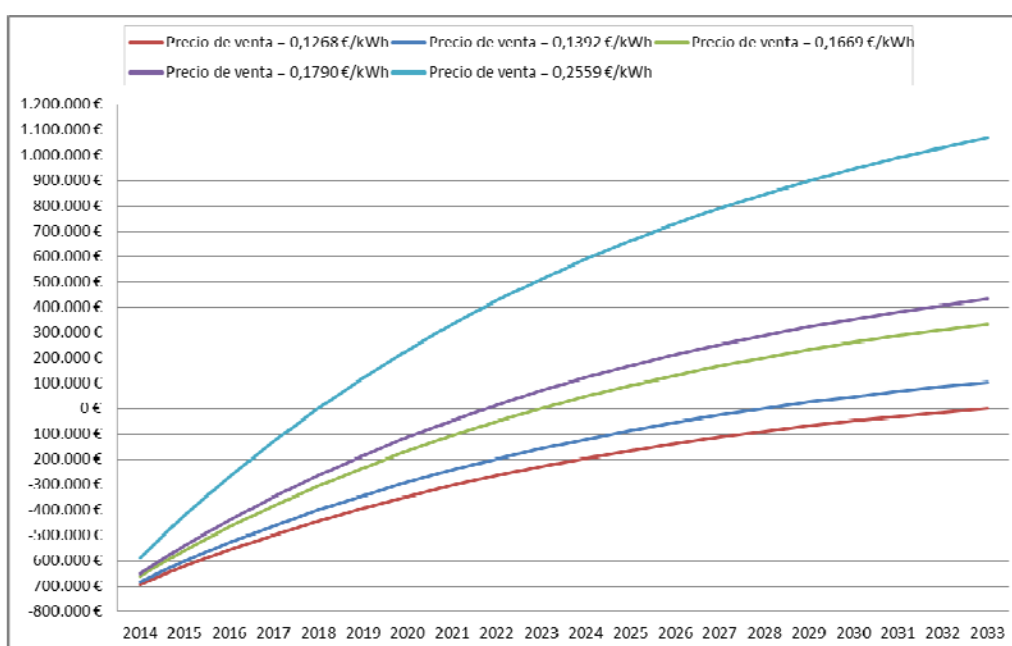
Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1669 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 301.642 € y un beneficio en el horizonte de 331.806 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 9 años, con un VAN de 392.508 € y un beneficio en el horizonte de 431.759 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,2559 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 969.994 € y un beneficio en el horizonte de 1.066.994 €.

En la Figura 3 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 3: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 3 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 3: Resultados económicos para la Alternativa 1

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
5	0,2559	969.994	1.066.994
9	0,1790	392.508	431.759
10	0,1669	301.642	331.806
15	0,1392	93.627	102.990
20	0,1268	508	559

4.2 Alternativa 2

En esta alternativa, partiendo de que la cubierta del faldón está cubierta completamente por módulos fotovoltaicos (producción máxima posible), se considera que se empleará un sistema de balance neto con la red.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 802.573 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 770.504 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 8.250 € en el primer año.

Se han calculado los precios de venta a la red y de compra de la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es igual al precio de venta. Además se compara con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1193 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 20 años, con un VAN de 231 € y un beneficio en el horizonte de 254 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1336 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 94.194 € y un beneficio en el horizonte de 103.613 €.

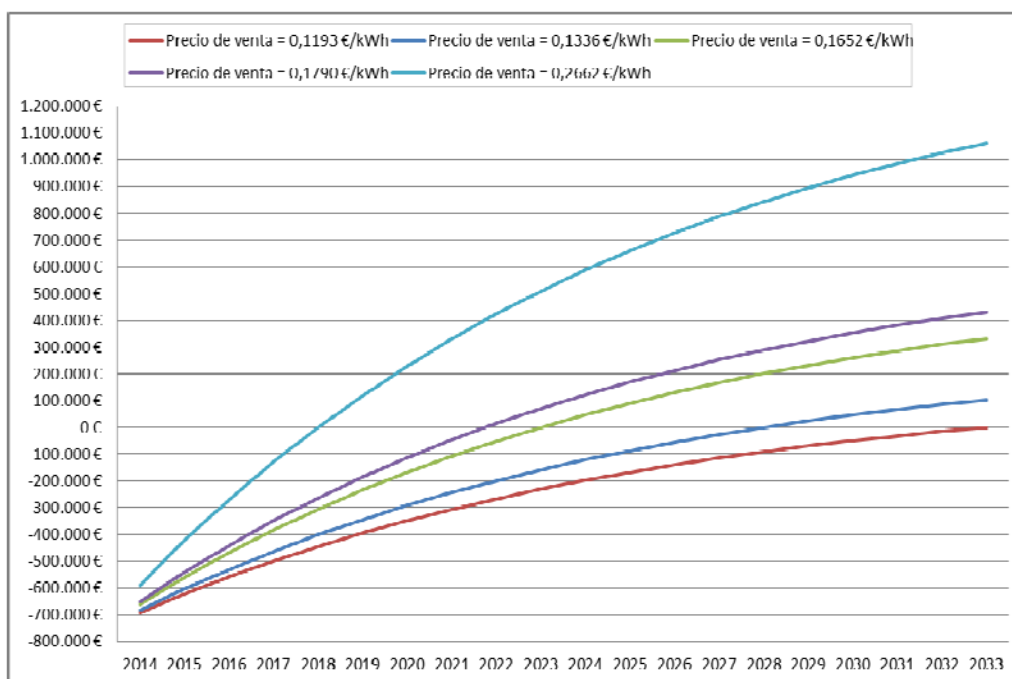
Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1652 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 301.831 € y un beneficio en el horizonte de 332.014 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 9 años, con un VAN de 392.508 € y un beneficio en el horizonte de 431.759 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,2662 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 965.482 € y un beneficio en el horizonte de 1.062.030 €.

En la Figura 4 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 4: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 4 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 4: Resultados económicos para la Alternativa 2

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
5	0,2662	965.482	1.062.030
9	0,1790	392.508	431.759
10	0,1652	301.831	332.014
15	0,1336	94.194	103.613
20	0,1193	231	254

4.3 Alternativa 3: Balance neto, considerando producción mínima

En esta alternativa, partiendo de tener el mínimo número de módulos fotovoltaicos que nos aseguren poder cubrir el consumo eléctrico anual del pabellón (producción mínima), se considera que se empleará un sistema de balance neto con la red.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 114.912 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 97.927 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 850 € en el primer año.

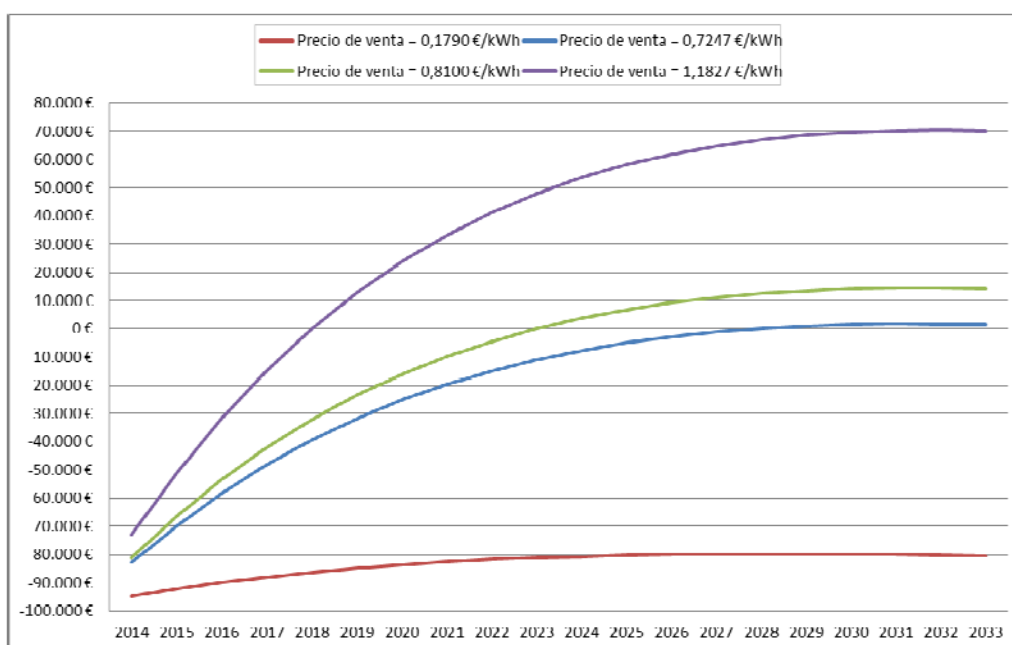
Se han calculado los precios de venta a la red y de compra de la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es igual al precio de venta. Además se compara

con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, no se logra amortizar la instalación en 20 años, y se obtienen un VAN de -73.173 € y un beneficio en el horizonte de -80.490 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,7247 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 63.782 € y un beneficio en el horizonte de 70.160 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,8100 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 12.927 € y un beneficio en el horizonte de 14.220 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 1,1827 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 1.288 € y un beneficio en el horizonte de 1.417 €.

En la Figura 5 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 5: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 5 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 5: Resultados económicos para la Alternativa 3

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
15	1,1827	1.288	1.417
10	0,8100	12.927	14.220
5	0,7247	63.782	70.160
-	0,1790	-73.173	-80.490

5. Resultados

La solución clásica para el pabellón polideportivo consiste en que toda la energía eléctrica demandada es comprada a la red y no existe ningún sistema de producción eléctrica. De esta forma, se obtiene un VAN de -183.169 € y un gasto acumulado en un horizonte de 20 años de 201.486 €.

Para dicha solución, se han considerado unos costes de mantenimiento en el primer año de 1.500 €, un precio de compra de la red de 0,1790 €/kWh en el primer año y se han mantenido una tasa de incremento de gastos del 2,5%.

Comparando la primera alternativa con la solución clásica se observa que la primera alternativa sale rentable cuando el precio de venta en el primer año se encuentra entre 0,1512 €/kWh y 0,1790 €/kWh. Si esta comparación la realizamos con la segunda alternativa y la solución clásica se observa que la segunda alternativa sale rentable cuando el precio de venta en el primer año es igual o superior a 0,1472 €/kWh.

Comparando la tercera alternativa con la solución clásica se observa que nunca es viable, económicamente hablando.

6. Conclusiones

Además de evaluar el ahorro acumulado se ha estudiado cómo afecta el precio de venta de la energía producida a la red a la amortización de la instalación y su viabilidad.

También se ha comprobado la necesidad de una relación adecuada de precio de compra a la red y de precio de venta para no sólo garantizar la viabilidad económica de la actuación, sino también la sostenibilidad medioambiental, que deben ser compatibles para garantizar el cumplimiento de la política energética de la Unión Europea.

En general, la influencia de los precios de compra y venta de la energía eléctrica es altísima, independientemente de que haya autoconsumo.

La modulación de la instalación es un factor determinante en la operativa de las instalaciones, así como de los resultados económicos de las mismas.

Una vez más, la fase de diseño es crítica para asegurar la viabilidad económica. Si se ajusta la producción al consumo la viabilidad económica de las instalaciones, en general, es siempre negativa.

Hay un factor que será determinante, cual es un escenario de emisiones tasadas en electricidad de las toneladas de CO₂ evitado, lo que aportaría nuevas ventajas futuras. Seguramente este escenario podrá darse en el futuro cuando se desarrolle una legislación más coherente con los objetivos perseguidos en Europa para este tipo de instalaciones.

Referencias

- ASIF/UNEF (Asociación de la Industria Fotovoltaica/Unión Española Fotovoltaica). La Energía fotovoltaica conquista el mercado. Informe anual 2014. JOMAGAR. Madrid, 2015. También en: www.unef.es.
- IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. PROGENSA. ISBN: 978-84-95693-62-4. Madrid, 2011.