



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



DIMENSIONADO DE UN PARQUE DE ENERGÍA EÓLICA, ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. APLICACIÓN LA PROVINCIA DE TERUEL.

Memoria

Trabajo final de grado

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2015/16

Autor: Manuel Mena Jiménez

Tutor: Miguel Ángel Pérez Martín

Valencia, Mayo de 2016

TABLA DE CONTENIDO

1	Motivación del proyecto y objetivo	3
2	Localizaciones posibles	5
2.1	Criterios de localización	5
2.2	Localizaciones escogidas.....	8
3	Metodología	11
3.1	Metodología: Dimensionamiento Técnico	12
3.2	Metodología: Viabilidad económica.....	14
3.3	Metodología: Viabilidad ambiental.....	16
4	Dimensionamiento	17
5	Estimación de costes	21
6	Viabilidad económica	23
6.1	Viabilidad económica simple	23
6.2	Viabilidad económica compleja (préstamo bancario)	26
6.3	Viabilidad económica compleja (venta de bonos)	28
7	Estudio de Impacto ambiental.....	31
7.1	Inventario ambiental	31
7.1.1	Clima de la zona	31
7.1.2	Estudio del suelo	34
7.1.3	Estudio de la flora	36
7.1.4	Estudio de la fauna.....	39
7.1.5	Estudio del paisaje	45
7.1.6	Estudio socioeconómico	48

DIMENSIONADO DE UN PARQUE DE ENERGÍA EÓLICA, ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. APLICACIÓN LA PROVINCIA DE TERUEL.

7.2	Identificación de impactos	50
7.2.1	Fase de construcción.....	50
7.2.2	Fase de explotación.....	51
7.2.3	Factores susceptibles de ser afectados.....	52
7.3	Valoración de impacto.....	55
7.4	Medidas correctoras.....	57
7.4.1	Medidas eliminatorias y atenuantes del impacto.....	57
7.4.2	Medidas compensatorias.....	57
7.4.3	Valoración de Impactos con las medidas correctoras	57
8	Elección de localización favorable	59
9	Conclusión	63
10	Referencias	67

1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO Y OBJETIVO

La motivación de este trabajo se encuentra en las previsiones de una creciente demanda energética en España en los próximos años. Aunque pueda parecer, si se observan los datos de los últimos años, que esta afirmación es errónea, el estancamiento en la demanda energética es temporal y se debe a dos motivos:

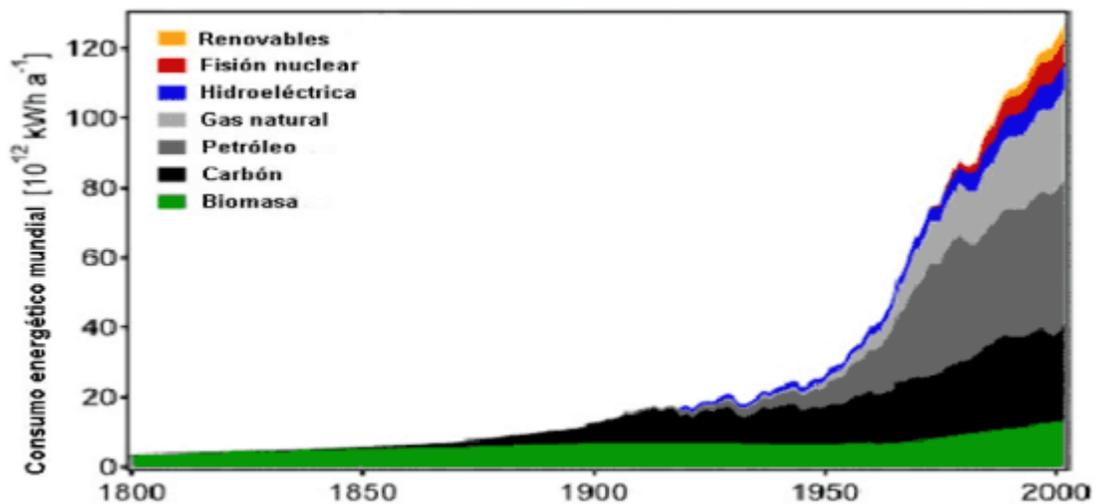


Figura 1. Evolución en los últimos siglos del consumo energético.

El primero, la situación coyuntural de crisis económica, que ha reducido el sector industrial español, y mucho más drástica ha sido la reducción del sector de la construcción y el turismo, este último ya en proceso de rápida recuperación.

El otro motivo es la mejora en la eficiencia energética, que ha hecho que, aunque realmente se necesite más energía, se pierde menos en los procesos de generación y transporte de la misma. De ahí que la demanda no haya crecido.

No obstante, una vez se vaya recuperando la situación económica normal, y se haya llegado al nivel de eficiencia energética que la tecnología permita, las previsiones efectuadas dicen que hasta el año 2030 la demanda mundial de energía aumentará a un ritmo aproximado del 1,8% anual.

A la hora de satisfacer esta futura demanda, es preciso tener en cuenta también el estado actual del medio ambiente, que es una de las principales preocupaciones a nivel mundial. Por ello, es conveniente explotar las energías menos agresivas con el medio ambiente, entre ellas la energía eólica, que es la que hemos elegido para nuestro estudio al ser una energía ya presente en España, y en concreto en el territorio en la que vamos a situar nuestro parque.

Finalmente, debe atenderse también a las necesidades económicas del país. España tiene un balance económico negativo, debido principalmente a su escaso recurso energético, y en consecuencia su alta importación de petróleo. De ello deriva la necesidad de implantar un sistema energético basado en recursos disponibles, para evitar dentro de lo posible que ese balance negativo se agrave.

A raíz de estas observaciones, se ha llegado a la conclusión de que es conveniente invertir en la construcción de parques eólicos en España. Precisamente por esto, en este trabajo se realizará el dimensionamiento de un parque eólico de 40 MW de potencia, que satisfaga las futuras demandas energéticas de la manera más limpia posible y generando una riqueza para el país. No llegará este trabajo a un diseño completo del parque, pues no es un proyecto, sino que son unos estudios previos, en los que a parte del dimensionamiento técnico, se buscará la localización más idónea para el futuro parque atendiendo a criterios técnicos, económicos y medio ambientales.

2 LOCALIZACIONES POSIBLES

2.1 CRITERIOS DE LOCALIZACIÓN

Para el diseño del parque se han seleccionado tres posibles localizaciones, de las cuales saldrá la opción más favorable atendiendo a los criterios técnicos, económicos y ambientales, que se desarrollarán más adelante. Estas tres localizaciones iniciales se han escogido por diversos motivos.

El primer motivo, que es el que delimita las provincias españolas dónde conviene colocar el parque, es la distribución de demanda energética en España. Puesto que el parque no quiere satisfacer una demanda actual, conocida y localizada, sino que se está diseñando para una previsible necesidad futura, ha de situarse cercano a los puntos de mayor demanda, que es donde con mayor probabilidad se necesitará en un futuro. Estos puntos de demanda son principalmente dos, Madrid y Barcelona, aunque encontramos dos puntos secundarios, Valencia y País Vasco. En el centro geográfico de estos cuatro puntos se sitúa la provincia de Teruel, por lo que se escogerán localizaciones favorables en esa demarcación.

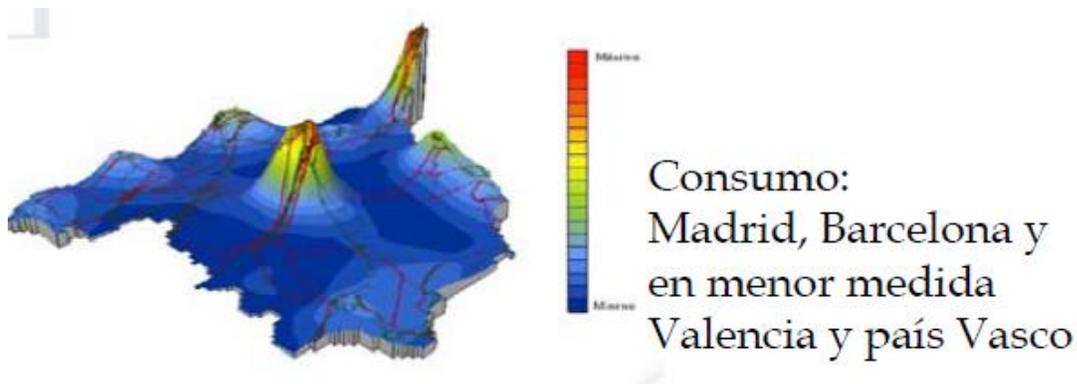


Figura 2. Distribución del consumo energético nacional.

Otro criterio, que apoya la conclusión del primero, es buscar líneas de distribución existentes que reduzcan la inversión, de manera que el parque salga más rentable. Puesto que Teruel ya consta de parques eólicos, esas redes de distribución ya existen.



Figura 3. Mapa de situación a nivel nacional.

Un tercer criterio, un criterio de descarte, sería la existencia de espacios naturales protegidos, en especial los pertenecientes a la *Red Natura 2000*, que tienen un nivel de protección muy elevado.

Además, se evitarán los espacios poblados o con poblaciones cercanas.

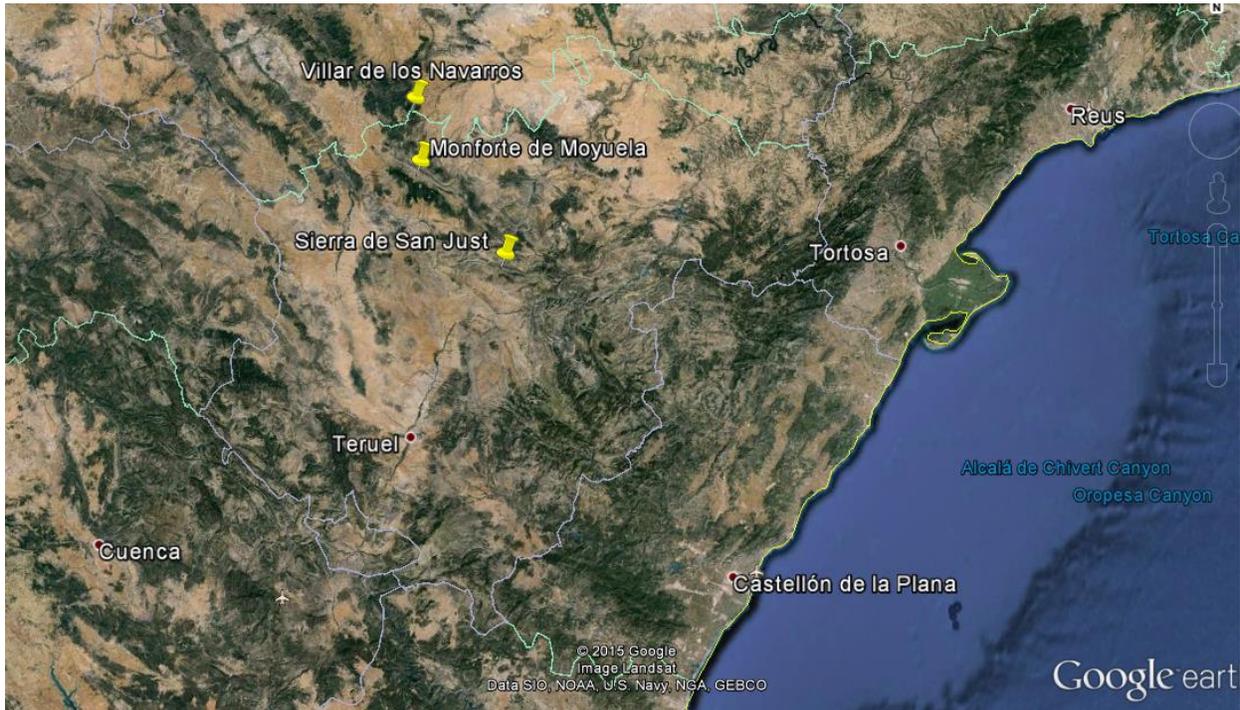


Figura 4. Mapa de situación a nivel provincial.

Finalmente, en las zonas delimitadas por estos criterios, buscaremos los puntos con mayor recurso eólico.

2.2 LOCALIZACIONES ESCOGIDAS

Siguiendo los criterios ya mencionados se han escogido tres localizaciones. De esas localizaciones extraeremos los datos referentes al recurso eólico proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, las constantes de Weibull que utilizaremos para el dimensionamiento técnico. Los datos proporcionados por el Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía son para unas alturas de 30, 60, 80 y 100 metros de altura de molino. En nuestro caso escogeremos la de 100 metros y corregiremos con la altura de nuestros molinos. Las localizaciones son:

1. Sierra de San Just. En esta localización encontramos molinos de viento, por lo que parece una localización idónea. Previsiblemente el impacto sobre el medio será menor que en una zona natural, y la inversión inicial será menor, al no necesitar caminos de servicio y existir ya una estación eléctrica.

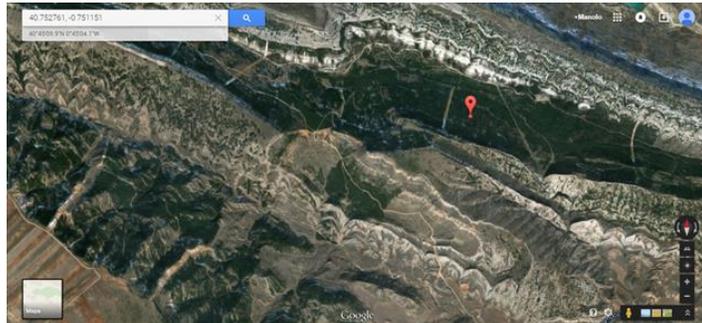


Figura 5. Vista aérea.

La población más cercana la encontramos a xxx km, fuera del alcance sonoro de los molinos.

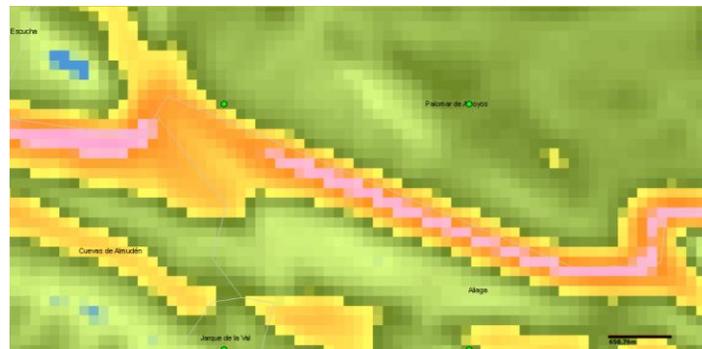


Figura 6. Vista aérea con velocidades de vientos.

Las constantes de Weibull “C” y “k” para 100 metros de altura y la rugosidad son:

$$C \rightarrow 9.22$$

$$K \rightarrow 1.912$$

$$\gamma \rightarrow 0.1$$

2. Monforte de Moyuela. Cercano a la población del mismo nombre, presenta unas cualidades idóneas para la instalación de un parque eólico, cumpliendo todos los criterios anteriormente mencionados, tiene un bajo valor natural-paisajístico, y un alto recurso eólico.

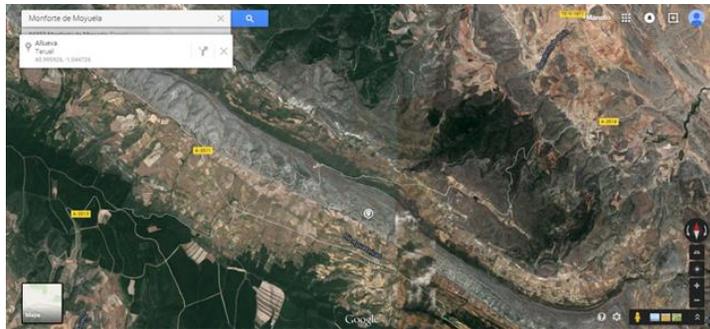


Figura 7. Vista aérea.

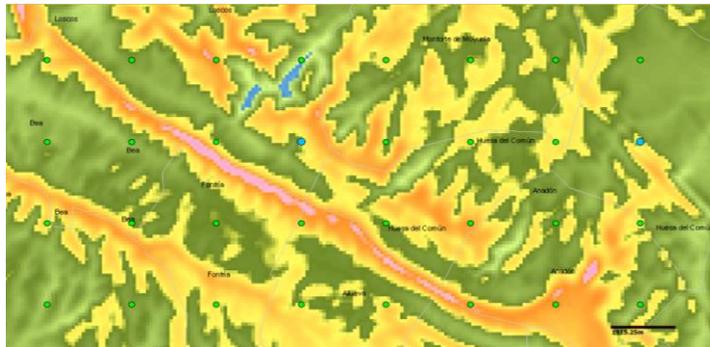


Figura 8. Vista aérea con velocidades de vientos.

Las constantes de Weibull “C” y “k” para 100 metros de altura y la rugosidad son:

$$C \rightarrow 9.28$$

$$K \rightarrow 2.07$$

$$\gamma \rightarrow 0.1$$

3. Villar de los Navarros. Esta última localización, en el linde de la provincia de Teruel, es una colina con un recurso eólico alto, y acceso cercano de carreteras, que disminuiría la inversión en obras de acceso y servicio.

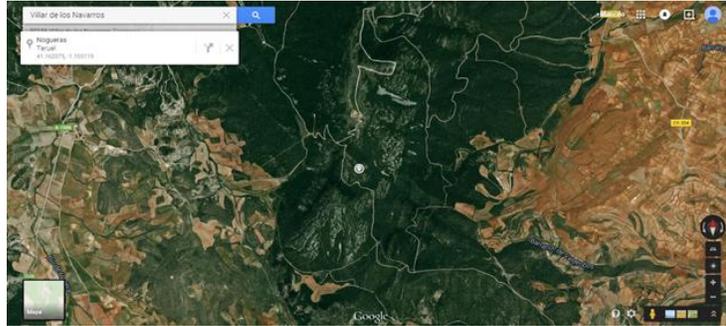


Figura 9. Vista aérea.

Las constantes de Weibull “C” y “k” para 100 metros de altura y la rugosidad son:

$$C \rightarrow 10.72$$

$$K \rightarrow 2.138$$

$$\gamma \rightarrow 0.2$$

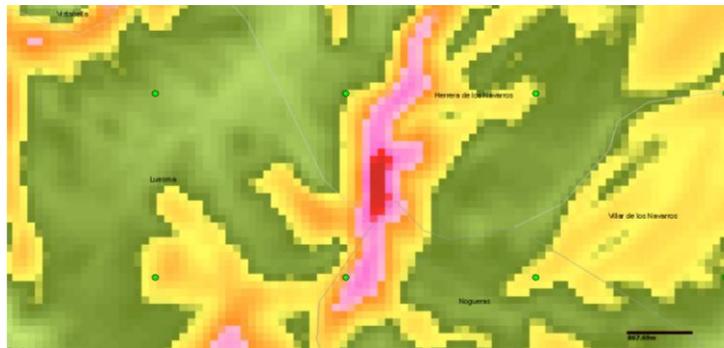


Figura 10. Vista aérea con velocidades de vientos.

Se tendrá una especial atención al estudio del impacto visual que pueda causar el parque, así como el socio-económico, ya que en la colina existe una infraestructura con valor histórico, que genera ingresos económicos en las poblaciones cercanas debido al turismo cultural.

De dichas localizaciones se seleccionará la más idónea.

3 METODOLOGÍA

En el desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado se seguirá la siguiente metodología:

1. Para llegar a la opción más eficiente se realizarán todos los estudios en las tres localizaciones elegidas, utilizando tres modelos diferentes de aerogeneradores, con las siguientes potencia:
 - a. Enercon E-101, de potencia 3 MW
 - b. Gamesa G-132, de potencia 5 MW
 - c. Enercon E-126, de potencia 7.5 MW
2. Se realizará un dimensionamiento del parque para los nueve supuestos.
3. Estimación de la viabilidad económica del parque en los nueve casos, teniendo en cuenta diferentes formas de financiación del proyecto.
4. Realización del Estudio de Impacto Ambiental.
5. Mediante una matriz multicriterio se seleccionará la opción más favorable.

3.1 METODOLOGÍA: DIMENSIONAMIENTO TÉCNICO

Dentro de la metodología general ya expuesta, en el dimensionamiento técnico del parque se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Corrección de la constante “C” de Weibull obtenida del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, a partir de la siguiente fórmula:

$$C' = C \times \frac{\log \frac{h_b}{\gamma}}{\log \frac{100}{\gamma}}$$

Siendo:

C → la constante de Weibull a 100 metros del suelo.

C' → la constante de Weibull a la altura de buje.

h_b → la altura de buje.

γ → la rugosidad.

2. Una vez corregida la constante “C” de Weibull, y a partir de “C” y “k” obtendremos la probabilidad acumulada de que se den unas velocidades del viento a lo largo del año. Para ello seguiremos la fórmula de la distribución de Weibull siguiente:

$$F = 1 - e^{-\left(\frac{x}{C'}\right)^k}$$

Siendo:

C' → una constante de Weibull.

k → una constante de Weibull.

x → la velocidad del viento.

De esta manera se obtiene la densidad de las velocidades del viento a lo largo del año.

3. Partiendo de las curvas de producción en función de la velocidad del viento de los aerogeneradores, proporcionadas por el fabricante, obtener las curvas de producción en las condiciones de la localización del parque. Para ello primero calcular la densidad del aire según:

$$\rho = \left(\rho_{ref} \times e^{\frac{h_{msnm}}{8435}} \right) - \left(\frac{t - 15}{288} \right)$$

Siendo:

P_{ref} → la densidad de referencia, igual a 1.225.

h_{msnm} → la altura del molino sobre el nivel del mar.

t → la temperatura media del lugar en C°

Y a continuación corregir las curvas, sabiendo que la relación entre la producción real y la teórica es igual a la relación entre densidad real y densidad de referencia.

4. Una vez obtenida la distribución de horas al año de las velocidades del viento, y sabiendo lo que los aerogeneradores producen en cada velocidad, calcular la producción anual del aerogenerador siendo:

$$P = \sum (h_{vi} \times p_i)$$

Siendo:

P → la producción total anual.

h_{vi} → las horas de viento anuales a una velocidad determinada.

p_i → la producción corregida de un aerogenerador para una velocidad determinada.

5. Una vez obtenida la producción, es posible calcular el factor de uso del aerogenerador. Para ello calcular una producción teórica máxima, aquella que se produciría si en todas las horas del año tuviéramos la velocidad del viento que da rendimiento pleno al aerogenerador. El factor de uso será:

$$f = \frac{P/P_{m\acute{a}x}}{8760}$$

Siendo:

f → el factor de uso.

$P_{m\acute{a}x}$ → la producción máxima anual.

P → la producción total anual.

6. A partir del factor de uso y la producción anual decidir qué modelo de aerogenerador es mejor en cada caso, y elegir la opción técnicamente más favorable.

3.2 METODOLOGÍA: VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica del proyecto se realizará para cada caso, y con tres formas de financiación diferente. Las tres formas de financiación son:

1. Financiación con capital propio. En este caso suponer que el promotor del parque dispone de todo el capital necesario a invertir, por lo que no hay costes de financiación.
2. Financiación externa del 80% de la inversión.
 - a. Financiado mediante préstamo bancario. En este supuesto se tendrán en cuenta las devoluciones de las letras anuales, así como el pago anual de los intereses.
 - b. Financiación mediante emisión de bonos. A diferencia del préstamo bancario, en la financiación mediante bonos solo se tendrá en cuenta el pago de los intereses anuales, el pago de la deuda se realizará en un solo movimiento al final del plazo acordado.

Ambos casos se han calculado en un plazo de devolución de quince años.

Independientemente de la forma de financiación el procedimiento a seguir es el mismo, la búsqueda del TIR, el VAN, el IR y el Pay-back.

1. Sabiendo la producción anual del aerogenerador, y la potencia del parque, calcular los aerogeneradores necesarios.
2. En función del coste de la unidad de aerogenerador, y el coste de la subestación eléctrica en función de la potencia instalada, obtener el valor de la inversión inicial.
3. Calcular el flujo de caja de los próximos veinte años. Para los gastos tener en cuenta el coste de explotación en función de la potencia instalada, y si fuera el caso el coste de financiación. Los ingresos los se estiman a partir de la producción anual, y en base a un precio previsto de la energía.
4. A partir del flujo de caja despejar el valor actual neto (VAN), es decir, los beneficios a lo largo de los veinte años descontando el coste de oportunidad, a partir de la formula siguiente:

$$VAN = \sum \frac{F_i}{(1 + C)^i}$$

Siendo:

F_i → el resultado del ejercicio de un año.

C → el coste de oportunidad.

5. Para calcular la tasa interna de retorno (TIR), es decir, el coste de oportunidad por el que la inversión deja de ser rentable, buscaremos el caso en que el VAN sea cero.
6. El índice de rentabilidad (IR) es la relación entre el beneficio y la inversión inicial.
7. El Pay-back es el tiempo que se tarda en empezar a ganar dinero, los ejercicios necesarios para recuperar la inversión inicial

A partir de estos datos obtenidos elegir la mejor opción, tomando como factor principal el VAN.

3.3 METODOLOGÍA: VIABILIDAD AMBIENTAL

El Estudio de Impacto ambiental consta principalmente de cuatro fases:

1. Inventario ambiental. Se realiza un estudio de las localizaciones elegidas para inventariar las condiciones climáticas, calidad del suelo, flora y fauna, descripción paisajística y socioeconómica.
2. Identificación de impactos. Tanto en la fase de construcción como en explotación se realizará una identificación de los impactos que se van a producir, teniendo en cuenta las acciones que se realizan tanto en las diferentes fases de obra como en la vida del parque eólico. No es necesario tener en cuenta la fase de abandono al esperar del parque una vida útil de veinte años, en un futuro se realizará si es necesario con las condiciones del momento. La realización de este apartado seguirá el esquema:
 - a. Identificación de acciones susceptibles de producir impactos.
 - b. Identificación de los factores ambientales que reciben el impacto.
 - c. Identificación de los impactos ambientales.
3. Valoración de impactos. Identificados los impactos se valorará según su magnitud y su incidencia. La magnitud depende de la importancia del impacto, según el valor del objeto que se ve afectado, valorada de uno a tres. La incidencia depende de las características del impacto: directo o indirecto, reversible o irreversible, temporal o definitivo, reparable o irreparable, continuo o discontinuo, valorada de uno a treinta. La valoración final será:

$$v = \sum m_j \times i_j$$

Siendo:

$v \rightarrow$ la valoración de impactos.

$m_j \rightarrow$ la magnitud del impacto para cada acción.

$i_j \rightarrow$ la incidencia del impacto para cada acción.

4. Medidas correctoras. Una vez conocidos y valorados los impactos se aplicarán unas medidas correctoras para reducir los efectos del impacto.
5. Repetir la valoración de impactos y comparar los tres casos.

4 DIMENSIONAMIENTO

Una vez realizado el procedimiento indicado obtenemos las curvas de producción de los aerogeneradores en cada caso, que resultan ser:

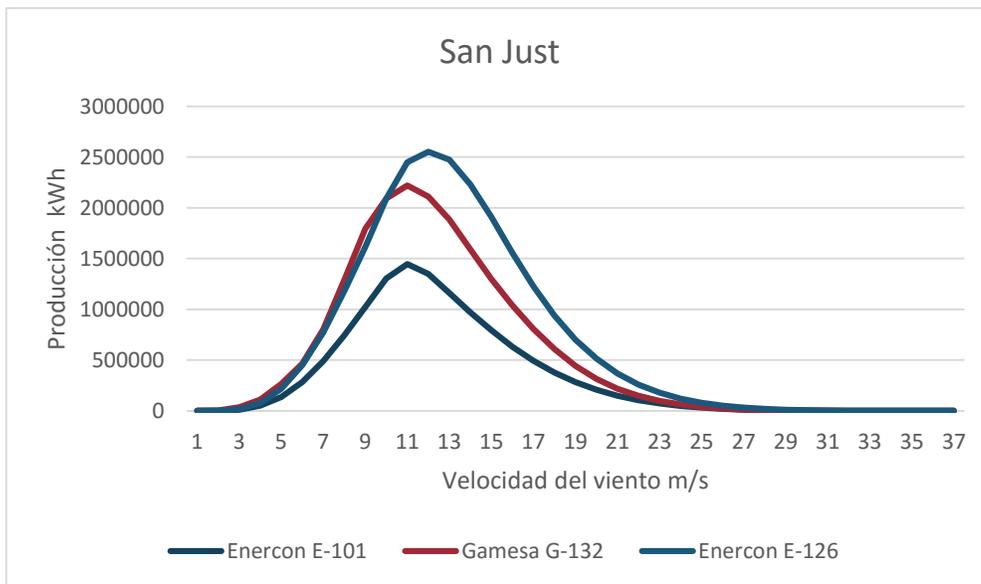


Figura 11. Curvas de producción en Sierra de San Just..

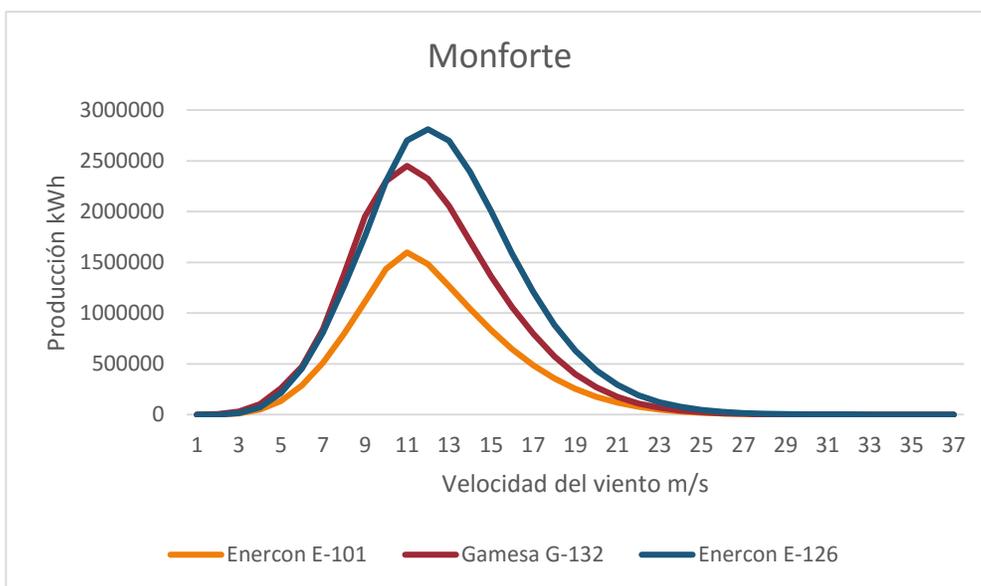


Figura 12. Curvas de producción en Monforte de Moyuela..

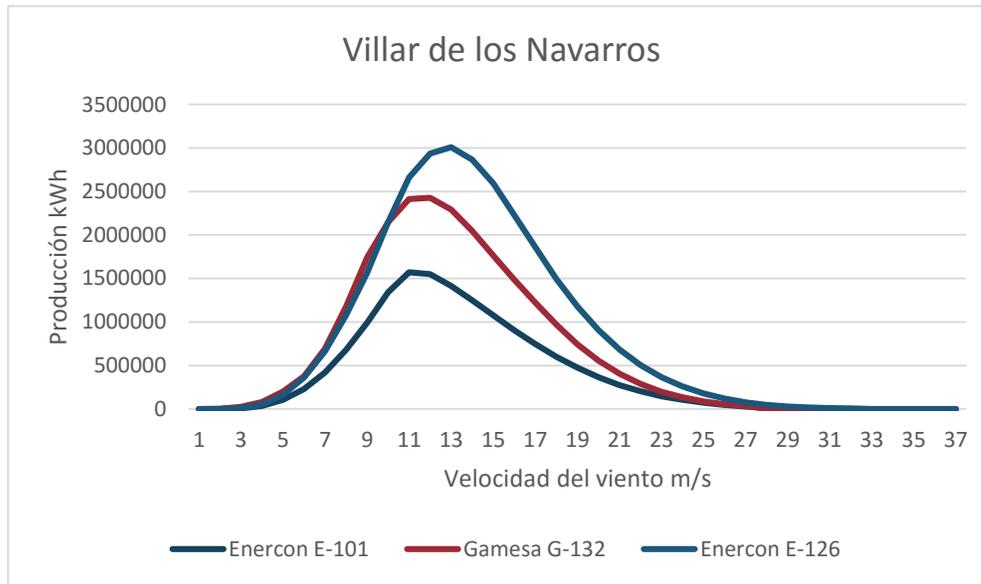


Figura 13. Curvas de producción en Villar de los Navarros.

Según las curvas de producción en todos los casos observados el Enercon E-101 es el aerogenerador que menos genera, debido a que tiene la menor potencia, además de una deficiencia frente a los vientos de bajas velocidades. No obstante las velocidades óptimas de este modelo son más cercanas a las velocidades normales en las localizaciones escogidas, por lo que resultará ser el que tenga mayor factor de uso.

Dadas las curvas de producción, se obtiene la producción anual de cada aerogenerador:

Producción anual (Gwh)		Enercon E-101	Gamesa G-132	Enercon E-126
Monforte de Moyuela		12	20	25
Villar de los Navarros		14	23	30
San Just		12	19	24

Figura 14. Producción anual por aerogenerador y localización en Gwh.

De estos resultados el mejor es Villar de los Navarros con un aerogenerador Enercon E-126. También se buscará el mejor caso según el factor de uso:

Factor de uso	Enercon E-101	Gamesa G-132	Enercon E-126
Monforte de Moyuela	57%	56%	44%
Villar de los Navarros	65%	63%	53%
San Just	55%	54%	44%

Figura 15. Factor de uso por aerogenerador y localización.

En cuyo caso la mejor solución es Villar de los Navarros con un aerogenerador Enercon E.101.

Todas las posibilidades se estudiarán tanto desde el punto de vista económico como ambiental, pero se tendrá especial atención a estos dos casos.

5 ESTIMACIÓN DE COSTES

Al ser un estudio previo, y no habiendo entrado en detalle el diseño del parque, la estimación de costes se realizará a la alza para dar mayor margen de seguridad a las previsiones.

Se diferencian tres costes principalmente:

1. Costes de inversión. Este supone el coste principal del parque, muy superior a las otras partidas. Es un coste inicial, referente al desembolso inicial para la instalación del parque eólico. Por una parte hay que tener en cuenta el coste de los aerogeneradores, tanto adquisición como montaje, que irá en relación al modelo: Se atenderá al precio del aerogenerador marcado por el fabricante y añadiendo un coste estimado de montaje en obra. Resultando:

E-101 3MW:

Aerogenerador: 3,2 millones de €/ud

Puesta en obra: 200.000 €/ud

Instalación eléctrica: 100.000 €/ud

Total: 3,4 millones de €/ud.

G-132 5 MW:

Aerogenerador: 6,1 millones de €/ud.

Puesta en obra: 250.000 €/ud

Instalación eléctrica: 150.000 €/ud

Total: 6,5 millones de €/ud.

E-126 7.5 MW:

Aerogenerador: 10,8 millones de €/ud

Puesta en obra: 300.000 €/ud

Instalación eléctrica: 200.000 €/ud

Total: 11,3 millones de €/ud.

Por otra parte el coste de la subestación eléctrica y las líneas de distribución que dependerán de la potencia instalada:

Subestación: 150.000 €/MW

Líneas de distribución: 50.000 €/MW

Total: 200.000 €/MW

2. Costes de explotación. Muy inferior al coste de inversión, es el referente al mantenimiento y funcionamiento normal del parque eólico. Dependerá de la potencia instalada:

Personal y mantenimiento: 10.000 €/MW

Gastos administrativos: 1.200 €/MW

Impuestos de generación de energía eléctrica: 8.000 €/MW

Total: 19.200 €/MW

3. Costes de financiación. Los costes de financiación referidos principalmente a los cálculos de viabilidad económica suponiendo un capital externo del 80%. Calculado de dos formas diferentes:

Mediante préstamo bancario: Con un interés del 3% anual, además de la devolución del capital prestado repartida en 15 pagas anuales.

Mediante venta de bonos: Con un interés del 2% anual, además de la devolución del capital prestado en un pago al quinceavo año.

4. Coste de oportunidad. En economía, el costo de oportunidad o coste alternativo designa el coste de la inversión de los recursos disponibles, en una oportunidad económica, a costa de la mejor inversión alternativa disponible, o también el valor de la mejor opción no realizada. En este trabajo se ha tomado un coste de oportunidad del 4%.

6 VIABILIDAD ECONÓMICA

6.1 VIABILIDAD ECONÓMICA SIMPLE

Para calcular la viabilidad económica se ha obtenido el número de aerogeneradores a partir de las potencias proporcionadas por los fabricantes, para llegar a la potencia buscada en el parque. Y a partir del número de aerogeneradores y la potencia del parque se obtiene el coste de inversión en cada caso.

La viabilidad económica simple, calculada suponiendo el total del capital como propio. En este supuesto los beneficios supuestos a partir del valor actual neto (VAN) son mayores. En consecuencia, la tasa interna de retorno (TIR) será mayor.

A partir de estos dos datos la opción de un capital propio es la más viable. El VAN indica que es la opción con más beneficios y el TIR que es la opción con un menor riesgo.

Observando los otros indicadores, el índice de rentabilidad (IR) muestra que invertir capital propio, aun siendo un mayor beneficio, la relación beneficio-inversión inicial es menor. El último indicador, el Pay-Back, da unos resultados de aproximadamente siete u ocho años en todos los casos, muy superior a los resultados con capital externo.

	Enercon E-101	Gamesa G-132	Enercon E-126
Monforte de Moyuela	VAN: 60,9 M€ TIR: 14,3% IR: 1,10 € P-B: 8 años	VAN: 47,4 M€ TIR: 11,7% IR: 0,79 € P-B: 16 años	VAN: 20,2 M€ TIR: 6,8% IR: 0,27€ P-B: 15 años
Villar de los Navarros	VAN: 78,1 M€ TIR: 16,6% IR: 1,37 € P-B: 8 años	VAN: 63,3 M€ TIR: 14,0% IR: 1,06 € P-B: 11 años	VAN: 41,8 M€ TIR: 9,5% IR: 0,55 € P-B: 15 años
Sierra de San Just	VAN: 55,2 M€ TIR: 13,5% IR: 0,99 € P-B: 9 años	VAN: 41,9 M€ TIR: 10,9% IR: 0,70 € P-B: 10 años	VAN: 16,4 M€ TIR: 6,3% IR: 0,22 € P-B: 16 años

Figura 16. Indicadores económicos.

Observando los resultados, el caso más viable coincide con el caso con mayor factor de uso, Villar de los Navarros con aerogeneradores Enercon E-101, y como menos rentable el aerogenerador que más produce. Para mayor seguridad, en el caso seleccionado se ha realizado un análisis de sensibilidad, en el que se ha comparado el coste de oportunidad actual, de un 4%, con un posible coste de oportunidad del 6%, quedando las siguientes figuras:

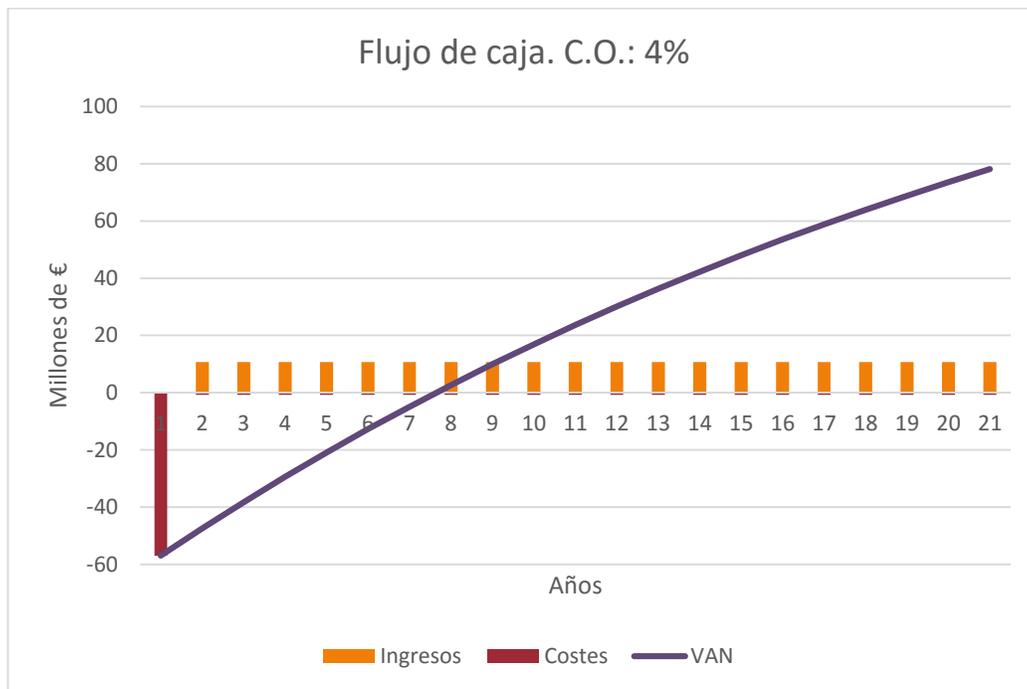


Figura 17. Flujo de caja con coste de oportunidad del 4%..

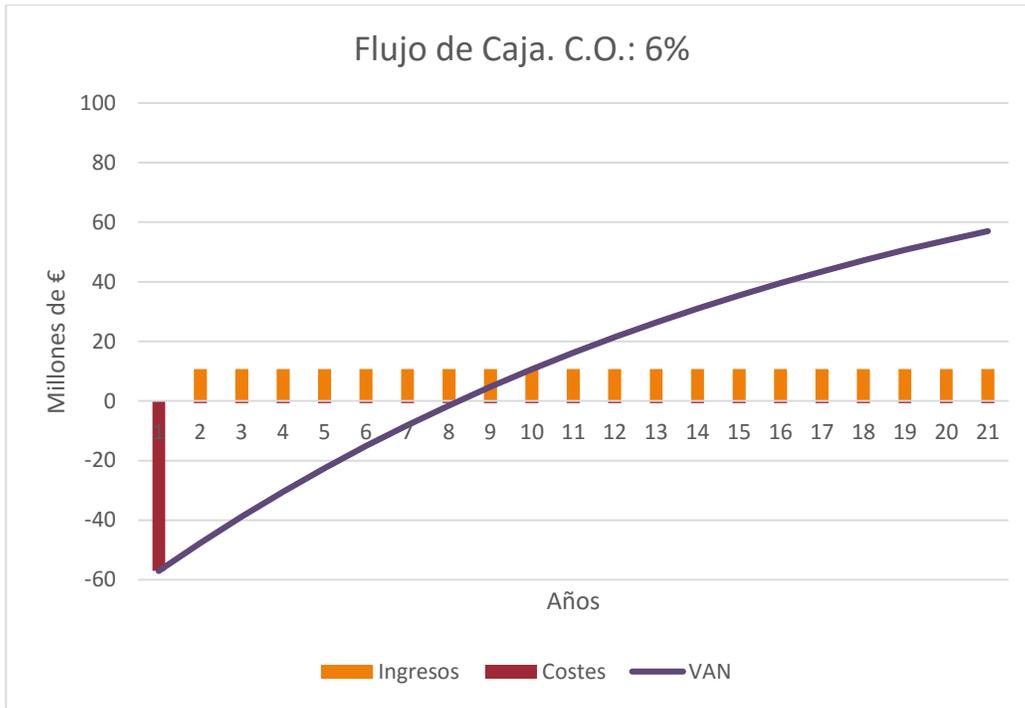


Figura 18. Flujo de caja con coste de oportunidad del 6%.

6.2 VIABILIDAD ECONÓMICA COMPLEJA (PRÉSTAMO BANCARIO)

En este caso se estudia la viabilidad económica suponiendo un capital propio del 20%, y el resto financiado mediante un préstamo bancario a un interés del 3%. Los pagos se fraccionarán en pagos anuales de igual coste.

Tanto el VAN como el TIR son inferiores a los cálculos de viabilidad económica simple. En el IR sí que se muestra como una opción más viable, la relación beneficios-inversiones es mucho mayor, llegando en el caso más rentable a pasar de 1,37 € de beneficio por euro invertido a 6,13 €. En cuanto al Pay-Back, queda reducido en todos los casos, siendo de 2 a 5 años.

Préstamo	Enercon E-101	Gamesa G-132	Enercon E-126
Monforte de Moyuela	VAN: 49,5 M€ TIR: 11,3% IR: 4,45 €	VAN: 35,1 M€ TIR: 9,0% IR: 2,93 €	VAN: 4,6 M€ TIR: 4,6% IR: 0,31 €
Villar de los Navarros	VAN: 68,12 M€ TIR: 13,7% IR: 6,13 €	VAN: 54,0 M€ TIR: 11,0% IR: 4,26 €	VAN: 26,2 M€ TIR: 7,0% IR: 1,73 €
Sierra de San Just	VAN: 43,85 M€ TIR: 10,5% IR: 3,94 €	VAN: 29,6 M€ TIR: 8,3% IR: 2,74 €	VAN: 0,92 M€ TIR: 4,1% IR: 0,06 €

Figura 19. Indicadores económicos.

La opción más rentable no varía según el modo de financiación elegido, Villar de los Navarros con aerogeneradores Enercon E-101. Para mayor seguridad, en el caso seleccionado se ha realizado un análisis de sensibilidad, en el que se ha comparado el coste de oportunidad actual, de un 4%, con un posible coste de oportunidad del 6%, quedando las siguientes figuras:

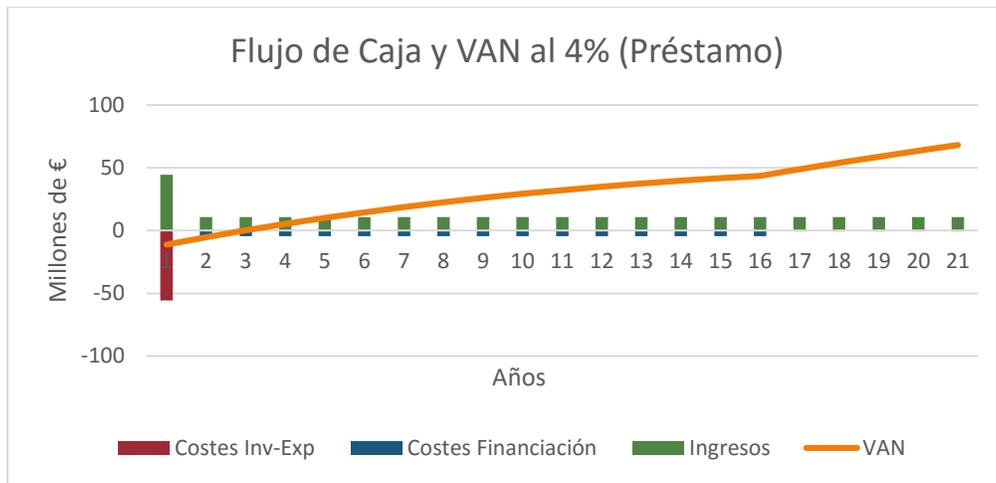


Figura 20. Flujo de caja con coste de oportunidad del 4%.

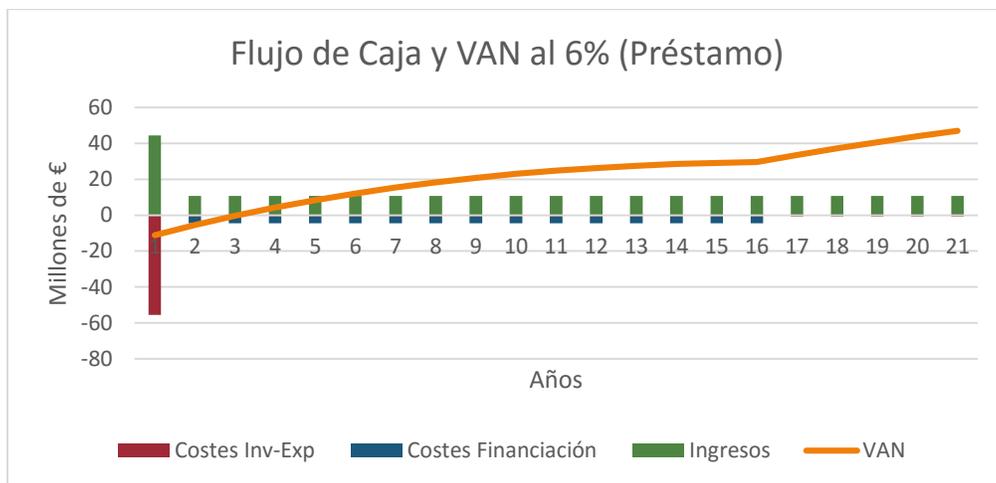


Figura 21. Flujo de caja con coste de oportunidad del 6%.

6.3 VIABILIDAD ECONÓMICA COMPLEJA (VENTA DE BONOS)

La viabilidad económica a partir de una financiación mediante venta de bonos a quince años. Los bonos se devuelven a un interés del 2%, devolviendo cada año los intereses y el capital prestado en un solo pago al vencimiento de los bonos.

Es la opción menos rentable de las tres. La mayor ventaja es el retraso del pago del préstamo. El resto de indicadores económicos (VAN, TIR e IR) son menos ventajosos que en la financiación mediante préstamo bancario.

Bonos	Enercon E-101	Gamesa G-132	Enercon E-126
Monforte de Moyuela	VAN: 47,5 M€ TIR: 10,9% IR: 4,28 €	VAN: 33,0 M€ TIR: 8,6% IR: 2,75 €	VAN: 2,0 M€ TIR: 4,2% IR: 0,14 €
Villar de los Navarros	VAN: 66,1 M€ TIR: 13,2% IR: 5,95 €	VAN: 48,9 M€ TIR: 10,5% IR: 4,08 €	VAN: 23,63 M€ TIR: 6,7% IR: 1,56 €
Sierra de San Just	VAN: 41,9 M€ TIR: 10,1% IR: 3,77€	VAN: 27,5 M€ TIR: 7,9% IR: 2,30 €	VAN: -1,7 M€ TIR: 3,7% IR: -0,11 €

Figura 22. Indicadores económicos.

La elección entre los diferentes métodos de financiación dependerá de los intereses del promotor. Para mayor seguridad, en el caso seleccionado se ha realizado un análisis de sensibilidad, en el que se ha comparado el coste de oportunidad actual, de un 4%, con un posible coste de oportunidad del 6%, quedando las siguientes figuras:

DIMENSIONADO DE UN PARQUE DE ENERGÍA EÓLICA, ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. APLICACIÓN LA PROVINCIA DE TERUEL.

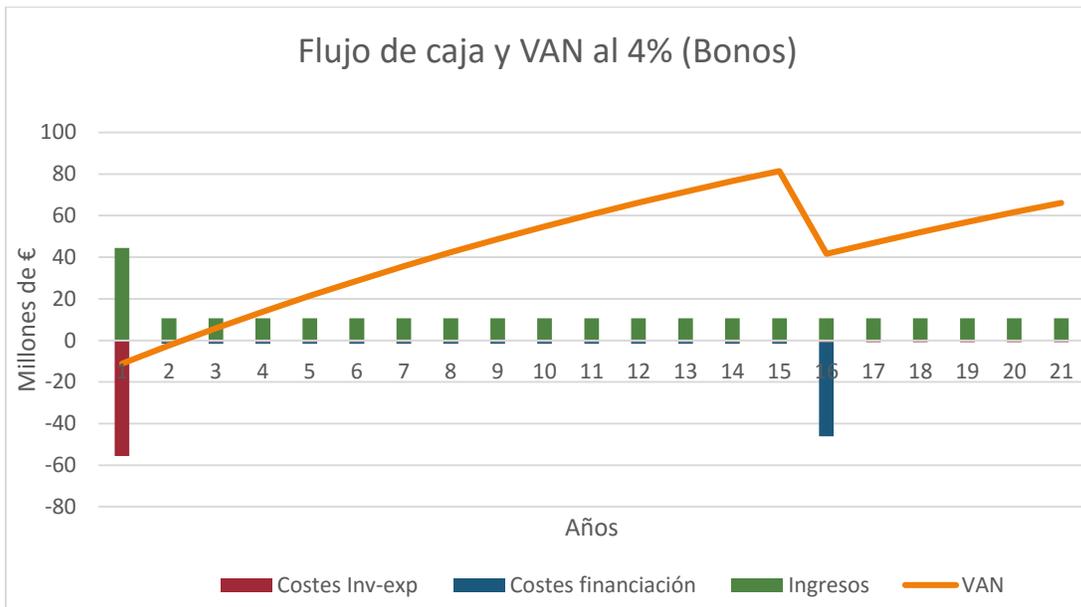


Figura 23. Flujo de caja con coste de oportunidad del 4%.

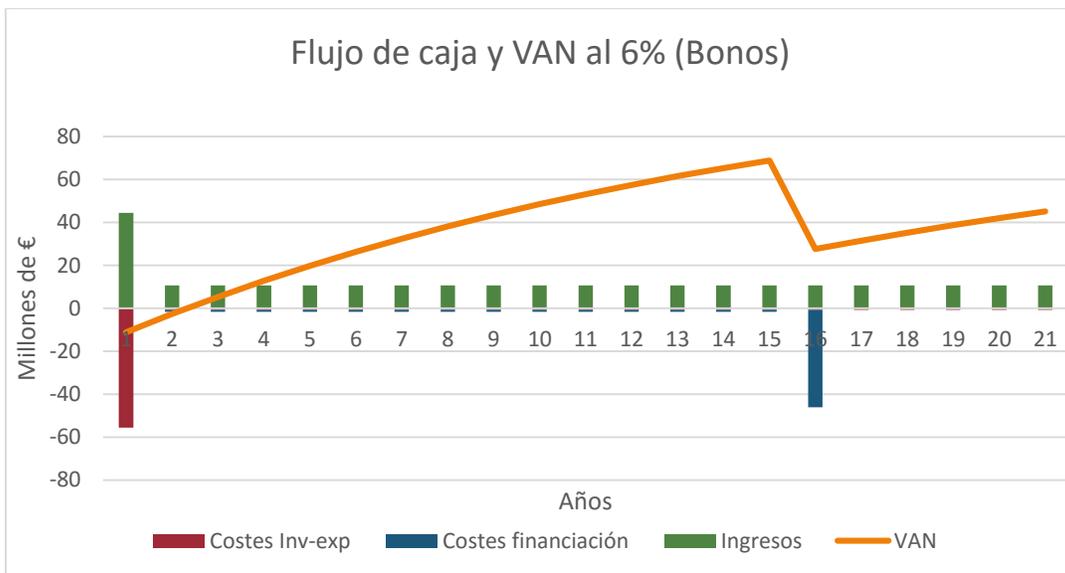


Figura 24. Flujo de caja con coste de oportunidad del 6%.

7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

7.1 INVENTARIO AMBIENTAL

7.1.1 Clima de la zona

Al igual que otras zonas de España, Teruel consta de un clima continental, con unas características específicas de sequedad y limpieza del aire, así como unas temperaturas diurnas más altas durante el invierno. Las temperaturas de Teruel durante las noches invernales son las más bajas en una capital de provincia española, no siendo así las diurnas, superiores a otras ciudades de altitud similar. Para la mayor parte de la provincia las temperaturas se mueven entre los 9 y los 12 °C.

El régimen de precipitaciones ronda los 400-450 litros por metro cuadrado al año, valores comparables a otras zonas de la España mediterránea, a pesar de que la provincia solo recibe de manera parcial la influencia mediterránea.

Teruel es una zona de altas presiones. Según los datos observados la presión atmosférica de Teruel es superior a la que correspondería a su altitud.

La distribución de temperaturas medias y precipitaciones anuales de la comunidad de Aragón se muestra en las siguientes figuras:

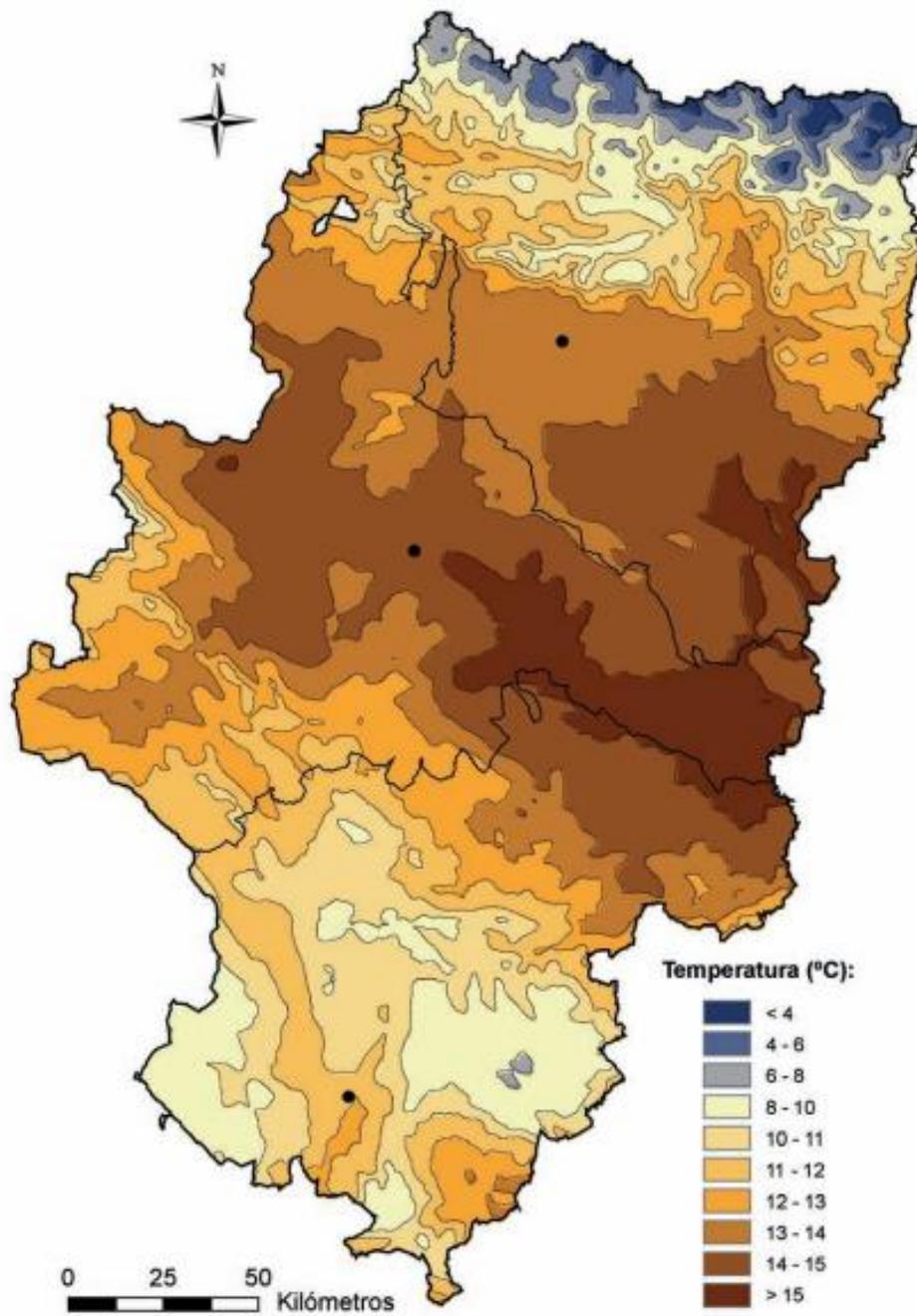


Figura 25. Temperatura media anual.

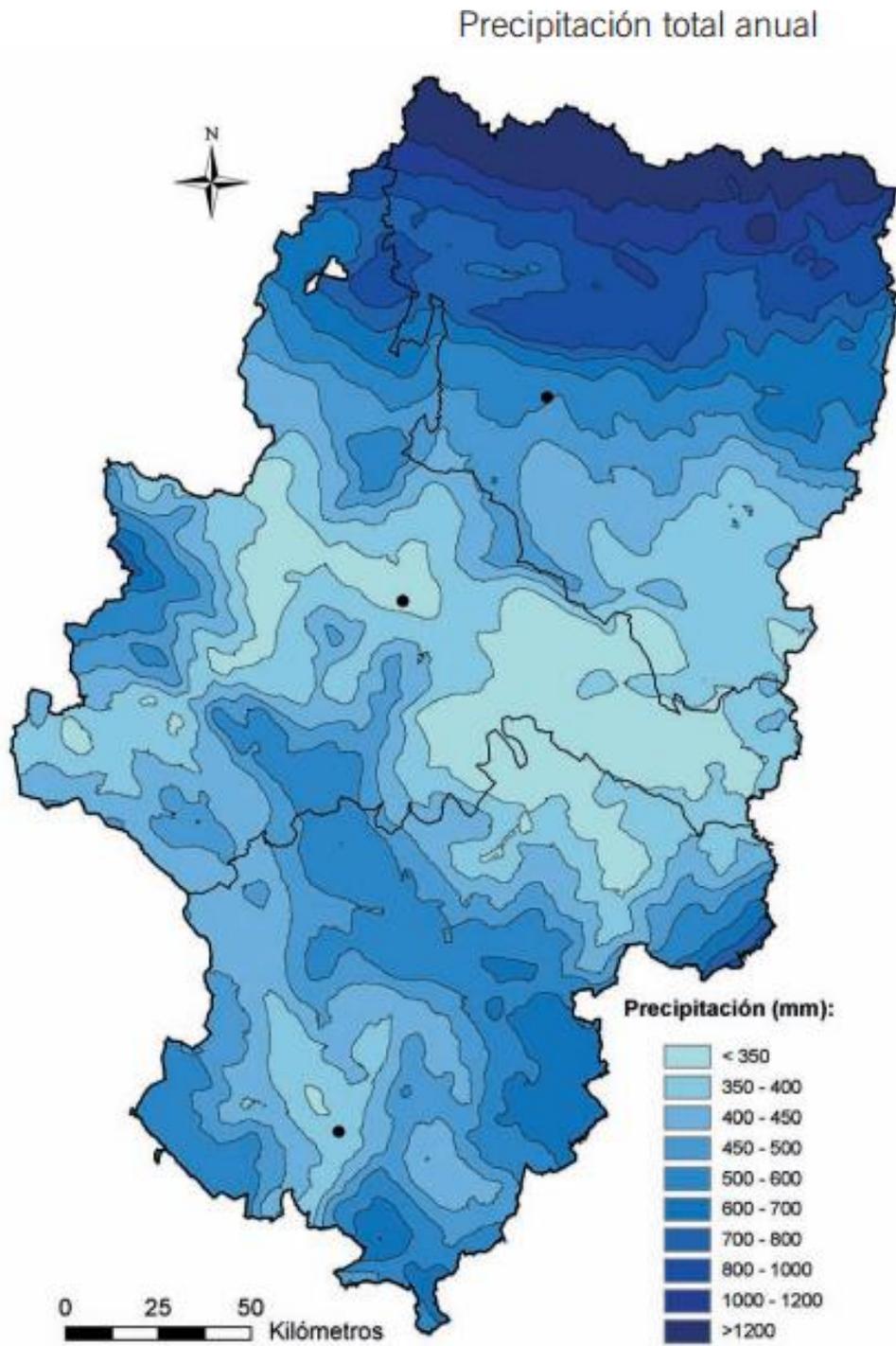


Figura 26. Precipitación total anual.

Observando los datos anteriores, sacados del Atlas Climático Digital de Aragón del departamento de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de Aragón las precipitaciones anuales y temperaturas medias esperadas en cada localización son:

	Villar de los Navarros	Sierra de San Juts	Monforte de Moyuela
Temperaturas	10-11 °C	12-13 °C	10-11 °C
Precipitaciones	500-600 mm	500-600 mm	500-600 mm

Figura 27. Precipitación total anual y Temperaturas medias por localización.

7.1.2 Estudio del suelo

Las ubicaciones posibles del parque, como ya se menciona en apartados anteriores, se encuentra dentro de la provincia de Teruel.

Los suelos predominantes en esta provincia son de tipo cambisol y regosol.

- Los cambisoles se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de un amplio abanico de rocas, entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial. No son suelos muy favorables a la colocación de aerogeneradores. Es necesario realizar en estos casos un sobredimensionamiento de las zapatas de los aerogeneradores, aunque esto produce un sobrecoste del proyecto.
- Los regosoles son suelos calcáreos sobre marga caliza y caliza margosa, son suelos clasificados como los mejores según la WRB.

Con los datos proporcionados por el Departamento de Agricultura, que se resumen en la figura posterior a la tabla, se observa:

	Villar de los Navarros	Monforte de Moyuela	Sierra de San Just
Tipo de suelo	Cambisol/Luvisol	Regosol	Cambisol/Leptosol

Figura 28. Suelos por localización.

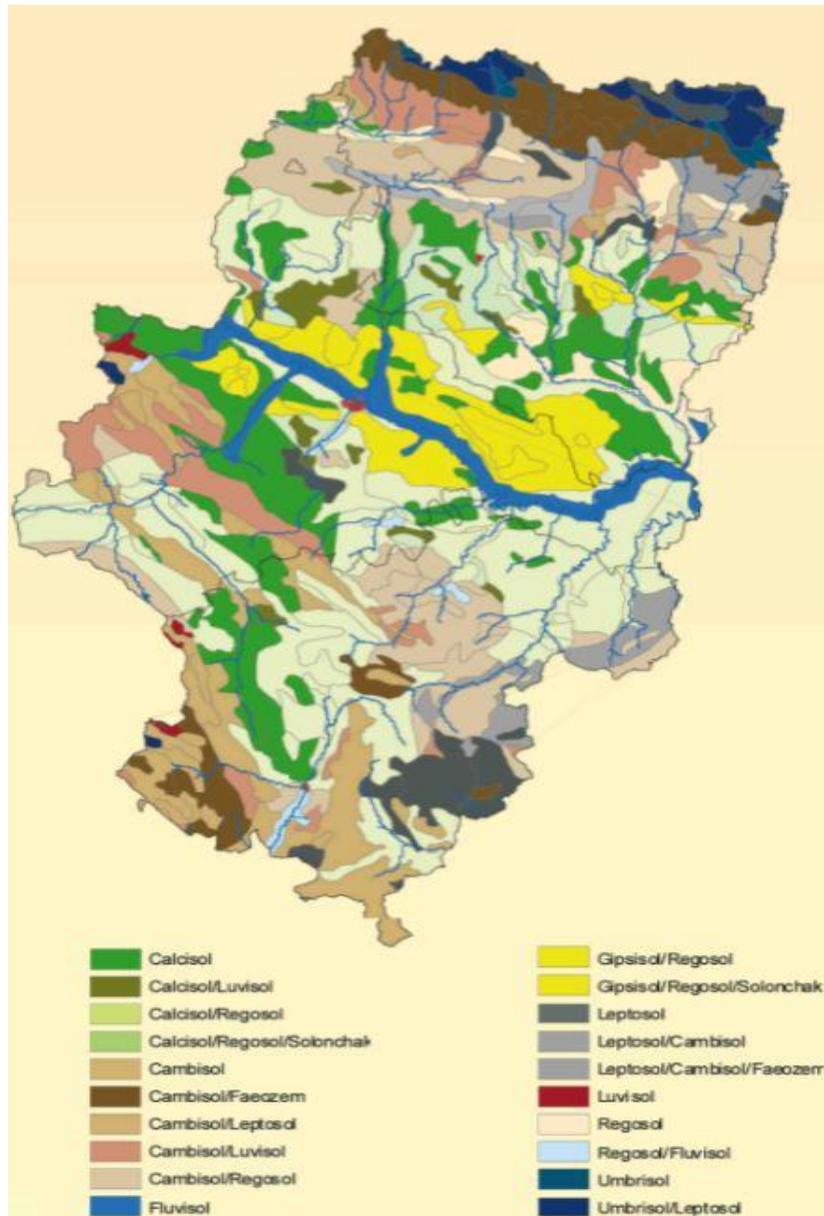


Figura 29. Clasificación de suelos.

Debido a la ubicación de los parques en zonas altas, donde se encuentra el recurso eólico, las pendientes serán uno de los limitadores a la hora de diseñar el parque. En los casos estudiados, las pendientes más favorables se encuentran en Villar de los Navarros, donde no superan un 20% en la mayor parte del terreno, y en ningún caso superan el 40%. En las otras dos localizaciones, Sierra de San Just y Monforte de Moyuela, la mayor parte del terreno tiene entre un 20 y un 40% de pendiente, y en algunos puntos supera levemente el 40%.

7.1.3 Estudio de la flora

La flora en la Provincia de Teruel está formada en su mayoría por zonas de matorrales que superan la mitad de la superficie de la provincia y zonas arboladas, de mayoría conífera, que llegan a ser casi una tercera parte de la extensión de la provincia.

Se debe tener en cuenta los datos sobre la Comunidad Autónoma de Aragón, obtenidos del catálogo de especies amenazadas, que indica que hay:

- 9 plantas en peligro de extinción.
- 19 sensibles a la alteración de su hábitat.
- 45 vulnerables.
- 54 de interés especial.

De todas estas especies de plantas, en las localizaciones escogidas se puede encontrar:

- *Carex acutiformis*. Vulnerable.

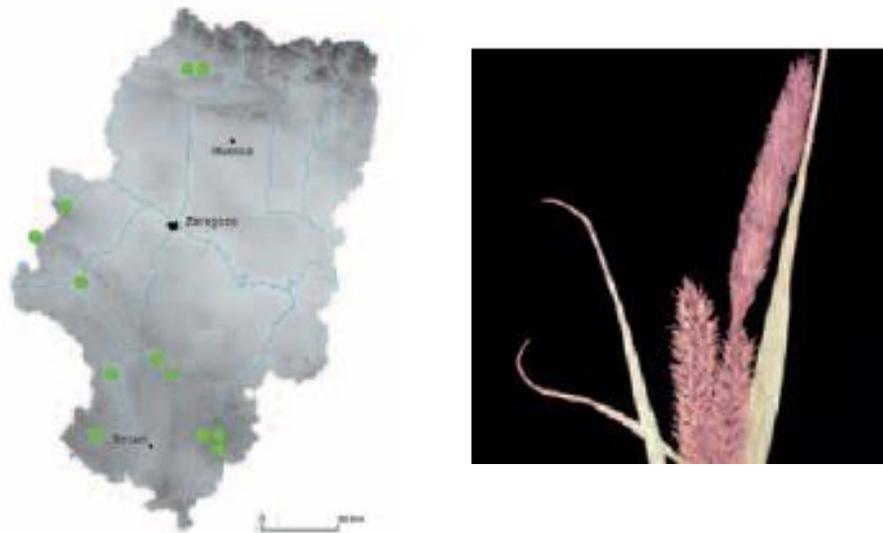


Figura 30. Localización y ejemplar de *Carex acutiformis*.

- *Elatine hexandra*. Vulnerable.



Figura 31. Localización y ejemplar de Elatine hexandra.

- *Limonium viciosoi*. Vulnerable.

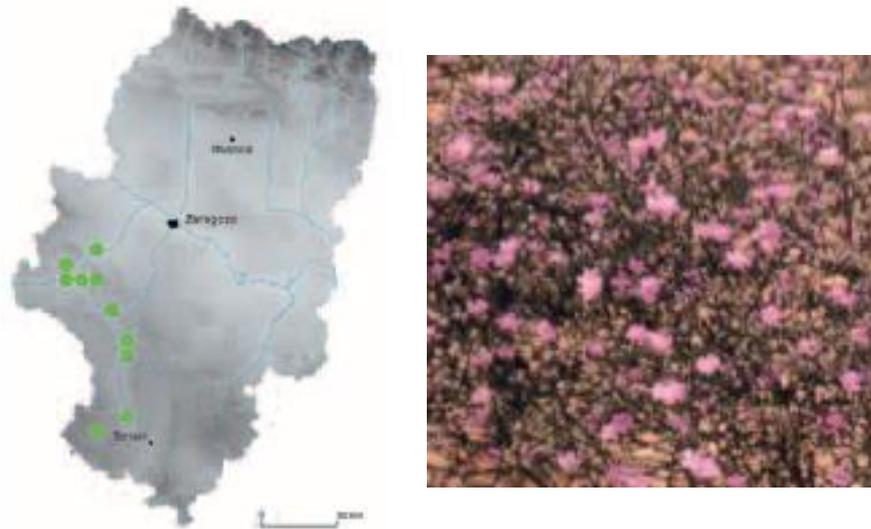


Figura 32. Localización y ejemplar de Limonium viciosoi.

- *Apium repens*. Vulnerable.



Figura 33. Localización y ejemplar *Apium repens*.

- *Juniperus thurifera*. De interés especial.

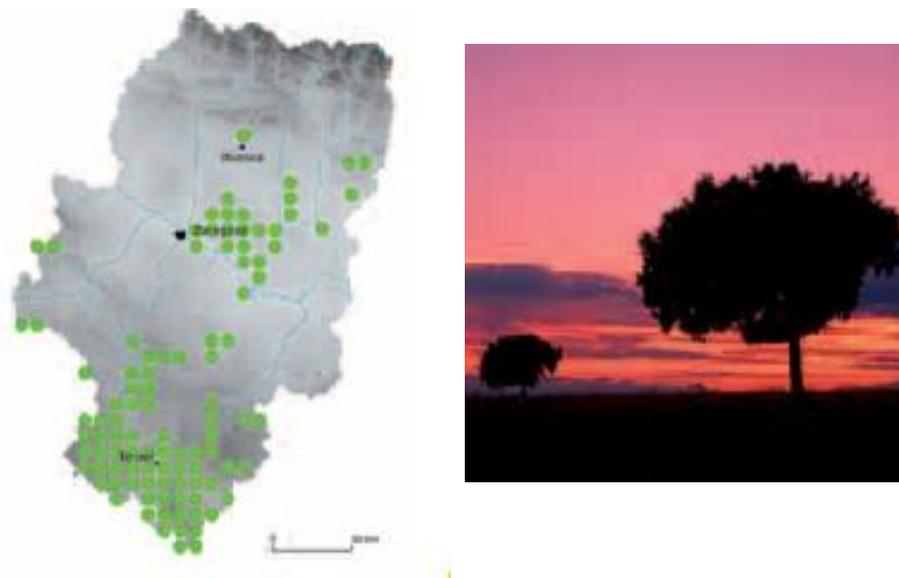


Figura 34. Localización y ejemplar *Juniperus thurifera*.

- *Thymus leptophyllus*. De interés especial.

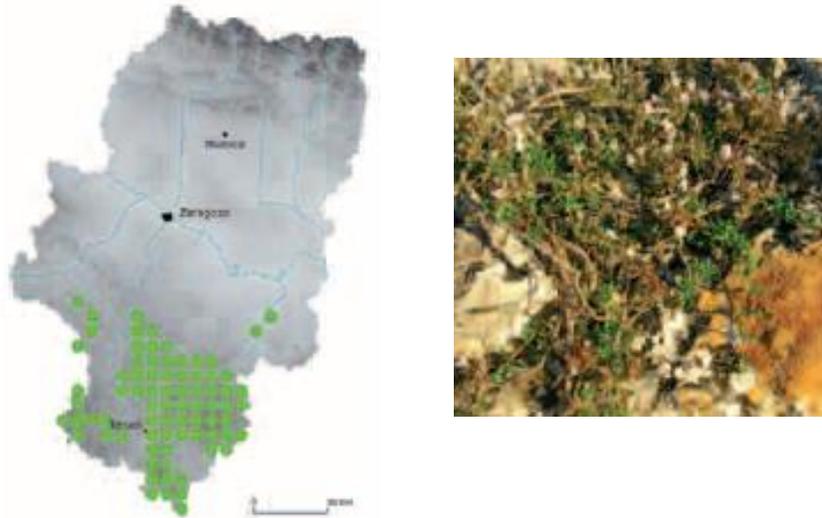


Figura 35. Localización y ejemplar de *thymus leptophyllus*.

7.1.4 Estudio de la fauna

El estudio sobre la fauna se centra en las especies de mamíferos, reptiles y especialmente en aves. El resto de especies no se ve afectadas por la construcción del parque en ninguna de las localizaciones, al ser zonas de montaña sin presencia de acumulaciones de agua. En la provincia de Teruel se hallan representadas multitud de especies. En zonas montañosas es fácil encontrar la cabra montesa y la víbora hocicuda, además de abundantes especies avícolas como el herrillo común y el águila real.

Se tendrá especial atención a las especies que estén protegidas, que según el Catálogo de Especies Amenazadas de la Comunidad Autónoma de Aragón son:

- 7 aves y un mamífero en peligro de extinción.
- 6 aves y 2 mamíferos sensibles a la alteración de su hábitat.
- 9 aves, 8 mamíferos y 2 reptiles vulnerables.
- 10 aves, 14 mamíferos y 2 reptiles de interés especial.

De todas estas especies, en las localizaciones escogidas se podrán encontrar:

- *Neophron percnopterus*. Vulnerable.

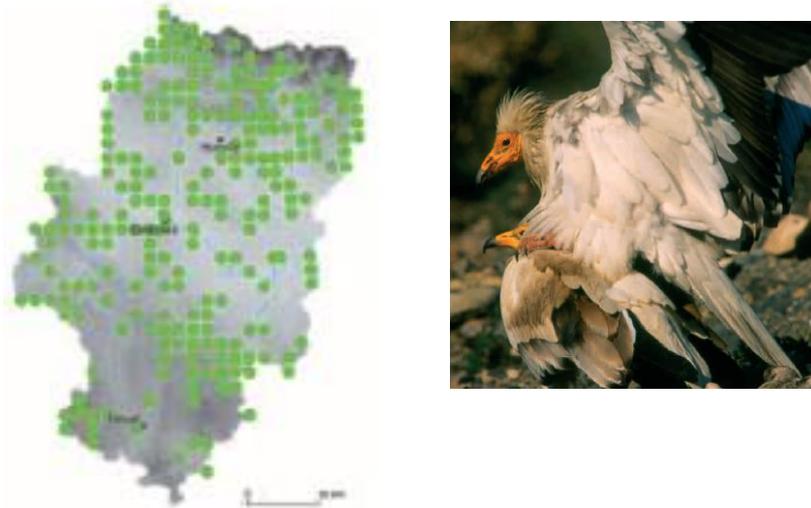


Figura 36. Localización y ejemplar de Neophron percnopterus.

- *Circus pygargus*. Vulnerable.

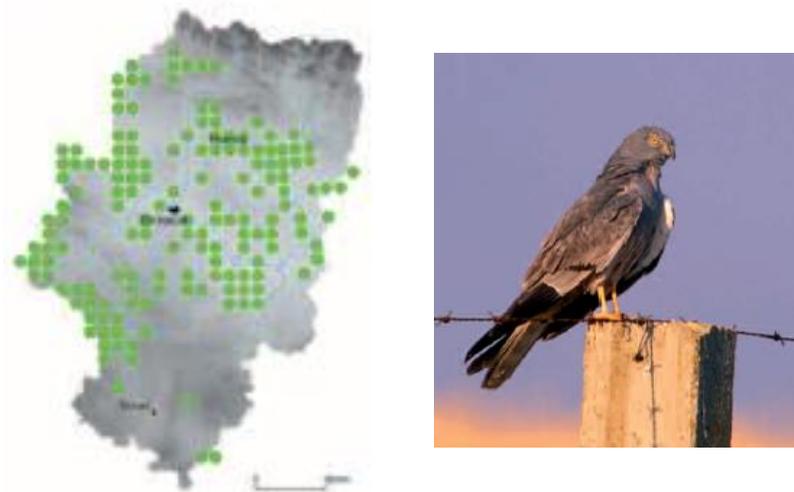


Figura 37. Localización y ejemplar de circus pygargus.

- *Phyrrocorax erythroramphus*. Vulnerable.



Figura 38. Localización y ejemplar de phyrrocorax erythroramphus.

- *Tetrax tetrax*. Vulnerable.

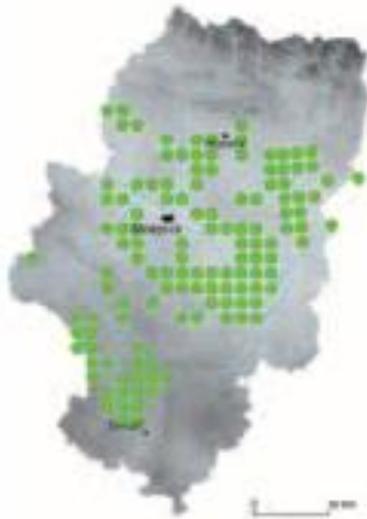


Figura 39. Localización tetrax tetrax.

- *Pterocles orietalis*. Vulnerable.

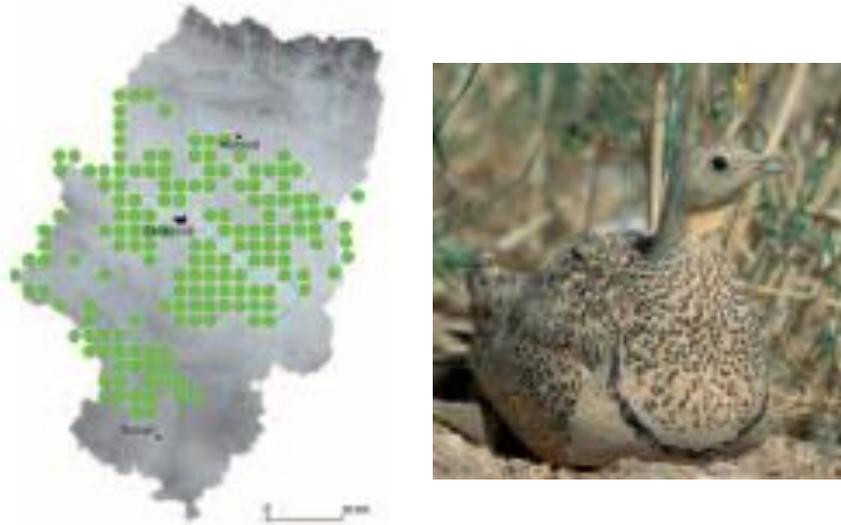


Figura 40. Localización y ejemplar de *Pterocles orietalis*.

Alauda arvensis. De interés especial.

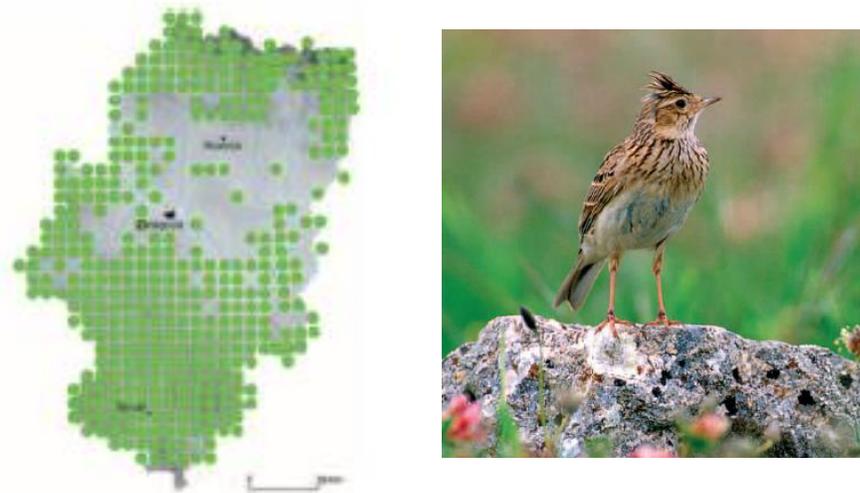


Figura 41. Localización y ejemplar de *Alauda arvensis*.

- *Corvus corax*. De interés especial.

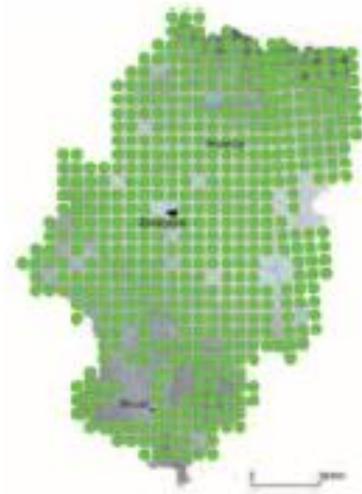


Figura 42. Localización Corvus corax.

- *Miliaria calandra*. De interés especial.



Figura 43. Localización y ejemplar de Miliaria calandra.

- *Serinus serinus*. De interés especial.

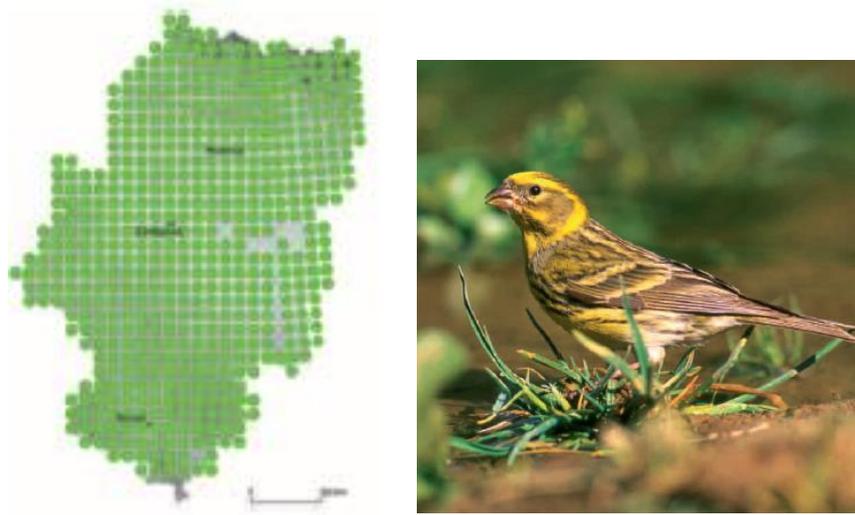


Figura 44. Localización y ejemplar de serinus serinus.

- *Carduelis chloris*. De interés personal.

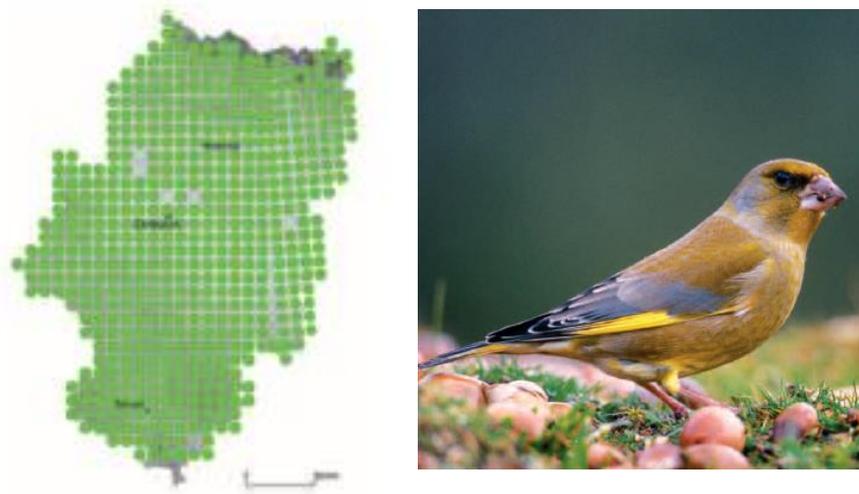


Figura 45. Localización y ejemplar de Carduelis chloris.

- *Carduelis carduelis*. De interés especial.

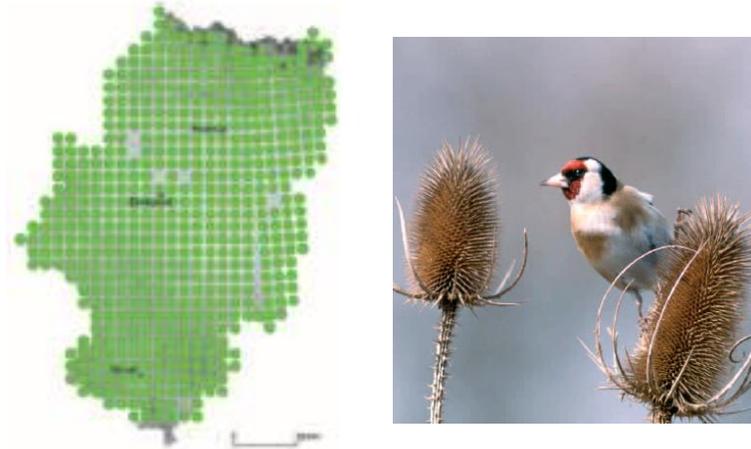


Figura 46. Localización y ejemplar de *Carduelis carduelis*.

- *Erinaceus europaeus*. De interés especial.



Figura 47. Localización *Erinaceus europaeus*.

7.1.5 Estudio del paisaje

Los tres casos a estudiar son muy diferentes entre sí, tanto por el valor natural del paisaje como el arquitectónico. Este estudio será muy importante a la hora de elegir la opción más viable medioambientalmente, ya que es uno de los factores en los que hay mayores diferencias entre las distintas localizaciones.

Monforte de Moyuela tiene un paisaje natural, sin apenas presencia de infraestructuras, salvo dos carreteras secundarias con poco tráfico. El paisaje desde el punto de vista medioambiental tiene poco valor, ya que está formado por matorrales y zonas de pinar, muy habitual y de rápida repoblación.



Figura 48. Vista 1 de Monforte de Moyuela.



Figura 49. Vista 2 de Monforte de Moyuela..

En Villar de los Navarros hay una situación muy diferente, tanto desde el punto de vista ambiental, encontramos un paisaje con una flora más abundante, como

arquitectónico. Villar de los Navarros consta de una Ermita del siglo XV, con un valor histórico y visual, que se vería muy afectado por la construcción de los aerogeneradores.



Figura 50. Vista 1 de Villar de los Navarros.



Figura 51. Vista 2 de Villar de los Navarros.

El tercer caso es el que menos afectado se vería con la instalación de aerogeneradores. La Sierra de San Just cuenta con un parque eólico en parte de la sierra. Por tanto, el paisaje actual consta de una zona montañosa de vegetación escasa, con caminos de acceso al parque y varios aerogeneradores. Con lo que, la construcción del parque eólico solo produciría el aumento de aerogeneradores en el paisaje.



Figura 52. Vista 1 de Sierra de Sant Just.



Figura 53. Vista 2 de Sierra de Sant Just.

7.1.6 Estudio socioeconómico

Teruel es una de las provincias españolas más secas, de ello deriva la pequeña proporción de cultivos, prados y pastizales.

Desde el punto de vista demográfico, Teruel es una provincia en regresión, además de ser una población con una media de edad superior a otros territorios españoles. Uno de los motivos de la pérdida de población joven es la escasa contratación de empleo, apenas un 8% de los contratos de la comunidad aragonesa.

Dentro de esta situación general, atender a las singularidades de algunas localizaciones.

En la Sierra de San Just encontramos un parque eólico, y con ello un sector de las poblaciones cercanas que ya depende directa o indirectamente del parque, y la ampliación del mismo solo tendría efectos en el proceso de construcción.

Villar de los Navarros consta de una ermita de valor histórico y religiosos, que genera un valor económico y social en el lugar. La ermita tiene rutas de peregrinación que generan puestos de empleo en el sector turístico, que se verían afectados por la construcción del parque de forma negativa.

7.2 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En este apartado se estudiará los posibles impactos sobre el medio derivados de las acciones que se van a realizar, tanto en la fase de construcción como explotación del parque. A partir de estos impactos se podrá realizar la valoración de impactos teniendo en cuenta la incidencia de cada uno.

Para la realización de este apartado se seguirá la metodología explicada en el apartado Metodología: Viabilidad ambiental, en cada una de las fases.

7.2.1 Fase de construcción

Identificación y explicación de acciones en la fase de construcción:

- Movimiento de tierras.
- Apertura de camino de servicio
- Tráfico de vehículos.
- Instalación de aerogeneradores.
- Realización de la zanja para la línea de 30 kV.
- Acumulación de materiales de construcción.
- Producción de residuos.

Movimiento de tierras

Movimiento de tierras se refiere a los trabajos necesarios para el acondicionamiento de la infraestructura, todo lo referente a desmontes y terraplenes, excavaciones, explanaciones, desbroce y tala de la vegetación existente.

Apertura de camino de servicio

Consistirá en la adecuación de los viales de acceso a los emplazamientos de los aerogeneradores. De estos trabajos se derivan otros de movimiento de tierras que también se incluyen en este apartado, que serán más reducidos; además se procederá a la compactación y acondicionamiento de la superficie para obtener un firme transitable. No se asfaltarán dichos caminos.

Tráfico de vehículos

Las labores de transporte de materiales pueden generar residuos durante el mismo transporte, ya sean aceites, gases contaminantes a la atmósfera que son mayormente vulnerables en un sitio que nunca ha tenido contaminación. Así como la suspensión de partículas de polvo y el ruido generado por los camiones.

Instalación de aerogeneradores

En este apartado nos encontraremos por un lado la excavación inicial para establecer la base del aerogenerador y por otro lado el hormigonado de la zapata que nos generará residuos y tránsito durante la construcción de esta.

Montaje de las torres de los aerogeneradores e instalación de todos los elementos que componen los mismos.

Realización de la zanja para la línea de 30 kV

Se realizará la excavación de una zanja entre los aerogeneradores, destinada a contener los cables del tendido eléctrico de media tensión. Una vez instalados los cables, esta se volverá a rellenar con el mismo material.

Acumulación de materiales de construcción

Engloba los depósitos de ladrillos, ferralla, cemento, tierra, arena, etc., que generalmente se almacenan durante la construcción de la obra.

Producción de residuos

Producción de vertidos controlados al medio y también vertidos accidentales de materiales contaminantes y aguas residuales. Esta acción incluye todos los residuos sólidos generados durante los trabajos de construcción e instalación de los elementos del proyecto y se concretarían en embalajes, palets, restos de materiales de construcción, tierra sobrante, etc.

7.2.2 Fase de explotación

Identificación de impactos en fase de explotación:

- Tráfico de vehículos
- Producción de residuos sólidos
- Aerogeneradores y movimiento de palas

Tráfico de vehículos

No habrá mucho tráfico durante la explotación del parque. No obstante el y tráfico que haya puede generar gases contaminantes a la atmósfera que son mayormente vulnerables en un sitio que nunca ha tenido contaminación. Así como el ruido generado por estos, aunque el ruido de los aerogeneradores es mayor.

Producción de residuos sólidos

Residuos producidos en el funcionamiento de los aerogeneradores, generalmente por desgaste, averías, u otros motivos.

Aerogeneradores y movimiento de las palas

El movimiento de las palas debido a la acción del viento. Ocupando espacio aéreo y generando ruido.

7.2.3 Factores susceptibles de ser afectados

Las partes que se verán afectadas por las distintas acciones a realizar en la construcción del parque se dividen en:

- Medio físico
- Medio Biótico
- Medio Socioeconómico
- Medio perceptual

7.2.3.1 Medio físico

En este apartado se estudia todo lo relacionado con el método abiótico, es decir, tierra, agua y aire. Que a partir del inventario realizado y la identificación de impacto se observan posibles afecciones en:

- Calidad atmosférica. Entendiéndose como la alteración de la pureza del aire y la concentración de gases contaminantes.
- Ruido. Acústica generada por las actividades de obra, maquinaria y trabajos in situ, así como el propio funcionamiento de los aerogeneradores.
- Relieve. Modificación de las características morfológicas iniciales, ya sea por excavación, cimentaciones o acopio de materiales.
- Estructura del suelo. Modificación de las características biológicas y fisicoquímicas de los diferentes estratos.
- Elementos singulares del sustrato. Elementos naturales de alto valor ecológico, cultural, científico, etc.
- Cursos fluviales. Alteración de cauces originales en evacuación de aguas pluviales por modificaciones del relieve.
- Acuíferos. Incidencia sobre aguas subterráneas.
- Calidad del agua. Análisis de la incidencia sobre el recurso hídrico aguas abajo del parque.
- Caída de rocas. Desprendimiento de rocas en laderas de montaña producidas por los movimientos de tierras o el aumento de cargas en el terreno.
- Subsidiencias y colapsos.

7.2.3.2 Medio biótico

- Unidad de vegetación natural. Incidencias sobre la vegetación natural producidas por los desbroces y despeje previos a la construcción de viales y zapatas.
- Unidad de cultivos. Incidencias sobre las zonas de cultivo producidas por los desbroces y despeje previos a la construcción de viales y zapatas.
- Fauna. Es difícil el análisis de los impactos sobre la fauna, requiere un trabajo de inventariado importante, y es resulta complicado valorarlo y predecir su evolución. Se observarán:
 - Reptiles.
 - Mamíferos.
 - Anfibios. En las localizaciones escogidas no se encuentran especies de anfibios.

- Aves. Las aves son el grupo más afectado en la fase de explotación del parque, además de que la zona cuenta con varias especies vulnerables y de interés general.

7.2.3.3 Medio socioeconómico

- Salud ambiental. Incluye aspectos relacionados con el bienestar de las personas.
- Empleo. Las actividades desarrolladas tanto en la fase de construcción como explotación demandarán mano de obra. Además la riqueza generada en el lugar creará también puestos de trabajo de manera indirecta.
- Economía. Análisis del beneficio o perjuicio económico generado por la construcción y explotación del parque eólico.
- Equipamiento y servicios. Repercusiones sobre el uso del suelo debido a nuevas infraestructuras y servicios.

7.2.3.4 Medio perceptual

- Incidencia visual. Zona visualmente afectada por alteraciones en la cuenca visual.
- Paisaje intrínseco. Valoración de la calidad del conjunto de elementos dentro del paisaje.
- Potencial de vistas. Valoración de la calidad de vistas del parque desde puntos concretos de los alrededores.
- Elementos singulares del paisaje. Elementos que requieren especial atención en el paisaje por su valor cultural, natural, etc. Pueden estar protegidos.

7.3 VALORACIÓN DE IMPACTO

Para la valoración de impactos totales producidos en cada caso, se estudiarán mediante una valoración cualitativa a partir de una Matriz de Leopold, que atenderá a los criterios de la siguiente figura para caracterizar los valores de los efectos con los que se desarrollará la matriz de impacto.

POR VARIACION EN CALIDAD		INTENSIDAD (IN)	
Impacto positivo	+	Baja	1
Impacto negativo	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSION (EX) (Area de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV) (Por medidas naturales)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Mediano plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	
Recuperable de manera inmediata	1	Simple	1
Recuperable a medio plazo	2	Acumulativo	4
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		
EFECTO (EF) (Relación causa-efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
IMPORTANCIA (I)			
$(I) = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$			

Figura 54. Tabla de caracterización de impactos y fórmula de importancia.

Cada celda de la matriz contará con dos datos, la magnitud del impacto –que hace referencia al valor del impacto– y la incidencia del impacto –que es la caracterización del mismo–. Al ser el mismo proyecto en distintos lugares, la incidencia será la misma, no obstante la magnitud variará en cada localización dependiendo de la vulnerabilidad del medio afectado en cada caso.

Se generará una matriz para cada fase del proyecto. Y posteriormente se repetirá el proceso tras aplicar las medidas correctoras. Siendo los resultados antes de aplicar las medidas correctoras:

Localización	Valoración de impacto
Sierra de San Just	-2752
Monforte de Moyuela	-3110
Villar de los Navarros	-3284

Figura 55. Tabla de resultados de la valoración de impactos.

7.4 MEDIDAS CORRECTORAS

7.4.1 Medidas eliminatorias y atenuantes del impacto

- Estudios geotécnicos previos a la instalación de los elementos del parque eólico:
 - o Evitar cavidades en el subsuelo.
- Localización de elementos del proyecto:
 - o Recursos naturales.
 - o Vía de servicio.
 - o Tendido eléctrico subterráneo.
 - o Distancia aerogeneradores.
- Adaptación de elementos de integración:
 - o Delimitación zona.
 - o Coloración cromática blanca.
 - o Seguimiento de la avifauna.

7.4.2 Medidas compensatorias

- Creación de un observatorio del medio natural.
- Colaboración con el organismo medioambiental.
- Restauración paisajística del entorno afectado por la incorporación de los diferentes elementos del proyecto.

7.4.3 Valoración de Impactos con las medidas correctoras

Tras aplicar las medidas correctoras la valoración de impacto disminuye siendo:

Localización	Valoración de impacto
Sierra de San Just	-2724
Monforte de Moyuela	-3073
Villar de los Navarros	-3166

Figura 56. Tabla de resultados de la valoración de impactos.

8 ELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN FAVORABLE

Para la elección de la localización más favorable se ha realizado una matriz multicriterio, en la que se ha tenido en cuenta la viabilidad económica del proyecto, el estudio de impacto ambiental, y debido a la situación socioeconómica de Teruel se ha valorado de manera especial la creación de empleo. Debido a la dificultad de objetivar los rangos escogidos para la matriz, se han calculados dos posibilidades, una atendiendo a una preferencia por el factor económico y otra atendiendo al factor ambiental. De esta forma el promotor decidirá a que matriz ajustarse según sus prioridades.

Los pesos y la valoración de cada criterio han sido para la primera matriz:

- Viabilidad económica:
 - o Peso: 50%
 - o Valoración: TIR 10% → 0; TIR 20% → 10
- Estudio de Impacto Ambiental:
 - o Peso: 40%
 - o Valoración: VIA -3200 → 0; VIA -1000 → 10
- Creación de empleo:
 - o Peso: 10%
 - o Valoración: VIA 50 → 0; VIA 150 → 10

De esta forma quedaría la siguiente matriz multicriterio:

Localización	Viabilidad económica	EIA	Empleo	Resultado Matriz
Sierra de San Just	13.5% → 3.5	-2724 → 6.96	100 → 5	5.03
Monforte de Moyuela	14.3% → 4.3	-3073 → 5.79	151 → 10	5.47

DIMENSIONADO DE UN PARQUE DE ENERGÍA EÓLICA, ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. APLICACIÓN LA PROVINCIA DE TERUEL.

Villar de los Navarros	16.6% → 6.6	-3166 → 5.54	64 → 1.4	5.66
-------------------------------	-------------	--------------	----------	------

Figura 57. Matriz multicriterio.

De manera que, atendiendo a los criterios ya mencionados, y con la metodología expuesta en el trabajo se llega a la conclusión de que la opción más favorable para la construcción de un parque eólico de 40 MW en la provincia de Teruel es la localización de Villar de los Navarros, utilizando aerogeneradores modelo Enercon E-101 de 3MW de potencia.

Cambiando los pesos a los siguientes:

- Viabilidad económica:
 - o Peso: 50%
 - o Valoración: TIR 0% → 0; TIR 20% → 10
- Estudio de Impacto Ambiental:
 - o Peso: 40%
 - o Valoración: VIA -3200 → 0; VIA -1000 → 10
- Creación de empleo:
 - o Peso: 10%
 - o Valoración: VIA 50 → 0; VIA 150 → 10

De esta forma quedaría la siguiente matriz multicriterio:

Localización	Viabilidad económica	EIA	Empleo	Resultado Matriz
Sierra de San Just	13.5% → 6.75	-2724 → 6.96	100 → 5	6.66
Monforte de Moyuela	14.3% → 7.15	-3073 → 5.79	151 → 10	6.89
Villar de los Navarros	16.6% → 8.3	-3166 → 5.54	64 → 1.4	6.51

Figura 58. Matriz multicriterio.

De manera que, atendiendo a estos nuevos criterios, y con la metodología expuesta en el trabajo se llega a la conclusión de que la opción más favorable para la construcción de un parque eólico de 40 MW en la provincia de Teruel es la localización

de Monforte de Moyuela, utilizando aerogeneradores modelo Enercon E-101 de 3MW de potencia.

9 CONCLUSIÓN

El presente estudio se ha buscado la localización idónea para la construcción de un parque eólico de 40 MW de potencia, para satisfacer las demandas energéticas futuras, a la vez que se potencie las energías renovables y se reduce la dependencia energética nacional.

Para ello, se han escogido tres posibles localizaciones atendiendo a criterios de demanda energética, recurso eólico, y logística. Esto ha llevado a escoger tres localizaciones de la provincia de Teruel que son:

- Monforte de Moyuela
- Sierra de San Just
- Villar de los Navarros

Se ha partido de tres modelos de aerogeneradores de distinta potencia:

- Enercon E-101 de 3MW
- Gamesa G-132 de 5MW
- Enercon E-126 de 7.5 MW

A partir de estos datos, se han realizado los cálculos de dimensionamiento técnico del parque en cada una de las localizaciones, y con cada uno de los modelos de aerogeneradores.

Una vez obtenidos los factores de uso y la producción de cada opción, se ha llevado a cabo un estudio de viabilidad económica, en el que se han tenido en cuenta tres formas de financiación distintas:

- Financiación propia al 100%
- Financiación propia al 20%, y un préstamo bancario con valor del 80% de la inversión inicial.

- Financiación propia al 20%, y venta de bonos con valor del 80% de la inversión inicial.

Obteniéndose una previsión de los beneficios o pérdidas que puede suponer cada uno de los casos estudiados, tomando como indicadores el TIR (Tasa Interna de Retorno), el VAN (Valor Actualizado Neto), el IR (Índice de Rentabilidad), y el Pay-Back (tiempo que se tarda en obtener beneficios). El estudio de Viabilidad Económica servirá para comparar entre los tres emplazamientos y aerogeneradores, no obstante el modelo de financiación escogido dependerá de los intereses del promotor.

Se ha realizado un Estudio de Impacto Ambiental que ha comparado las tres localizaciones. De manera que se ha objetivado, en la medida de lo posible, los impactos que pueda causar la construcción del parque en cada emplazamiento, y se han comparado en igualdad de criterios para obtener la opción más favorable medio-ambientalmente.

Una vez obtenidos todos los resultados, se han realizado dos matrices multicriterio, una que favorece a las opciones con mayor rentabilidad frente a los resultados del Estudio de Impacto Ambiental, y otra que da mayor importancia a los criterios ambientales. En ambos casos se ha hecho hincapié en el impacto sobre el empleo por encontrarse los emplazamientos en una provincia con altas tasas de desempleo.

A partir de todo este proceso se obtienen los siguientes resultados:

Emplazamiento	Aerogeneradores	Viabilidad económica (Capital propio)	Viabilidad económica (Préstamo)	Viabilidad económica (Bonos)
Monforte de Moyuela (Teruel)	Catorce aerogeneradores Enercon E-101 de 3 MW	VAN: 60,9 M€ TIR: 14,3% IR: 1,10 € P-B: 8 años	VAN: 49,5 M€ TIR: 11,3% IR: 4,45 € P-B: 4 años	VAN: 47,5 M€ TIR: 10,9% IR: 4,28 € P-B: 3 años
Villar de los Navarros (Teruel)	Catorce aerogeneradores Enercon E 101 de 3 MW	VAN: 78,1 M€ TIR: 16,6% IR: 1,37 € P-B: 8 años	VAN: 68,12M€ TIR: 13,7% IR: 6,13 € P-B: 3 años	VAN: 66,1 M€ TIR: 13,2% IR: 5,95 € P-B: 3 años

10 REFERENCIAS

- www.atlaseolico.idae.es (Mapa eólico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía)
- Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón, Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.
- Atlas climático de Aragón, Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.
- Estudio de Viabilidad Ambiental para la localización de parques eólicos en un municipio de la Región de Murcia, M^a Luz Tudela y José Molina, Universidad de Murcia
- Diseño de un parque eólico de 32 MW de potencia en el término municipal de Jumilla (Murcia), Universidad Politécnica de Valencia
- Estudio de viabilidad técnico-económica y análisis de impacto ambiental de un parque eólico en Alto Maestrazgo (Castellón), César García, Universidad Politécnica de Valencia.
- Guía Metodológica para la elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental, M^a Gabriela Dellavedova, Universidad Nacional de la Plata
- www.aeeolica.org (Asociación Empresarial Eólica)

Mayo 2016

Manuel Mena Jiménez