

ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LOS PROYECTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE PEQUEÑOS AEROGENERADORES

Osorio, L. P.; Arias, A. ; Velo, R.; Maseda, F.

Abstract

In the last years the use of wind power increased its importance in Spain. In consequence, there are numerous wind farms with big wind turbines. We think that is very important to analyze the viability of small wind turbines use in different places and with different finalities (like the industrial use, agricultural use, etc.).

In this work we analyze seven small wind turbines with different powers (from 3 to 50 kW) we suppose different assumptions of energy price and its variations, fluctuations in the maintenance costs and in the discount rate. We also consider different wind availability situations, and different nominal power operation hours (from 1000 to 6000 hours).

With respect to financial analysis we use this rates: NPV (net present value), Payback (recuperation rate), IRR (internal rate of return) and NPV/I (net present value divided by the inversion value) in the different situations.

Keywords: Profitability, small wind turbines, wind energy.

Resumen

En los últimos años ha adquirido gran importancia el aprovechamiento de la energía eólica en España mediante la instalación de parques eólicos con aerogeneradores de gran potencia. Creemos que es de indudable interés analizar la viabilidad del aprovechamiento de aerogeneradores de pequeña potencia en diferentes zonas y con distintas finalidades, como son el uso industrial, autoconsumo en pequeñas explotaciones agroganaderas, etc.

En este trabajo se van a analizar un total de siete pequeños aerogeneradores de diferentes potencias, entre 3 y 50 kW, teniendo en cuenta diferentes escenarios de precios de la energía. Se contemplan posibles incrementos en los costes de mantenimiento y posibles fluctuaciones en la tasa de actualización. Además también se considerarán diferentes supuestos de potencial eólico, de modo que se estudiará la rentabilidad de la instalación, en situaciones de entre 1000 y 6000 horas de funcionamiento a potencia nominal de las turbinas.

Los ratios empleados en el análisis económico serán: VAN (valor actual neto), Payback (plazo de recuperación de la inversión), TIR (tasa interna de rentabilidad) y VAN/I (valor actual neto entre inversión) en los diferentes escenarios mencionados anteriormente.

Palabras clave: Rentabilidad, pequeños aerogeneradores, energía eólica.

1. Introducción y objetivos

El reto de incrementar de forma significativa la utilización de las energías renovables para la generación de energía eléctrica ha llevado a una situación, en España, de crecimiento muy significativo en los últimos años en la cantidad y potencia de los parques eólicos instalados.

Sin embargo esto no ha pasado con respecto a la instalación de pequeños aerogeneradores en áreas de aplicaciones diferentes.

Por ello, nos planteamos que en la actualidad es necesario estudiar la viabilidad de los aerogeneradores de potencias inferiores a 50kW para usos en diferentes aplicaciones.

Se pretende, por tanto, hacer un estudio de la rentabilidad del aprovechamiento del recurso eólico mediante turbinas de pequeña potencia conectadas a la red eléctrica y observar como se ve afectada la misma frente a variaciones en la disponibilidad anual de horas de velocidad del viento (entre 1000 y 6000 horas), costes de mantenimiento (se supondrán incrementos en los mismos de un 2 y un 4% anuales), tasa de actualización (suponiendo un valor de esta de un 4% y un 6%), y precio de la energía (se considerarán incrementos y descensos de este precio de un 2 y un 4% anuales).

2. Metodología

Para la elaboración del estudio se eligen siete modelos de aerogeneradores con potencias nominales y de distintos fabricantes (Tabla 1).

Fabricante	Modelo	Potencia (kW)
Bornay	Inclin 3000	3
Bornay	Inclin 6000	6
Westwind	Westwind 10	10
WTIC	Jacobs 15	15
Westwind	Westwind 20	20
Fuhrländer	FL 30	30
Entegrity	EW 50	50

Tabla 1. Pequeños aerogeneradores empleados.

Para realizar un análisis correcto de las situaciones ya mencionadas debemos definir una serie de condicionantes previos:

- Tasa de actualización inicial (r): 4%.
- Condiciones de financiación ajena: Se pedirá un crédito por un importe igual al precio del aerogenerador instalado, a un interés del 10% y a devolver en 10 años.
- Costes de instalación:
 - Costes fijos: Son aquellos debidos al mantenimiento y reparación de los aerogeneradores. Se considera que dichos costes ascienden, inicialmente, a un 9% del precio de la turbina.
 - Otros costes: Aquí se incluyen el precio de la turbina, de la torre y los costes de instalación, que en todos los modelos asciende a un 30% del precio de la turbina.

Modelo	Aerogenerador(k€)	Instalación(k€)	CMR venta(k€)
Inclin 3000	9,61	2,88	0,86
Inclin 6000	13,55	4,06	1,21
Westwind 10	32,54	9,76	2,92
Jacobs 15	34,50	10,35	3,10
Westwind 20	34,61	10,38	3,11
FL 30	92,30	27,69	8,30
EW 50	165,00	49,50	14,85

Tabla 2. Costes de instalación.

- Beneficios de la instalación: A la hora de considerar los beneficios con la venta de la energía producida se han hecho dos supuestos diferentes, puesto que en España no existe una tarifa regulada para la venta de energía eólica a la red para pequeños aerogeneradores:

-Una situación en la cual se usa el precio de la energía solar fotovoltaica, por tratarse ambas de energías renovables y ésta tiene un valor de 0,32 €/kWh (según R.D. 1548/2008 del 26 de septiembre de Retribución de la Energía Solar Fotovoltaica).

-Otra situación en la que se considera un precio inferior al anterior de 0,20 €/kWh.

- Vida útil del aerogenerador: 20 años.
- Energía producida: Para comparar los beneficios es necesario calcular la energía generada que se expresará en función de las horas de funcionamiento de los aerogeneradores a su potencia nominal (horas equivalentes, heq).

$$E(\text{kWh}) = P_n(\text{kW}) \cdot \text{heq}(\text{h}) \quad (1)$$

Las hipótesis que se analizan en este trabajo son las que se exponen a continuación:

- H0: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh, con los costes y beneficios de la situación de partida que han sido expuestos anteriormente.
- H1: precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh e incremento anual del 2% del precio de la energía.
- H2: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh e incremento anual del 4% del precio de la energía.
- H3: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh e incremento anual del 2% en los costes contemplados inicialmente.
- H4: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh e incremento anual del 4% de los costes.
- H5: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh y disminución anual del 2% del precio de la energía.
- H6: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh y disminución anual de un 4% del precio de la energía.
- H7: Precio inicial de la energía de 0,32 €/kWh y r=6%.

- H8: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh con los costes y beneficios de la situación de partida.
- H9: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh e incremento anual del 2% del precio de la energía.
- H10: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh e incremento anual del 2% de los costes.
- H11: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh e incremento anual del 4% del precio de la energía.
- H12: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh e incremento anual del 4% en los costes.
- H13: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh y disminución anual de un 2% del precio de la energía.
- H14: Precio inicial de la energía de 0,20 €/kWh y disminución anual en un 4% del precio de la energía.

Los parámetros económicos analizados son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR), el PAYBACK (periodo de recuperación) y el ratio VAN/Inversión:

- El VAN se define como:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+r)^j} - K \quad (2)$$

Donde R_j son los flujos de caja, K es el valor inicial de la inversión, n es el número de años considerado y r es la tasa de actualización.

- El TIR de una inversión, está definido como la tasa de interés con la cual el VAN es igual a cero.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+TIR)^j} - K = 0 \quad (3)$$

- El PAYBACK se define como el número de años que se tarda en recuperar el desembolso inicial de la inversión.
- El VAN/Inversión de una inversión, está definido como el valor actual neto entre el total de la inversión realizada.
- La sensibilidad hace referencia a los cambios que se observan en los ratios obtenidos cuando se modifican las variables principales. De modo que un mayor efecto de los cambios de las variables se traduce en una mayor sensibilidad del ratio.

3. Resultados

3.1 Análisis del Payback

En general la inversión no se recupera en ninguno de los supuestos estudiados para 1000 horas equivalentes, y como cabía esperar al aumentar este número de horas es más probable su recuperación, siendo más rápida cuanto mayor sea el tiempo de funcionamiento de los aerogeneradores. En el caso de 6000 horas equivalentes (incremento de costes, descenso de precio de la energía) se recupera la inversión, ya sea en el año 1 o en el 2 en las situaciones menos favorables.

Se necesita que los aerogeneradores tengan un funcionamiento a potencia nominal de 2000 ó 3000 horas para recuperar el capital de inversión si partimos de un precio de la energía de 0,32 €/kWh y de 4000 ó 5000 horas, si tenemos un precio inicial de 0,20 €/kWh de venta de la energía eléctrica a la red, independientemente de la potencia de los aerogeneradores. Figura 1.

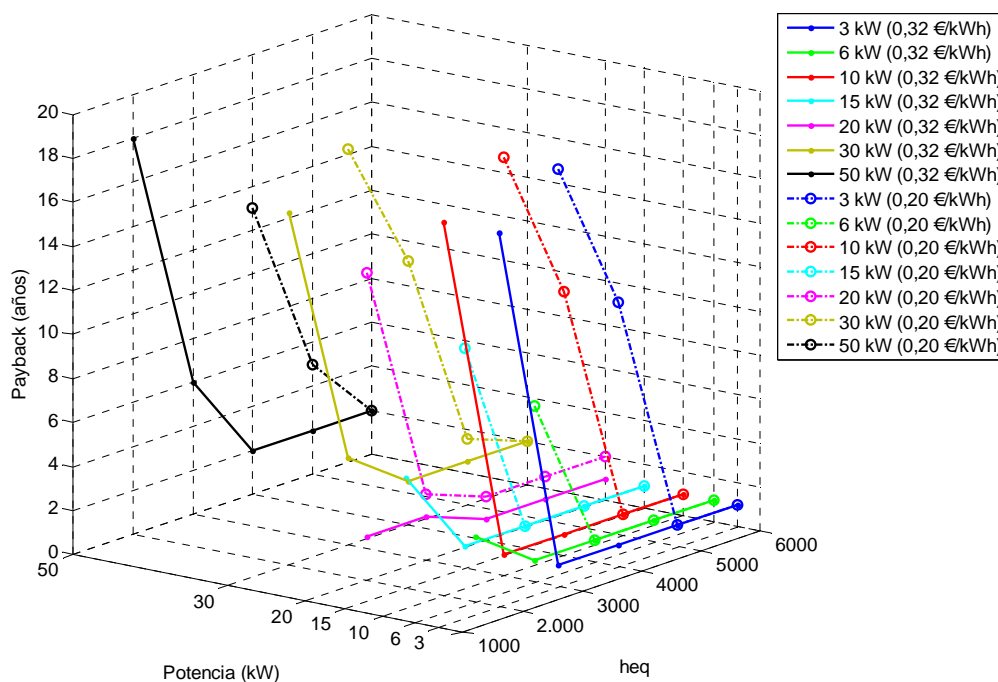


Figura 1. Variación del payback para los precios de la energía de 0,20 €/kWh/h y 0,32 €/kWh/h

3.2 Análisis del TIR

En general el TIR aumenta a medida que se incrementan las horas equivalentes de funcionamiento. De modo que en la situación inicial (precio energía 0,32 €/kWh) para 1000 horas en todos los aerogeneradores es negativo (salvo en el Westwind20) y sin embargo para 2000 horas es superior al 4% en cualquiera de los aparatos, a excepción del aerogenerador de 50kW que necesita 3000 horas de funcionamiento para superar este valor del TIR. En la figura 2 se recoge la variación del TIR para 2000 horas equivalentes de los aerogeneradores estudiados (valor mínimo de rentabilidad de parques eólicos).

En una situación en la cual se incrementen los costes esto supone una tasa más desfavorable para el mismo número de horas. Aunque para una cantidad de horas equivalentes superior a 2000 este efecto es despreciable, puesto que para cualquiera de los costes analizados el TIR es sobradamente positivo.

En el caso de que disminuyesen los ingresos por venta de energía eléctrica esto conllevaría un valor de TIR inferior para el mismo número de horas equivalentes de funcionamiento, de manera que algunos aerogeneradores (3, 10, 30 y 50 kW) necesitan 1000 horas más para obtener los mismos valores de TIR que se obtenían con el precio de la energía constante de 0,32 €/kWh.

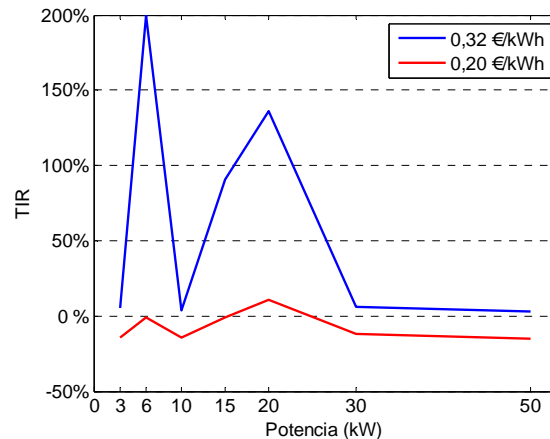


Figura 2. Variación del TIR para 2000 horas equivalentes en función del precio inicial de la energía

En un aumento del precio de la energía, se observa que repercute más en el TIR el primer 2% de incremento, que no en el rango del 2% al 4%. De modo que la repercusión en el TIR del incremento del precio de la energía no es lineal, si no que a medida que el incremento del precio de la energía es mayor la influencia es menor.

3.3 Análisis del VAN

En general para cualquier tamaño de aerogenerador que empleemos se observa que aumenta el VAN a medida que aumentan las horas equivalentes de funcionamiento. Además el VAN es más sensible (en la misma variación de horas equivalentes) cuanto mayor sea la potencia del aerogenerador. De modo que si en el de 3 kW pasa de 1000 a 2000 horas equivalente supone 12500 € de VAN, en el de 50 kW la misma variación de horas equivalentes supone 230000 € (Figura 3).

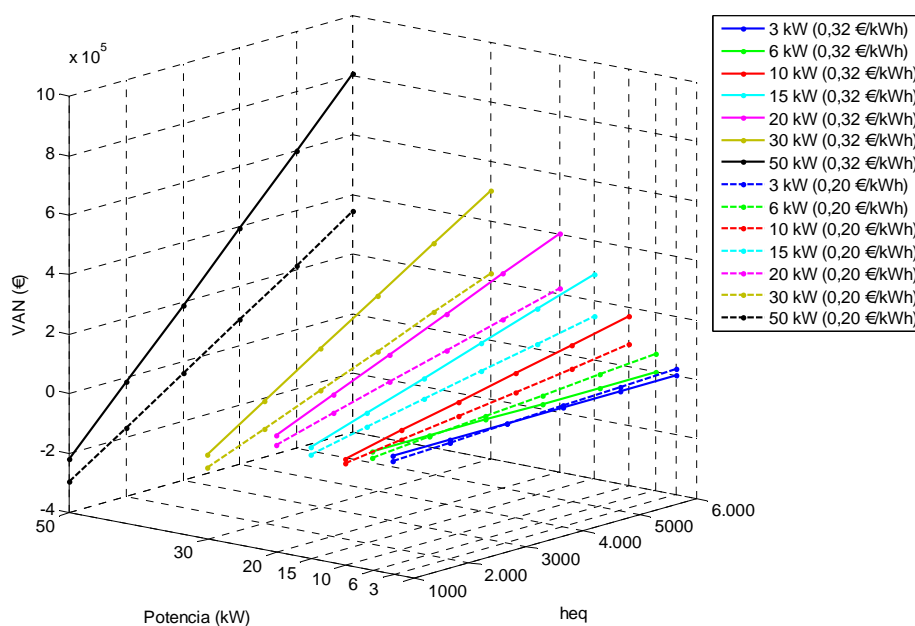


Figura 3. Variación del VAN para los precios de la energía 0,20 €/kWh y 0,32 €/kWh

En una situación de incremento de costes, la variación del VAN es mayor al aumentar estos, de modo que para un mismo aerogenerador, cuanto mayores sean los costes mayor es la sensibilidad del VAN entre el mismo número de horas equivalentes. Por ejemplo en un aerogenerador de 3 kW, la diferencia del VAN entre 1000 y 2000 horas equivalentes es de 2500 €, mientras que para un incremento de costes del 4% este valor es de 20000 €. Como se recoge en las hipótesis H3 y H4 representadas en la figura 4.

En caso de que se produzca una disminución del precio de la energía, esto supone una disminución del VAN de tal modo que necesitan más de 1000 horas equivalentes de funcionamiento con respecto a la hipótesis de que la energía sea constante (0,32 €/kWh) para conseguir valores de VAN positivos en los aerogeneradores de 3, 10 y 30 kW. Como se recoge en la figura 4 en las hipótesis H5 y H6 con respecto a la H0.

Si el precio de la energía disminuye un 4% cada año, son necesarias 1000 horas equivalentes más de funcionamiento con respecto a la situación de que el precio de la energía sea constante (0,20 €/kWh) para alcanzar un valor de VAN positivo. Sin embargo, si la disminución es del 2%, los valores de VAN son inferiores a los obtenidos con el precio constante de la energía pero no son necesarias más horas equivalentes de funcionamiento.

Para el mismo incremento anual del precio de la energía la sensibilidad del VAN es independiente de su coste inicial.

Si el precio de la energía aumenta también lo hará el VAN, de forma más acusada con el incremento del número de horas de funcionamiento que si el precio de la energía fuese constante. Como se recoge en la figura 4 en las hipótesis H1 y H2 con respecto de la H0.

La sensibilidad del VAN al incremento del precio de la energía es proporcional tanto al aumento de éste (un incremento del precio de la energía del 4% supone una repercusión en el VAN doble que un incremento del 2%) como a la potencia (ya que una mayor potencia supone una mayor sensibilidad al incremento del precio de la energía).

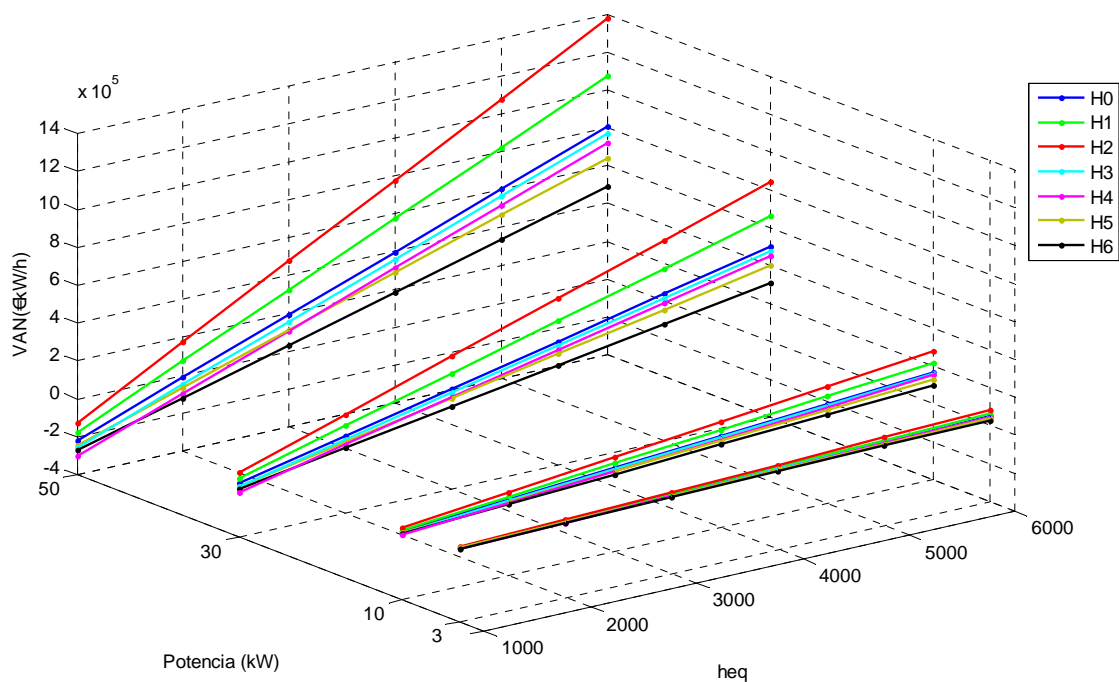


Figura 4. Comportamiento del VAN según la variación del precio de la energía y de los costes para algunos aerogeneradores

En la tabla 3 se recogen los valores de VAN calculados para las hipótesis de precio constante de la energía, incremento y disminución anual del 4% del mismo y un aumento anual de costes del 4%. Todo esto para los dos supuestos contemplados de precio inicial de la energía.

kW	Horas	VANH0	VANH2	VANH4	VANH6	VANH8	VANH11	VANH12	VANH14
3	1000	-12,15	-6,74	-17,03	-15,62	-16,87	-6,91	-21,75	-19,04
	2000	0,43	11,26	-4,45	-6,50	-9,01	10,91	-13,89	-13,34
	3000	13,02	29,26	8,14	2,61	-1,14	28,74	-6,02	-7,64
	4000	25,60	47,26	20,72	11,73	6,72	46,57	1,85	-1,94
	5000	38,19	65,26	33,31	20,85	14,59	64,40	9,71	3,75

Tabla 3a. Valores de VAN (k€) para distintas hipótesis.

kW	Horas	VANH0	VANH2	VANH4	VANH6	VANH8	VANH11	VANH12	VANH14
6	1000	-9,72	1,10	-16,61	-16,66	-19,16	0,76	-26,04	-23,50
	2000	15,45	37,10	8,56	1,58	-3,43	36,41	-10,31	-12,10
	3000	40,62	73,10	33,73	19,81	12,30	72,07	5,42	-0,70
	4000	65,79	109,10	58,91	38,05	28,03	107,72	21,15	10,69
	5000	90,96	145,10	84,08	56,28	43,76	143,37	36,88	22,09
10	1000	-41,83	-23,78	-58,35	-53,39	-57,56	-24,36	-74,08	-64,78
	2000	0,12	36,22	-16,40	-22,99	-31,34	35,07	-47,86	-45,79
	3000	42,07	96,22	25,55	7,40	-5,12	94,49	-21,64	-26,79
	4000	84,02	156,22	67,50	37,79	21,10	153,91	4,58	-7,80
	5000	125,97	216,22	109,45	68,18	47,32	213,34	30,79	11,20
15	1000	-25,89	1,19	-43,40	-43,23	-49,49	0,32	-67,00	-60,32
	2000	37,04	91,19	19,52	2,36	-10,16	89,45	-27,67	-31,83
	3000	99,96	181,19	82,45	47,95	29,17	178,59	11,66	-3,34
	4000	162,89	271,19	145,38	93,54	68,50	267,72	50,99	25,16
	5000	225,82	361,19	208,30	139,13	107,83	356,86	90,32	53,65
20	1000	-7,06	30,89	-24,63	-28,33	-37,83	29,73	-55,40	-51,12
	2000	75,00	150,89	57,43	32,46	13,46	148,58	-4,11	-13,13
	3000	157,05	270,89	139,48	93,24	64,74	267,43	47,17	24,86
	4000	239,11	390,89	221,54	154,03	116,03	386,27	98,45	62,85
	5000	321,16	510,89	303,59	214,81	167,31	505,12	149,74	100,84

Tabla 3b. Valores de VAN (k€) para distintas hipótesis.

kW	Horas	VANH0	VANH2	VANH4	VANH6	VANH8	VANH11	VANH12	VANH14
20	1000	-7,06	30,89	-24,63	-28,33	-37,83	29,73	-55,40	-51,12
	2000	75,00	150,89	57,43	32,46	13,46	148,58	-4,11	-13,13
	3000	157,05	270,89	139,48	93,24	64,74	267,43	47,17	24,86
	4000	239,11	390,89	221,54	154,03	116,03	386,27	98,45	62,85
	5000	321,16	510,89	303,59	214,81	167,31	505,12	149,74	100,84
30	1000	-114,55	-57,63	-161,41	-146,45	-160,70	-59,36	-207,56	-180,64
	2000	8,53	122,37	-38,32	-55,27	-83,78	118,91	-130,64	-123,66
	3000	131,62	302,37	84,76	35,90	-6,85	297,18	-53,71	-66,67
	4000	254,70	482,37	207,84	127,08	70,08	475,45	23,22	-9,69
	5000	377,78	662,37	330,92	218,26	147,00	653,72	100,14	47,30
50	1000	-219,63	-124,76	-303,39	-272,80	-296,55	-127,65	-380,31	-329,79
	2000	-14,49	175,24	-98,25	-120,84	-168,34	169,47	-252,10	-234,81
	3000	190,65	475,24	106,89	31,12	-40,13	466,58	-123,89	-139,83
	4000	395,79	775,24	312,03	183,09	88,08	763,70	4,32	-44,86
	5000	600,92	1075,24	517,16	335,05	216,29	1060,81	132,53	50,12

Tabla 3c. Valores de VAN (k€) para distintas hipótesis.

3.4 Análisis del VAN/Inversión

Este ratio determina la rentabilidad que se obtendría por cada euro invertido. En cuanto a la comparación entre aerogeneradores se aprecia que este ratio mejora (se hace mayor que la unidad) al aumentar el número de horas equivalentes de funcionamiento.

Del análisis del VAN/I con respecto a las horas equivalentes de funcionamiento, se obtiene que el óptimo es el Westwind 20 debido a que la inversión es menor en relación al VAN que proporciona, frente a los demás aparatos que consideramos. Figuras 5 y 6.

Por otra parte no se observa un aumento de sensibilidad ni relacionado con la potencia de los aerogeneradores ni con la modificación de costes, esto es debido que esta sensibilidad que sí era apreciable para el VAN, al influir en este parámetro un factor más, el coste de la inversión enmascara esta sensibilidad.

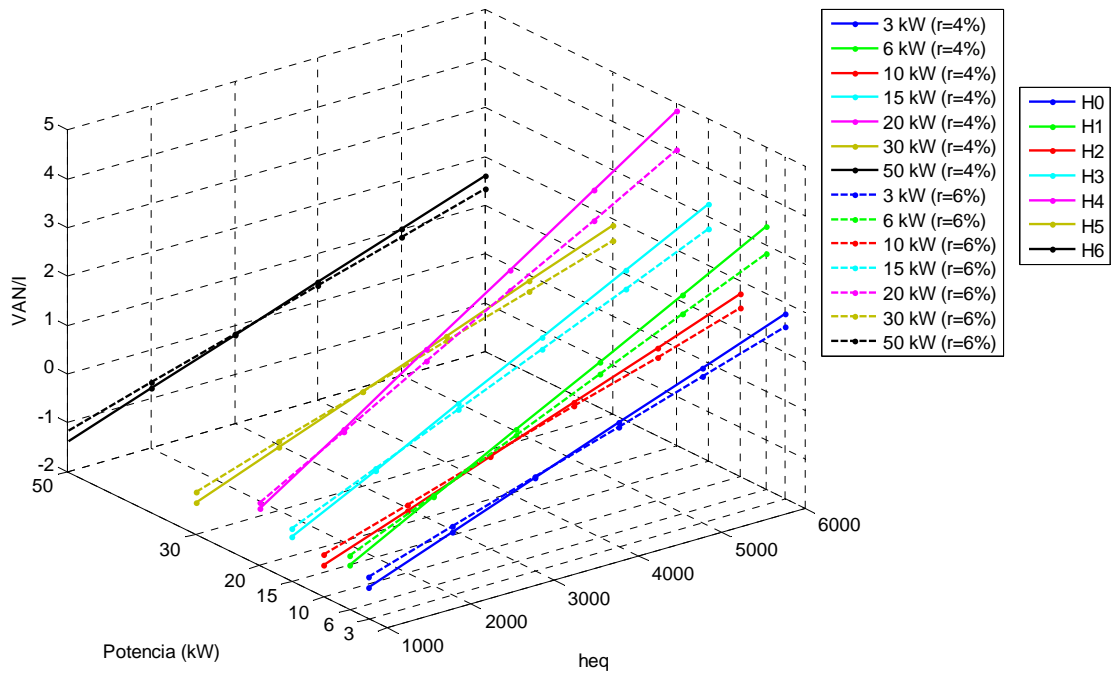


Figura 5. Variación del VAN/I en función de la tasa de actualización para 0,20 €/kW/h

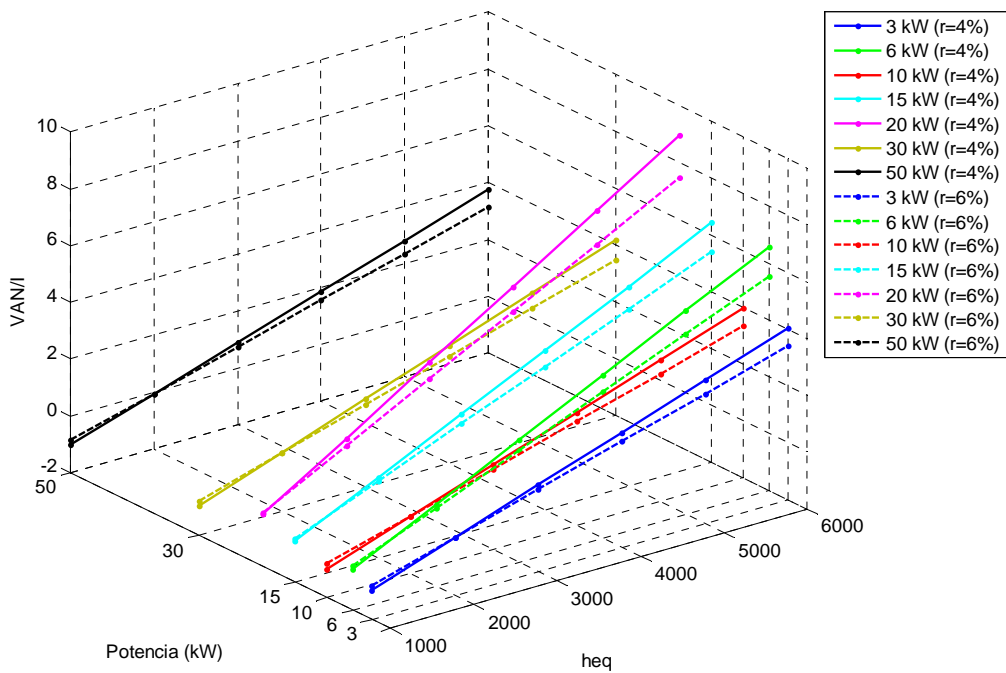


Figura 6. Variación del VAN/I en función de la tasa de actualización para 0,32 €/kW/h

3.5 Análisis de la tasa de actualización

Si la tasa actualización se incrementa de un 4% hasta un 6%, provoca que los valores del VAN, del TIR y del ratio VAN/I sean menores, del mismo modo, el período de recuperación del capital es mayor en el segundo caso. Figuras 5 y 6.

3.6 Análisis de comparativo: incremento coste- incremento precio de energía

El aumento del coste de un 4% para 1000 horas equivalentes de funcionamiento se contrarresta con el incremento del precio de la energía de 0,20 €/kWh a 0,32 €/kWh. No así, para mayores incrementos en las horas de funcionamiento. Ya que a más horas de funcionamiento es mayor el efecto positivo del incremento del precio de la energía que el negativo del aumento de costes.

4. Conclusiones

Del análisis de resultados del apartado anterior destacamos las siguientes conclusiones:

Se necesita que los aerogeneradores tengan un funcionamiento a potencia nominal de 2000 ó 3000 horas para recuperar el capital de inversión si partimos de un precio de la energía de 0,32 €/kWh, y de 4000 ó 5000 horas si tenemos un precio de venta de la energía eléctrica a la red inicial de 0,20 €/kWh, independientemente de la potencia de los aerogeneradores.

Observando el efecto en el TIR de un aumento del precio de la energía y de un incremento en los costes se extrae que, cuanto más desfavorable es la situación, mayor sensibilidad presenta este ratio económico. De modo que si un incremento en los beneficios de un 2% a un 4% supone una variación en el TIR de un 8,3% la variación entre las situaciones inicial y la situación de un incremento del 2% supone una variación del TIR de 14,8%.

Si el precio de la energía aumenta también lo hará el VAN. Este incremento es más acusado con el incremento del número de horas de funcionamiento respecto a que el precio de la energía fuese constante.

Referencias

[1] Manwell J.K., McGowan J.G., and Rogers A.L., "*Wind energy explained: Theory, design and application*", John Wiley and Sons, Chichester, 2002.

[2] Martí Pérez I., "*Desarrollo tecnológico de sistemas aislados con energía eólica*", CIEMAT, Madrid, 2003.

Correspondencia

Ramón Velo Sabín

Dirección: Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela, Campus universitario, 27002 Lugo, España.

Teléfono: 982285900 ext.23256

FAX: 982285926

E-mail: ramon.velo@usc.es