

# ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE

**Autor: Abril-Martorell García, Fernando**

Director: Fernández Daza, Francisco

Entidad colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia de Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

### *Introducción:*

Desde siempre la energía es uno de los factores fundamentales en el desarrollo económico y social de cualquier país. Adicionalmente y durante los últimos 70 años ha sido de forma directa o indirecta la causa de casi todos los conflictos armados en el mundo. Es un factor que afecta a países desarrollados y subdesarrollados, pues en ambos casos los precios de la energía y su demanda han ido creciendo a ritmos alarmantes.

Es en este contexto donde, ante el agotamiento de los combustibles fósiles y su irregular distribución geográfica, se presentan las energías renovables como una fuente de suministro energético viable, seguro, limpio y que además es complementario y o alternativo a los combustibles fósiles. La tecnología disponible evoluciona continuamente y cada día consigue mayores eficiencias. No obstante, aún hoy se requieren inversiones elevadas y los retornos se consiguen a largo plazo.

La tecnología para producir energía eólica es la más desarrollada, por lo que, desde el punto de vista técnico permite optimizar el recurso natural y obtener muy buenos rendimientos, y económicamente hace que sea crecientemente viable.

Existen dos formas de producir energía eólica: mediante parques con emplazamientos en tierra (onshore), o mediante emplazamientos en el mar (offshore)

Las ventajas de los parques marinos frente a los terrestres son las siguientes:

- El recurso del viento presenta unas características excepcionales en el mar, pues los vientos son más fuertes, constantes y de baja rugosidad permitiendo aumentar el número de años disponibles del emplazamiento y elevar la potencia unitaria de cada aerogenerador.
- Al contrario que en tierra, el espacio no supone un problema para la escasez de terreno.
- Ausencia de ruido y disminución o incluso supresión del impacto visual.
- La posibilidad de parques más grandes con mayor potencia instalada y con la facilidad de eventuales ampliaciones de los mismos.
- Se trata de una tecnología con elevada dependencia de la mano de obra, lo que supondría un impacto económico muy positivo en el entorno del emplazamiento.

Sin embargo presenta también los siguientes inconvenientes:

- Requiere mayor inversión inicial, y mayores costes en la gestión y operación y mantenimiento.
- Mayor complejidad en la construcción
- Existen limitaciones en zonas de pesca o alta actividad marítima.

### *Objetivo principal*

El objetivo principal del proyecto ha sido analizar las variables cuya influencia sobre la viabilidad del parque eran mayores al objeto de seleccionar la mejor opción. Éstas son; la disposición de la interconexión del cableado (eleva la productividad de las turbinas), la potencia del parque (dos escenarios planteados, uno compuesto por 15 turbinas de 3,3MW cada una y el segundo de 9 turbinas con la misma potencia) y por último 3 posibles contextos de la futura normativa.

### *Metodología*

Para la elaboración del proyecto, se comenzó por la localización del emplazamiento. Se realizó un estudio exhaustivo del viento y de las profundidades marinas a lo largo de la costa peninsular. Se han tenido en cuenta, por motivo de la existencia de reservas marinas o por niveles altos de actividades pesqueras, las zonas de exclusión de posibles parques. Una vez localizado el lugar óptimo, se procedió al estudio de las cimentaciones y aerogeneradores.

Posteriormente se analizó el cableado a utilizar, su tensión y su instalación, así como el riesgo de ruptura y posibles configuraciones en su diseño.

A continuación se realizó un informe con las medidas propuestas para disminuir y o compensar los impactos medioambientales (mínimos) estableciendo alternativas y soluciones a los mismos.

Para el análisis económico del parque, se ha tenido en cuenta la normativa antigua (principalmente el RD 661-2007) como borradores del futuro Real Decreto-ley conocidos hasta la fecha, en donde se explican las retribuciones futuras a percibir sin llegar a ser cuantificadas.

Por último, se realizaron los cálculos de energía anual generada junto con los costes e ingresos estimados para los distintos escenarios propuestos, y se elaboraron las conclusiones.

### *Desarrollo y resultados del proyecto*

El parque eólico se situará en el Golfo de Cádiz, en la provincia de Huelva, frente a Isla Cristina, a una distancia de 15,11 Km de costa y con una profundidad media de 29 metros.

La turbina seleccionada para el emplazamiento es un modelo Vestas 3,3MW de 112 metros de diámetro de las palas. Aunque la turbina no posee una potencia significativa, el diámetro del rotor es extremadamente alto. Esto, que se traduce en un mayor coste del aerogenerador, permite sin embargo, un mayor número de horas de funcionamiento gracias a que es capaz de trabajar a velocidades extraordinariamente bajas.

Dada la baja profundidad del suelo marino, el proyecto contempla utilizar monopilotes como forma de sustentación de las turbinas.

Por otro lado, el cable está pensado para trabajar a tensión nominal 33kV, y sus secciones aumentarán a medida que transporten mayor potencia. Tanto el escenario de 15 turbinas como el de 9 están divididos en tres alas o secciones de 5 y 3 aerogeneradores cada una respectivamente. Posteriormente, se exportará la energía generada a costa a través de dos cables tripolares.

Los cálculos para cada escenario contemplan una energía anual generada (descontadas ya las pérdidas del transformador de la turbina, y las pérdidas por efecto Joule de los cables) de 204,02GWh y 122,881 GWh para los parques de 15 y 9 turbinas respectivamente.

Por otro lado, se ha tenido en cuenta en el cálculo económico, el coste asociado al transformador o subestación necesario para pasar de 33kV a la tensión de la red.

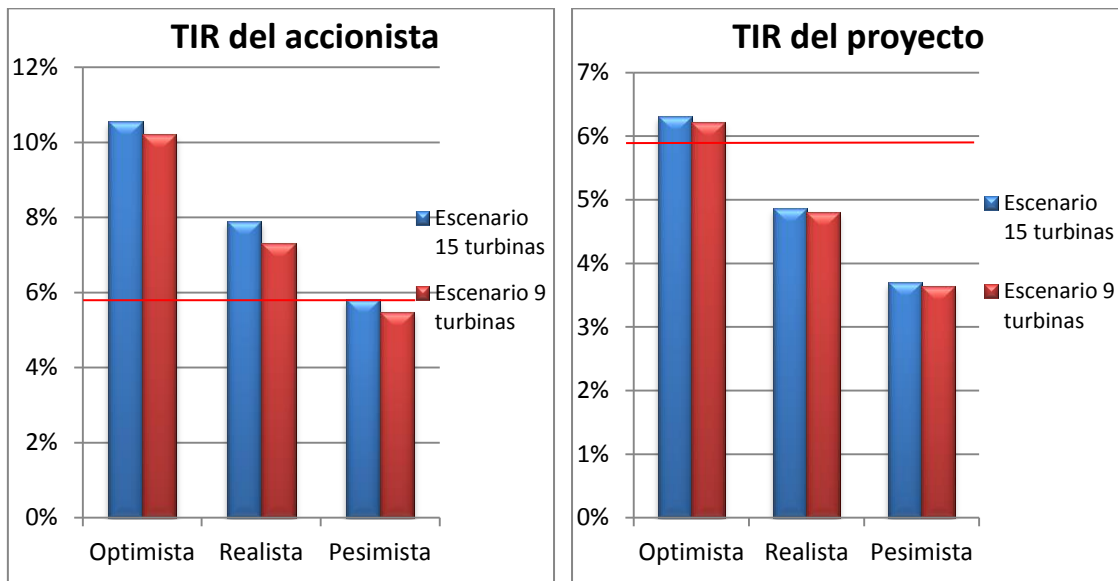
### *Estudio económico y viabilidad del proyecto*

El estudio económico se ha dividido en tres bloques o secciones:

El primer bloque lo componen los costes de construcción y de explotación. Es importante señalar que el conjunto de turbinas y cimentaciones así como el coste asociado a la instalación de los mismos representan un 71% del total de la inversión, cuyo valor medio por MW instalado ascendió a 2,487 M€. Por otro lado, se han añadido a los modelos descuentos por cantidad, siendo del 4,7% para el escenario de 15 turbinas y del 1,7% para el de 9.

El segundo bloque analiza los ingresos. Dado que la normativa no está publicada, se han estimado tres supuestos para abarcar todas las posibilidades. Se han denominado optimista, realista y pesimista. En cada uno de ellos se establecen diferentes precios del pool eléctrico, y diferentes complementos tanto de inversión como de operación.

Por último se ha construido el modelo de financiación y el balance final. La inversión inicial se financiara con un 40% de fondos propios y 60% mediante préstamos. Éstos se devolverán en un plazo de 15 años a un 4,5% de interés. El WACC es la tasa a la que se deben descontar los flujos de caja, y por tanto, mide el límite a partir del cual un proyecto es viable económicamente. Éste valor resultó del 5,97%. Posteriormente, en el balance final o cuenta de resultados, se analiza tanto los flujos de caja del proyecto como los del accionista. La combinación de alternativas regulatorias junto con los dos modelos de parque producen seis escenarios distintos como se observa a continuación:



La línea horizontal adicional representa el valor del WACC, y por tanto los TIR con rentabilidad por encima del mismo resultarían viables ocurriendo lo contrario para los que se sitúen por debajo.

### *Conclusiones*

Las conclusiones obtenidas tras la elaboración del proyecto se resumen a continuación:

- Desde el punto de vista técnico es totalmente viable. La tecnología mejora y se abarata día a día. Prueba de ello, es que en la actualidad, el número de parques eólicos offshore no cesa de aumentar.
- Como era previsible, las economías de escala tiene un efecto muy importante en esta tecnología. El análisis muestra una mayor rentabilidad para el escenario de mayor potencia instalada. No es de extrañar que, el próximo parque offshore en ponerse en explotación, “London Array“, contenga 175 turbinas para un total de 630MW, lo que le convertirá en el mayor parque offshore del mundo.
- El proyecto muestra una rentabilidad suficiente en el escenario optimista, y es algo justa en el escenario realista. La estructura de capital eleva la rentabilidad para el accionista a niveles atractivos.
- Hoy en día es un momento de especial incertidumbre del cambio regulatorio, pero teniendo en cuenta la evolución tecnológica constante, el desarrollo en la eficiencia y la mejora sostenida de las condiciones financieras, estos proyectos resultarán más atractivos en los próximos años.

## SUMMARY

### TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF AN OFFSHORE WINDFARM

Energy has always been a critical factor for the economic and social development of every country. That is the reason why energy has been the reason behind most of the world conflicts most in the last 70 years in the world. Its availability and price affect both developed and non-developed countries.

Fossil fuel reserves are decreasing every year and the increasing difficulty to get them from a geographically point of view make renewable energy a good solution. Available technology is developing steadily and reaching higher efficiency. However, big investments are required to obtain long term profits. In renewable energy, wind energy is the most developed technology taking advantage of higher efficiency and therefore better economics.

There are two ways of producing energy with the wind: through land foundations (onshore) and sea foundations (offshore).

The advantages of the offshore wind farms are shown below:

- The wind resource presents excellent features on the sea due to stronger, constant and low roughness wind.
- The technology avoids using land space.
- Noise stops being a problem, and reduces the visual impact.
- Owing to stronger winds, the wind turbines are bigger allowing them to generate more power.
- Because of the complexity, of the technology it is labor intensive and therefore generates positive social and economic impact in the area.

However, it also has disadvantages which are summarized below:

- It requires big investments, and higher operational costs.
- The construction is complex and needs experts and the latest technology.
- There are limitations on the placement due to fishing areas or large maritime activities.

#### *Principal objective*

The main purpose of the project was to analyze the most important variables that affect directly to the economic viability of the wind farm. These variables were: the design of the cable connection between the wind turbines (risk of breaking), the total power of the wind farm (there are two different scenarios, 15 and 9 wind turbines) and the regulatory environment (3 cases regarding energy law).

#### *Methodology*

The project starts with the location of the wind farm. An intensive study was made to determine possible locations where the wind was appropriate and the water depths were less than 35 meters. It was also considered constraints made by the Spanish Government around the coast for future offshore wind farm due to environmental reasons, proximity to the shore, high maritime activity. Once the wind farm was situated, a research on the different foundations and wind turbines was made.

Then, the type of cable was decided with its nominal voltage and cross section. Furthermore the way it is installed and the different configurations of the links between wind turbines to avoid or reduce the risk of any kind of cable fail.

After that, a report was made evaluating environmental impacts around the wind farm.

Later, output power, cable losses and annual energy exported was calculated. With those results we elaborated the final conclusions for every scenario previously defined.

We have taken into account for the calculation, the latest draft published by the Spanish government in respect to the regulation.

### *Final results*

The wind farm will be located in “Golfo de Cádiz” at Huelva, in front of Christine Island. The mean distance to shore is 15,11 km and the water depth is 29 meters.

The wind turbine used will be Vestas 3,3 MW with 112 meters of rotor. Despite the low power of the turbine, the big area of the rotor allows it to work at very short wind speed, increasing the hours of operation. Due to the low water depths, the foundations used were monopiles.

On the other hand, the cable will work at 33kV and the cross sections will vary between 70 and 800 mm<sup>2</sup>. To analyze the output power, both scenarios are divided in strings with 5 and 3 wind turbines respectively. Later the energy generated will be transport to shore through two export cables.

The total amount of energy generated, after considering the cable losses, were 204,02 GWh for the scenario of 15 wind turbines and 122,88 GWh for the 9 wind turbines scenario.

### *Economic and viability study.*

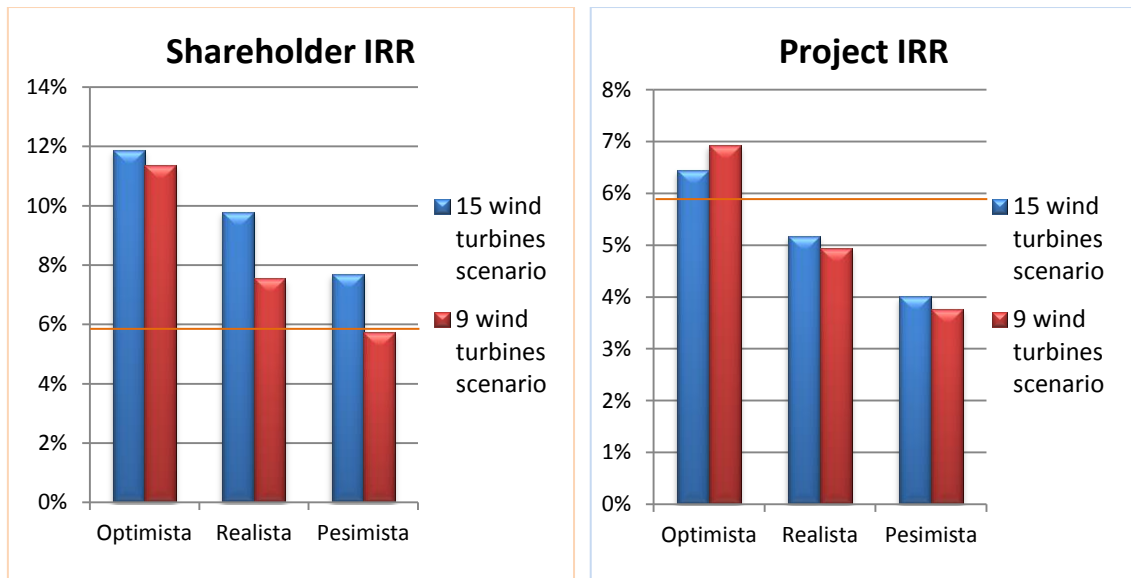
The economic study was divided in three sections:

The first section is made of construction and operation costs. It is important to know that the wind turbines plus the foundations costs represent 71% of the total investment. The mean value of the cost per MW installed was 2,487 M€. On the other hand, we considered two things; the first one is that we added the cost of an onshore transformer to the total investment, and the second is the discount we estimated due to the economy

of scale, being 4,7% in the scenario with 15 turbines and 1,7% in the other case (9 turbines).

The second section analyzes the income. Despite the undefined energy law, we proposed three different cases; optimistic, realistic and pessimistic. Each of them has different energy prices and different remunerations.

And finally, in the third section we designed the finance model. The initial investment was financed 40% with equity and 60% through loans. These loans will be returned during the following 15 years at an interest rate of 4,5%. The WACC (Weighted average cost of capital) sets a percentage above which a project is profitable. This value was 5,97%. It was also analyzed the income statement, the project IRR and shareholder IRR. The combination of the two scenarios with the different cases regarding the future energy laws, produced 6 different profitable outputs that are shown below:



## Conclusions

The final conclusions are summarized below:

- From a technical point of view it is entirely feasible. Technology improves and gets cheaper everyday. In fact, today the number of offshore wind farms is growing every day in Europe and North America.
- As it was predictable, economies of scale have a considerable impact in this technology. The analysis shows higher profitability for the scenario with more capacity power installed. It is not a surprise, that the next offshore wind farm to be fully operational,

“London Array”, will contain 175 wind turbines for a total 630 MW of power installed, becoming the largest offshore windfarm in the world.

- The project shows enough profitability in the optimistic case, while it is close to it in the other two cases (realistic and pessimistic). The capital structure increases the profitability to attractive levels for the shareholders.
- Nowadays we are living regulatory uncertainty in respect to renewable energy, but considering constant technological evolution, that generates more efficiency and the improvement in the finance conditions, this kind of project will be more and more attractive the following years.