

# Revisión y propuesta del potencial eólico en la Comunidad de Madrid

Cristóbal J. Gallego (Observatorio Crítico de la Energía)

La energía eólica ha sido en la última década la fuente renovable con mayor desarrollo en España, país que ocupa actualmente el cuarto puesto a nivel mundial en potencia instalada [1] (por detrás de Estados Unidos, Alemania y China) y el primer puesto en energía producida en Europa [2]. Este trabajo aborda la situación de la energía eólica en la Comunidad de Madrid, para lo cual se plantean las siguientes cuestiones: en primer lugar se presenta la situación por comunidades autónomas para establecer un primer marco comparativo que sirva de referencia. A continuación, se revisa el estudio del potencial eólico de la Comunidad de Madrid que la misma Comunidad utilizó para elaborar su Plan Energético. Finalmente, se lleva a cabo una nueva propuesta de potencial eólico más exigente a la hora de combinar la sostenibilidad medioambiental con la viabilidad económica.

## Revisión del sector eólico por Comunidades Autónomas

Si bien el desarrollo del sector eólico ha sido posible gracias a un apoyo económico diseñado a nivel nacional, la competencia para el desarrollo de proyectos de parques eólicos reside en las Comunidades Autónomas. Dado que el recurso eólico puede variar mucho de unas regiones a otras, cabe esperar que haya diferencias en cuanto al nivel de implantación en cada comunidad. La Figura 1 muestra la evolución de la potencia instalada por comunidades en los últimos diez años. Destaca claramente la contribución de cinco comunidades frente al resto. Esto

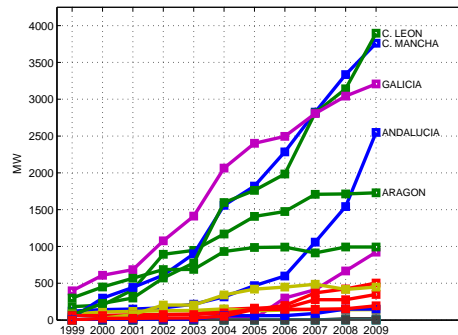


Figura 1: Elaboración propia a partir de [3] (años respectivos).

se debe a un efecto combinado de tener un elevado recurso eólico y una elevada extensión territorial. Para eliminar este segundo efecto, la Figura 2 muestra la densidad de potencia instalada (en kilovatios por kilómetro cuadrado) para las diferentes comunidades a finales del año 2009. Así, se revela el nivel de implantación que hay a día de hoy en las diferentes comunidades al margen de su tamaño.

Lo primero que se observa es un papel predominante en las comunidades de la cornisa Cantábrica, caracterizada por un gran potencial eólico debido principalmente a su exposición a los frentes procedentes del Atlántico. Por otro lado, la mayor parte del resto de las comunidades oscilan poco en torno al valor medio nacional. Finalmente, las comunidades de Extremadura y Madrid no tienen una densidad asignada debido a que no cuentan con ningún

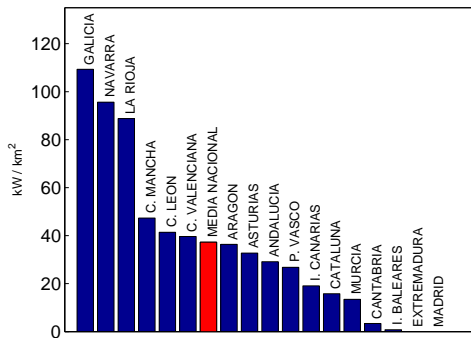


Figura 2: Potencia eólica instalada por km<sup>2</sup>. Datos procedentes de [3] (año 2009) y [4].

parque eólico instalado. En el caso de la Comunidad de Madrid, esto no se debe a que no exista potencial eólico (como se verá más adelante) sino a una carencia de planes de desarrollo de parques eólicos que contrasta con el resto de comunidades. A título orientativo, si se considerase un nivel de implantación en la comunidad equivalente al medio nacional de 37,3 kW/km<sup>2</sup> (muy similar al que hay en las comunidades de Castilla y León y Castilla la Mancha, comunidades colindantes y en principio con condiciones climatológicas parecidas), una primera estimación del potencial de la Comunidad de Madrid sería el siguiente:

$$P[\text{MW}] = 37,3[\text{kW/km}^2] \cdot 8028[\text{km}^2]/1000 \approx 300 \text{ MW}$$

Evidentemente esta cifra carece de varias consideraciones importantes (como un estudio del recurso eólico o las restricciones medioambientales a la implantación de parques eólicos en la comunidad) que sí se abordarán en los siguientes apartados. Sin embargo, expresa a grandes rasgos qué potencia eólica podría tener la comunidad si hubiese alcanzado un nivel de implantación equivalente al promedio nacional actual.

## Consideraciones medioambientales de la energía eólica

Las diferentes actividades del ser humano siempre tienen un impacto en el medio ambiente, y la generación de electricidad no es una excepción. De entre todas las opciones tecnológicas disponibles a

día de hoy, ninguna carece de inconvenientes, si bien hay importantes diferencias de unas a otras. Es por ello que las sociedades deben comprometerse con la búsqueda de un mix energético<sup>1</sup> que combine un nivel de generación suficiente y responsable para el desarrollo de la actividad humana con un impacto asumible por el ecosistema, de tal manera que se garantice la sostenibilidad a cualquier plazo.

Existen ecosistemas de gran valor ecológico que se encuentran amenazados, por lo que la comisión Europea creó la Red Natura 2000 con el objetivo de proteger determinados hábitats y especies de la actividad humana que pueda implicar un impacto negativo. Las zonas protegidas ocupan el 18 % del territorio europeo. Esta red se articula según dos directivas:

- La Directiva de Aves, que protege, aproximadamente, unas 500 especies mediante la creación de Zonas Especiales de Protección de Aves (ZEPA's).
- La Directiva de Hábitats, orientada a diversas especies de fauna y flora. Conlleva la creación de Lugares de Importancia Comunitaria (LICs) por los estados miembros (en el caso de España, por las comunidades autónomas) que tras un proceso administrativo se acaban designando como Zonas Especiales de Conservación (ZEC's).

Hay determinadas instalaciones que, por su claro impacto en las aves, no deben desarrollarse en las ZEPAS. Es el caso por ejemplo de aeropuertos y parques eólicos. Es por ello que las ZEPAS no deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar el potencial eólico de una región. Sin embargo, este impacto no está tan claro en el caso de los LICs, por lo que la decisión de permitir o no la instalación de aerogeneradores recae en las administraciones locales, que han de evaluar cada caso en particular. La comisión europea ha publicado un informe que orienta cómo debe abordarse las interacciones entre las zonas protegidas por la Red Natura y el desarrollo de la energía eólica [5].

La Comunidad de Madrid posee diversas zonas protegidas por la Red Natura 2000, de manera que el 40,4 % del total del territorio está considerado como LIC, dentro del cual algo más de la mitad (un 23,1 % de la comunidad) es además ZEPA [6]. Por claridad, en el resto del trabajo se emplea el término LIC para el 17,3 % del territorio que es únicamente

<sup>1</sup>El mix energético recoge la importancia relativa de cada fuente de generación eléctrica empleada para cubrir la demanda.

LIC, y se reserva el término ZEPA para el 23,1 % del territorio que es a la vez ZEPA y LIC (ver Figura 3).

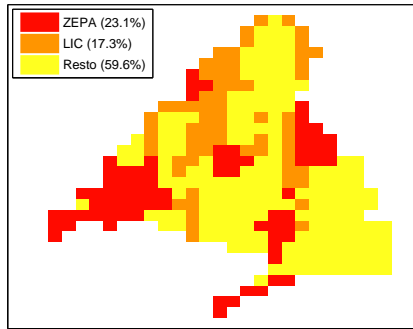


Figura 3: Areas de la Red Natura 2000 en la Comunidad de Madrid (las ZEPAs son además LICs) [6].

## Revisión del estudio encargado por la Comunidad de Madrid sobre el potencial eólico en la Comunidad

El Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012 [7] recoge las medidas propuestas por el gobierno de la comunidad para este periodo en temas de energía y eficiencia. Para abordar la estimación del potencial eólico de la comunidad, se encargó el estudio al laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [8]. El trabajo realizado cuenta con numerosas hipótesis conservadoras, dada la complejidad de los efectos típicamente involucrados en la estimación de potencial eólico.<sup>2</sup> Como resultado, se obtuvo la potencia que se puede instalar en función de un número de horas equivalentes<sup>3</sup> mínimo. Diferencia además dos casos: (i) el de considerar disponible todo el territorio y (ii) el de excluir las ZEPAs. La Tabla 1 recoge los resultados para los casos de 2000 y 2500 horas equivalentes. Por desgracia, el estudio

<sup>2</sup> Así, se introduce una reducción del 30 % del potencial y una separación entre aerogeneradores mayor de la que habitualmente se emplea.

<sup>3</sup> Número de horas que, funcionando a potencia nominal, una determinada fuente de energía (o conjunto de ellas) genera la misma energía que su producción real en un año. El número de horas de un emplazamiento eólico (o región, o país) está ligado a su potencial eólico.

	2500 h. eq.	2000 h. eq.
C. de Madrid	404 MW	1196 MW
sin ZEPAs	273 MW	820 MW
sin ZEPAs ni LICs	(No evaluado)	

Tabla 1: Potencial eólico de la Comunidad de Madrid en función del territorio y del número de horas equivalentes considerados.

no ofrece datos de potencial para el caso de excluir los LICs.

A raíz de este estudio, la comunidad propuso en su plan [7] una progresiva implantación de energía eólica hasta alcanzar, en 2012, la cantidad de 200 MW instalados, que se deriva de exigir emplazamientos con más de 2500 horas equivalentes una vez excluidas las ZEPAs. Sin embargo, Madrid es la única comunidad que no tiene ni potencia eólica instalada ni actuaciones planificadas para su desarrollo.<sup>4</sup>

## Propuesta para Madrid

De cara a obtener un compromiso más sólido entre la sostenibilidad económica y la medioambiental, se pueden hacer las siguientes consideraciones sobre el potencial anteriormente estimado:

1. No se debe asumir a priori que los LICs son lugares disponibles para la instalación de energía eólica. Más bien al contrario, es interesante conocer el potencial de la Comunidad excluyendo también estos territorios, de manera que dicho potencial suponga un límite inferior susceptible de aumentar si se comprueba que los aerogeneradores no suponen un impacto negativo para cada LIC en particular.
2. Debe aceptarse que un emplazamiento de 2000 horas equivalentes es económicamente viable, en vez de 2500 como considera el estudio. La Figura 4 muestra las horas equivalentes promedio por comunidades para el año 2009, donde se aprecia que sólo las Islas Canarias superan esta cifra. Sin embargo, la media nacional es de casi 2000 horas para este año (y se ha mantenido en esta cifra en los últimos 8 años).

La primera consideración supone un descenso del potencial de la Comunidad de Madrid (al excluir un porcentaje del territorio como viable para instalar

<sup>4</sup> A día 31 de Marzo de 2010 no tiene solicitado acceso a la red de transporte de nueva generación eólica [3] (año 2009), un paso previo a la instalación de parques eólicos.

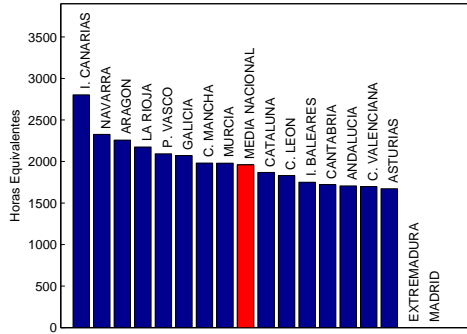


Figura 4: Horas equivalentes de potencia eólica por comunidades.

energía eólica) mientras que la segunda supone un aumento (al considerar como aceptables emplazamientos con un menor número de horas equivalentes). La cuestión es ahora ver cómo se modifica el potencial de la comunidad al tener en cuenta estos dos nuevos criterios.

La metodología propuesta consiste en estimar el porcentaje relativo de potencial eólico de cada una de las tres áreas en que se puede dividir la comunidad (LICS, ZEPAS y resto). A partir de estos porcentajes, y utilizando como base los mismo resultados del estudio del apartado anterior (Tabla 1), se alcanza un nuevo potencial corregido que incluye las dos medidas mencionadas.

Para calcular los porcentajes relativos de cada una de las tres áreas es necesario combinar datos tanto de extensión territorial como de velocidad media de viento. Para ello se hace uso del mapa eólico nacional realizado por el Centro Nacional de Energías Renovables.<sup>5</sup> Este mapa proporciona la velocidad media a 10 metros de altura en una malla con una resolución de 4.5 km (ver Figura 5). El potencial eólico de uno de estos cuadrados se puede estimar mediante:

$$P = 1/2\rho AC_p\bar{v}_H^3$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  y  $C_p$  son parámetros tecnológicos del aerogenerador y  $\bar{v}_H$  la velocidad media del viento a la altura del buje. Puesto que sólo se dispone de datos de velocidad media a 10 metros, los potenciales obtenidos serían a esta altura. Pero dado que lo que se persigue son los porcentajes relativos (para comparar unas zonas con otras), es razonable el uso de los datos mencionados.

<sup>5</sup>Disponible en <http://www.globalwindmap.com>

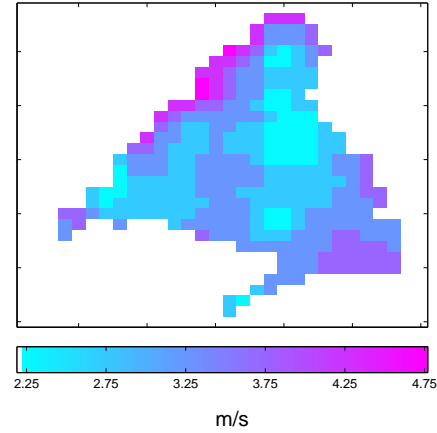


Figura 5: Velocidad media a 10m. Elaboración propia a partir de datos del mapa eólico nacional.

De esta manera, y suponiendo la misma densidad y los mismos aerogeneradores para toda la comunidad, obtenemos que el potencial en cada cuadrado de  $4,5 \times 4,5 \text{ km}^2$  depende directamente del cubo de la velocidad media a 10 metros de altura:

$$P = C \cdot \bar{v}_{10m}^3$$

Para estimar el potencial relativo de cada una de las tres áreas (ZEPAS, LICS y resto) se aplica la siguiente relación:

$$P_{area}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{area} C \cdot \bar{v}_{10m}^3}{\sum_{total} C \cdot \bar{v}_{10m}^3}$$

donde el sumatorio del numerador se extiende a todos los cuadrados de esa determinada área mientras que el del denominador se extiende a toda la Comunidad de Madrid. La Figura 6 muestra los resultados obtenidos, donde se aprecia que la velocidad media en los LICs es sensiblemente más alta que en el resto del territorio, lo que hace que su potencial eólico sea del 25,6 % aunque en extensión sólo suponga un 17,3 %.

A partir de estos porcentajes relativos, si se toma como válida la cantidad de 1196 MW en todo el territorio (caso de 2000 horas en la Tabla 1), corresponderían 653 MW eólicos a la comunidad una vez excluidos LICs y ZEPAS.

$$P_{RESTO} = 1196 \cdot 54,6\% = 653 \text{ MW}$$

Si ahora se considera como válida la cantidad de 820 MW al excluir ZEPAs (caso de 2000 horas en

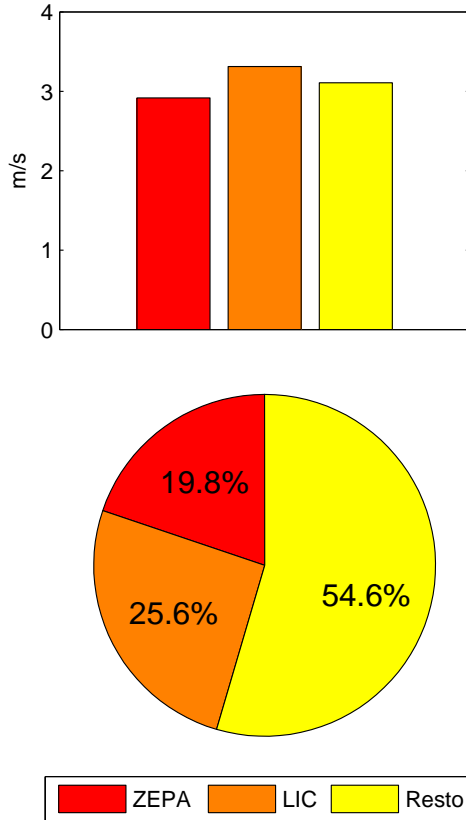


Figura 6: Velocidad media a 10 metros (arriba) y porcentaje de potencial eólico (abajo) según el tipo de área.

la Tabla 1), entonces, al excluir además los LICs, se obtendría un potencial de 558 MW.

$$P_{RESTO} = 820 \cdot \frac{54,6\%}{54,6\% + 25,6\%} = 558 \text{ MW}$$

El rango obtenido de 558-653 MW es por tanto la estimación del potencial eólico de la Comunidad de Madrid una vez excluidos ZEPAs y LICs y teniendo como viabilidad económica la cifra de, como mínimo, 2000 horas equivalentes. Hay que tener en cuenta que la metodología aquí propuesta se ha hecho a partir de valores medios de cara a tener una estimación orientativa del conjunto de la comunidad, si bien un estudio pormenorizado del potencial de zonas más concretas requeriría herramientas más sofisticadas.

Por lo tanto, y por redondear a la baja, se propone la cifra de 500 MW como potencial eólico en la Comunidad de Madrid. Este valor se considera factible (se han hecho numerosas hipótesis conservadoras), medioambientalmente sostenible (por partir de la base de que tanto las ZEPAS como los LICs quedan excluidos de proyectos eólicos) y económicamente viable (puesto que se asume como aceptable los emplazamientos con un valor de horas equivalentes similar a la media nacional). La inversión económica, dado el marco legislativo actual, sería aportado en su totalidad por el sector privado, siendo únicamente necesario por parte de la administración establecer los concursos adecuados, así como exigentes mecanismos de supervisión medioambiental que protejan las zonas de conservación de actos fraudulentos.<sup>6</sup> Esta potencia generaría como mínimo una energía anual de:

$$E[\text{MWh}] = 500[\text{MW}] \cdot 2000[\text{h}] = 10^6 \text{ MWh}$$

lo que equivale al 3,3 % del consumo eléctrico total de la Comunidad de Madrid en 2009 [9]. En términos de consumo doméstico representa el de aproximadamente unos 650.000 habitantes, lo que equivale al conjunto de las localidades de Alcalá de Henares, Leganés, Móstoles y Tres Cantos [10].

## Referencias

- [1] AEE. Eólica 2010. Anuario, Junio 2010. Disponible en <http://www.aeolica.es/>.
- [2] EurObservER. Wind Power Barometer, 2011. Disponible en <http://www.eurobserv-er.org/>.
- [3] REE. El sistema eléctrico español. Disponible en <http://www.ree.es/>.
- [4] [http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Comunidades\\_autónomas\\_de\\_España\\_por\\_superficie](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Comunidades_autónomas_de_España_por_superficie).
- [5] European Commission. Wind energy developments and natura 2000, 2010. Disponible en [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/guidance\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/guidance_en.htm).
- [6] Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Atlas. El medio ambiente en la Comunidad de Madrid, 2007. Disponible en <http://www.madrid.org>.

<sup>6</sup>Como por ejemplo la fragmentación de parques eólicos en grupos más pequeños para evitar una evaluación del impacto ambiental más rigurosa.

- [7] Plan energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012. Disponible en <http://www.madrid.org>.
- [8] Emilio Migoya, Antonio Crespo, Ángel Jiménez, Javier García, and Fernando Manuel. Wind energy resource assessment in Madrid region. *Renewable Energy*, 32(9):1467 – 1483, 2007.
- [9] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Balance energético de la Comunidad de Madrid, 2009. Disponible en: <http://www.fenercom.com>.
- [10] Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. <http://www.madrid.org/iestadis/>.