

ENERGÍA Y TERRITORIO
dinámicas y procesos

COMUNICACIONES

XXII CONGRESO DE GEÓGRAFOS ESPAÑOLES
Universidad de Alicante, 2011

ENERGÍA Y TERRITORIO
dinámicas y procesos

COMUNICACIONES

XXII CONGRESO DE GEÓGRAFOS ESPAÑOLES
Universidad de Alicante, 2011

Editores
Vicente Gozávez Pérez
Juan Antonio Marco Molina

Los estudios publicados en este libro han sido evaluados, de forma anónima, por dos miembros del COMITÉ CIENTÍFICO EVALUADOR:

Javier MARTÍN VIDE, Presidente de la Asociación de Geógrafos Españoles.

Antonio PRIETO CERDÁN, Presidente del Colegio de Geógrafos.

Rafael MATA OLMO, Catedrático de Análisis Geográfico Regional, Universidad Autónoma de Madrid.

Lluïsa DUBÓN PRETUS, Geógrafa. Instituto Balear de Estadística de les Illes Balears.

Cayetano ESPEJO MARÍN, Profesor Titular de Geografía Humana, Universidad de Murcia.

Marina FROLOVA, Investigadora Ramón y Cajal, Universidad de Granada.

José Manuel MOREIRA MADUEÑO, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Juan M. ALBERTOS PUEBLA, Presidente Grupo de Geografía Económica, Universidad de Valencia.

Francisco J. ANTÓN BURGOS, Presidente Grupo Geografía de los Servicios, Universidad Complutense.

José ARNÁEZ VADILLO, Presidente Grupo Geografía Física, Universidad de La Rioja.

M^a Asunción ROMERO DÍAZ, Presidenta Grupo Geografía Física, Universidad de Murcia.

José CARPIO MARTÍN, Presidente Grupo Geografía de América Latina, Universidad Complutense.

Rosa JORDÁ BORRELL, Presidenta Grupo Estudios Regionales, Universidad de Sevilla.

María Luisa DE LÁZARO Y TORRES, Presidenta Grupo de Didáctica de la Geografía, Universidad Complutense.

Diego LÓPEZ OLIVARES, Presidente Grupo Geografía del Turismo, Ocio y Recreación, Universidad Jaume I de Castellón.

Francisco J. MARTÍNEZ VEGA, Presidente Grupo Tecnologías de la Información Geográfica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

Nicolás ORTEGA CANTERO, Presidente Grupo del Pensamiento Geográfico, Universidad Autónoma de Madrid.

Juan Ignacio PLAZA, Presidente Grupo de Geografía Rural, Universidad de Salamanca.

Domingo F. RASILLA ÁLVAREZ, Presidente Grupo de Climatología, Universidad de Cantabria.

Francisco RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, Presidente Grupo de Desarrollo Local, Universidad de Granada.

Vicente RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, Presidente Grupo de Población, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

Onofre RULLÁN SALAMANCA, Presidente Grupo de Geografía Urbana, Universitat de les Illes Balears.

Juan Antonio MARCO MOLINA, Director Departamento Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Alicante.

Vicente GOZÁLVEZ PÉREZ, Director Departamento Geografía Humana, Universidad de Alicante.

Antonio MARTÍNEZ PUCHE, Universidad de Alicante.

Rosario NAVALÓN GARCÍA, Universidad de Alicante.

Jorge OLCINA CANTOS, Universidad de Alicante.

Salvador PALAZÓN FERRANDO, Universidad de Alicante.

Gabino PONCE HERRERO, Universidad de Alicante.

COMITÉ ORGANIZADOR

José Antonio LARROSA ROCAMORA

Antonio MARTÍNEZ PUCHE

Rosario NAVALÓN GARCÍA

Jorge OLCINA CANTOS

Ascensión PADILLA BLANCO

Salvador PALAZÓN FERRANDO

Antonio PRIETO CERDÁN

Vicente GOZÁLVEZ PÉREZ

Juan Antonio MARCO MOLINA

© Los autores de las comunicaciones

ISBN: 978-84-938551-1-6

Depósito legal: MU 1235-2011

Diseño portada: Miriam Ponce Pérez

Maquetación e impresión: COMPOBELL, S.L.

ÍNDICE

Presentación	11
Energía, territorio y sociedad: zona XIV del Plan Eólico Valenciano	13
<i>Agulló Carbonell, B. y Palací Soler, J.</i>	
Nuevas funciones para espacios de tradición energética: el núcleo de Santa Lucía de Gordón (León).....	23
<i>Benito del Pozo, P. y Luna Rabanal, C.</i>	
La cooperación internacional como estrategia contra el cambio climático	35
<i>Bouso, N.</i>	
Potencialidades territoriales de las energías renovables en Puertollano (Castilla-La Mancha)	49
<i>Cañizares Ruiz, M.C.</i>	
Ciudad, transporte y energía: una nueva propuesta desde la problemática de la movilidad metropolitana	61
<i>Casellas, A. y Poli, C.</i>	
Relaciones entre el consumo energético y el desarrollo social y económico de la población en los países del G-20.....	73
<i>Cutillas Orgilés, E.</i>	
Evaluación de recursos eólicos: fuentes de información y SIG disponibles para la elaboración de atlas de viento	85
<i>De Andrés Ruiz, C. y Hermosilla Pla, J.</i>	
Desarrollo de las energías renovables y cambios paisajísticos: propuesta de tipología y localización geográfica de los paisajes energéticos de España.....	97
<i>De Andrés Ruiz, C. e Iranzo García, E.</i>	

El papel de la red eléctrica en la definición de las potencialidades territoriales para la implantación de la energía eólica en Andalucía	109
<i>Díaz Cuevas, M.P.; Pita López, M.F. y Zoido Naranjo, F.</i>	
Dinámicas energéticas y turísticas. Relaciones y reacciones en Canarias	119
<i>Fernández Latorre, F.</i>	
El efecto de las energías renovables en el paisaje vitivinícola de la denominación de origen de Cigales	129
<i>Fernández Portela, J.</i>	
La energía como reto para la ordenación del territorio en el siglo XXI	141
<i>García Martínez, M.</i>	
La difusión de la función energética en Castilla y León: fuerte presencia de fuentes clásicas y apuesta por las nuevas energías	153
<i>Herrero Luque, D.</i>	
El futuro de la minería del carbón en España. La valorización turística de territorios en declive	165
<i>Hidalgo Giralt, C. y Palacios García, A. J.</i>	
La problemática de los parques eólicos en las áreas administrativas limítrofes: beneficio económico frente a degradación paisajística	177
<i>Ibarra, P.; Ballarín, D.; Mora, D.; Pérez-Cabello, F.; Zúñiga, M.; Echeverría, M. T.; Albero, M. J. y Santed, S.</i>	
Aportación de las dehesas a la mitigación del cambio climático	191
<i>Leco Berrocal, F.; Mateos Rodríguez, B. y Pérez Díaz, A.</i>	
Patrones de movilidad y consumo energético en la ciudad difusa: el caso del municipio de Lliçà d'Amunt en el área metropolitana de Barcelona	203
<i>Martínez Casal, A. D.</i>	
La producción de energía hidroeléctrica en Extremadura	215
<i>Mateos Rodríguez B. y Leco Berrocal, F.</i>	
Asturias en el sistema energético: del nacionalismo a la globalización	227
<i>Maurín Álvarez, M.</i>	
El emplazamiento de las plantas fotovoltaicas y sus repercusiones paisajísticas	239
<i>Mérida Rodríguez, M.; Lobón Martín, R.; Perles Roselló, M. J. y Reyes Corredera, S.</i>	

Las potencialidades de la biomasa forestal. Galicia, el almacén forestal de España.....	251
<i>Miramontes Carballada, Á. y Alonso Logroño, M. P.</i>	
Informe de las características del viento en la zona 14 y límites para la instalación de aerogeneradores y acerca de los impactos paisajísticos y económicos de dicha instalación.....	265
<i>Moltó Mantero, E.</i>	
Autopistas del mar y ferroustage. Alternativas de ecoeficiencia intermodal.....	277
<i>Moreno Navarro, J. G.</i>	
Valorización energética de la biomasa forestal en Euskadi	289
<i>Moro Deordal, I.</i>	
Burbuja inmobiliaria versus expansión fotovoltaica. Análisis comparado en España, 2002-2009.....	301
<i>Ortells Chabrera, V. y Querol Gómez, A.</i>	
Las transformaciones del territorio derivadas de la producción de cultivos para biocombustibles	311
<i>Ortiz Pérez, S.</i>	
Dimensión socioeconómica de las energías renovables en Extremadura.....	323
<i>Pérez Díaz, A.; Leco Berrocal, F. y Mateos Rodríguez, B.</i>	
El arco mediterráneo español, geopolíticas energéticas 1950-2010	335
<i>Pérez Morales, A.</i>	
La gestión de los recursos naturales, la energía y el medio ambiente en la «revalorización integral de la platja de Palma»	347
<i>Picornell Cladera, M.; Ramis Cirer, C. I. y Arrom Munar, J. M.</i>	
INTIGIS: evaluación de alternativas de electrificación rural basada en Sistemas de Información Geográfica.....	361
<i>Pinedo-Pascua, I. y Domínguez, J.</i>	
Evolución del precio del gasoil y del precio del pescado fresco en los últimos diez años. Una aproximación desde la Geografía.....	373
<i>Piñero Antelo, M. A.</i>	
El desarrollo de la energía termosolar en La Mancha: innovación territorial, diversificación económica, gestión del agua y sostenibilidad	387
<i>Plaza Tabasco, J.</i>	

Estudio de potencial energético renovable en la isla de Cuba	399
<i>Rodríguez, M.; Domínguez, J.; Prados, M. J. y Vázquez, A.</i>	
Análisis crítico del sistema eléctrico español. Propuesta de alternativas	411
<i>Saladié Gil, S.</i>	
Geopolítica de la implantación eólica en Catalunya.....	425
<i>Saladié Gil, S.</i>	
La seguridad del suministro energético en el sur de Europa occidental: el gas argelino como posible factor geopolítico en la integración regional del espacio euromediterráneo	437
<i>Salinas Palacios, D.</i>	
La interdependencia hispano-argelina en cuestiones energéticas.....	449
<i>Sempere Souvannavong, J. D.</i>	

EVALUACIÓN DE RECURSOS EÓLICOS: FUENTES DE INFORMACIÓN Y SIG DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE VIENTO

Carles de Andrés Ruiz

c.deandres@wpd.fr

Wpd Energie 21 Centre France SARL, Universidad de Limoges (Francia)

Jorge Hermosilla Pla

Jorge.Hermosilla@uv.es

Departamento de Geografía, Universitat de València EG

Resumen: En esta comunicación, se realiza una síntesis de las diferentes fuentes de información sobre los recursos eólicos y los SIG que han sido utilizados en el ámbito europeo para la planificación territorial del desarrollo de la energía eólica. Además, se analizan diferentes casos de ordenación territorial del desarrollo eólico de Alemania, Francia y España en los que se han utilizado estas fuentes de información y SIG para la elaboración de atlas de viento a diferentes escalas. En varios de estos ejemplos, los geógrafos profesionales han contribuido en la realización de los mapas eólicos.

Palabras clave: Recursos eólicos; Energía eólica; SIG; Planificación territorial; Atlas eólicos.

WIND RESOURCES ASSESSMENT: SOURCES AND GIS EMPLOYED FOR GETTING WIND MAPS

Abstract: Different sources and Geographical Information Systems (GIS) are available to estimate wind resources of an area. This paper is a synthesis of these sources and GIS employed in European countries for wind energy planning. We also present some examples where these sources and GIS have been employed in wind energy planning process with different scales. In some of these examples, the role of professional geographers was significant.

Key words: Wind resources; Wind energy; GIS; Spatial planning; Wind maps.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eólica constituye una fuente de energía renovable que sin lugar a dudas puede contribuir al cambio de modelo energético en Europa y en el resto de continentes. Por ejemplo, los parques eólicos produjeron el 16,4 % de la energía eléctrica generada en España en 2010 (REE, 2011). Esta fuente de energía renovable presenta numerosas ventajas ya que permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero (y la producción de residuos nucleares), tiene efectos socio-económicos notables en el ámbito local y regional y todo ello, a un coste razonable del kW/h producido. Sin embargo, la implantación de parques eólicos no puede tener lugar en cualquier emplazamiento, ya que los impactos sobre el paisaje, el patrimonio, la avifauna o los quirópteros podrían ser significativos. Las autoridades locales y regionales con competencias en ordenación del territorio deben identificar los sectores geográficos en los que la implantación de estas instalaciones puede tener lugar, siguiendo criterios de orden medio ambiental, paisajístico y técnico-económico.

Diferentes autores han identificado los diferentes factores de localización geográfica de los parques eólicos que han de ser tenidos en cuenta por las autoridades con competencias en ordenación del territorio. Por ejemplo, BABAN Y PARRY en 2001, señalan hasta 14 factores de localización diferentes a los que podríamos añadir muchos más. Obviamente, entre estos factores de localización geográfica de los parques eólicos, la cantidad y calidad de recursos eólicos de un territorio es un parámetro fundamental para realizar una correcta planificación territorial del desarrollo de esta fuente de energía.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

¿Por qué razón la evaluación de los recursos eólicos de una zona es tan necesaria para realizar una planificación territorial correcta de la implantación de parques eólicos? Aunque es obvio que los aerogeneradores deben ser instalados en zonas ventosas, la respuesta es más compleja.

En primer lugar, se ha de precisar que la velocidad media anual del viento es el parámetro meteorológico fundamental que determina la cantidad de energía que puede producir un parque eólico. Teniendo en cuenta que la cantidad de energía de un viento aumenta exponencialmente¹ con la velocidad del mismo, la cantidad de electricidad que puede producir un aerogenerador varía enormemente. Como se puede apreciar en la figura 1, cuando la velocidad media anual del viento de un emplazamiento pasa de 5 m/s a 10 m/s, un aerogenerador estándar de 2 MW puede producir tres veces más de electricidad. Así pues, los parques

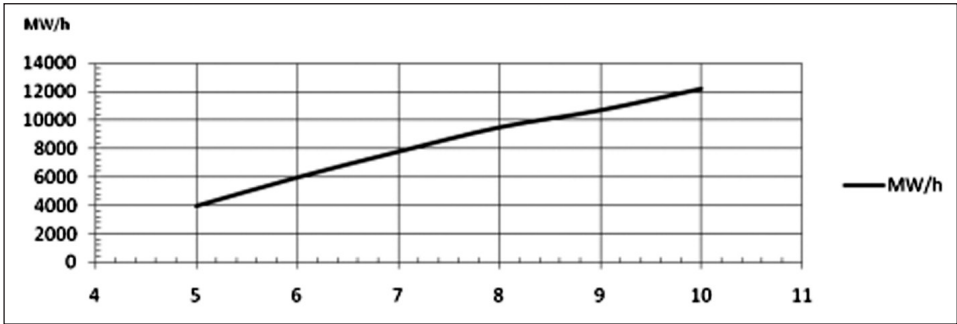
¹ La cantidad de energía del viento se obtiene según la fórmula $P=1/2*d*V^3$ en la que P es la potencia del viento medida en W, d es la densidad del aire (1,225 kg/m³ al nivel del mar) y V es la velocidad del viento.

eólicos implantados en las zonas más ventosas contribuirán mucho más a los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero y de reducción de residuos radioactivos que los implantados en las zonas menos ventosas, y por lo tanto, la eficiencia de las políticas de planificación territorial de la energía eólica será mayor definiendo las zonas aptas para parques eólicos en las zonas con mejores recursos eólicos de un territorio.

En segundo lugar, desde un punto de vista estrictamente económico, hemos de tener en cuenta que la viabilidad económica de los parques eólicos será mayor en las zonas ventosas y por lo tanto, permitirá a los propietarios de estas instalaciones generar la electricidad a un coste inferior del kW/h. Esto será especialmente importante en un futuro próximo en el que la electricidad eólica esté en el mercado, al mismo nivel que otras fuentes de energía convencionales.

Así pues, el objetivo de esta comunicación es presentar las fuentes de información y los Sistemas de Información Geográfica (SIG en adelante) más comunes utilizados para la elaboración de atlas de viento, mostrando ejemplos prácticos de elaboración de mapas eólicos que han sido utilizados en la planificación territorial de esta fuente de energía renovable en Alemania, Francia y España. El objetivo de la comunicación también es demostrar que la elaboración de estos atlas eólicos es una tarea al alcance de los geógrafos profesionales.

FIGURA 1. Producción anual de electricidad de un aerogenerador de 2 MW en función de la velocidad media anual del viento en un emplazamiento



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por wpd Energie 21 Centre France SARL.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta comunicación se presentan, en primer lugar, las diferentes fuentes de información y SIG para elaborar atlas eólicos. En segundo lugar, se analizan los diferentes casos de planificación territorial de la energía eólica en los que se han utilizado estas fuentes y SIG acompañando la explicación de algunos mapas de potencial eólico.

La información necesaria para la redacción de esta comunicación se ha obtenido a través de entrevistas a diferentes actores: responsables de ordenación del territorio en la administración, empresas especializadas en la evaluación de recursos eólicos, empresas promotoras de parques eólicos, organismos nacionales de meteorología, instituciones responsables del desarrollo de las energías renovables, etc. Igualmente, la experiencia de los autores en el campo de la evaluación de los recursos eólicos ha sido un input importante.

4. FUENTES DE INFORMACIÓN PARA ELABORAR ATLAS EÓLICOS

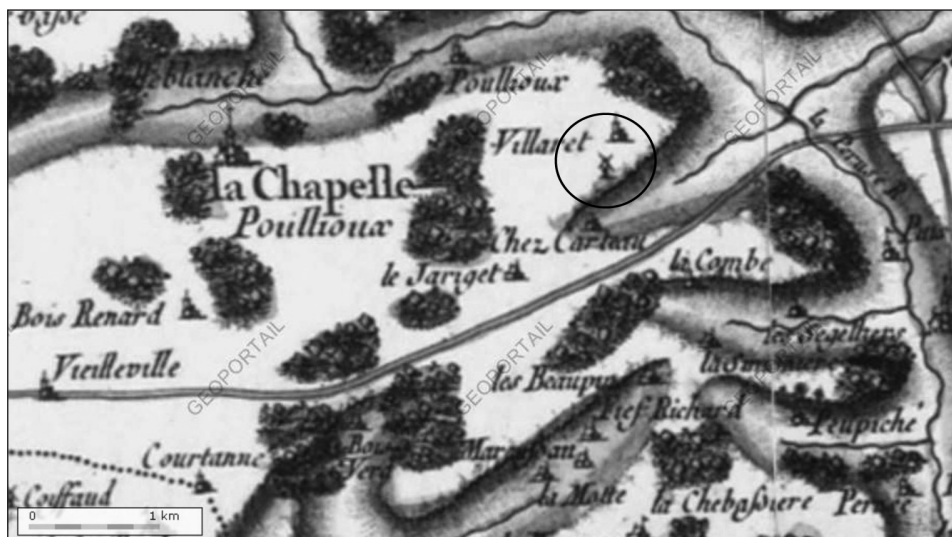
En el ámbito europeo, cuatro fuentes de información han sido utilizadas con frecuencia para la elaboración de atlas eólicos: la cartografía histórica, los datos de estaciones de los organismos estatales de meteorología, los datos de campañas de medición de viento y las bases de datos de reanálisis.

4.1. La cartografía histórica

Desde el siglo X hasta el inicio de la Revolución Industrial y la utilización de nuevas fuentes de energía no renovables, existió un desarrollo espectacular de los molinos de viento en el continente europeo. Estos molinos presentaban dos utilidades principales: moler el grano y el bombeo de agua para ganar terreno al mar (pólder del Mar del Norte) y en algunas ocasiones fueron cartografiados en mapas antiguos, lo que nos permite hoy en día conocer su localización, a pesar de que estas construcciones hayan desaparecido completamente o se encuentren en ruina. Probablemente, uno de los ejemplos más interesantes de cartografía histórica en los que podemos encontrar fácilmente molinos de viento es el mapa de Cassini, realizado en la Francia del Siglo XVIII. La presencia de molinos de viento en estos mapas históricos nos indica que estamos en un sector en el que el potencial eólico es importante. Así pues, la superposición sobre un mapa actual de la localización de los antiguos molinos de viento puede constituir un indicador importante sobre los recursos eólicos de un territorio. En el ejemplo de la figura 2, en la actualidad, no existe ningún vestigio de molino de viento, sin embargo un parque eólico está pendiente de autorización administrativa en un emplazamiento situado a unos 800 m. Obviamente, otras fuentes históricas diferentes de la cartografía, como el catastro del Marqués de la Ensenada en España, pueden ser útiles para localizar antiguos molinos de viento.

La principal ventaja de esta fuente de información es que permite, a un coste muy reducido, localizar áreas en las que los recursos eólicos son interesantes. El principal inconveniente es que los factores de localización de los molinos de viento eran varios y no únicamente la presencia de un potencial eólico importante. La proximidad de los «clientes» del molino que debían aportar el grano, tuvo una influencia obvia en la construcción de molinos. Además, se debe tener en cuenta que en la sociedad preindustrial, fuentes de energía como la hidráulica

FIGURA 2. Molino de viento en el mapa de Cassini del S. XVIII



Fuente: Geoportail.

estaban disponibles y eran más fácilmente utilizables, de hecho, los molinos de viento europeos se construyeron mayoritariamente en los lugares en los que la energía hidráulica no estaba disponible para las poblaciones, ya sea por razones topográficas, como en la península de Jutlandia, donde los saltos de agua son escasos, o climáticas, como en la Mancha (cursos de agua poco numerosos). Así pues, en muchos lugares, a pesar de contar con recursos eólicos muy interesantes, no se construyeron molinos de viento, y si se utiliza únicamente esta fuente de información, muchas áreas interesantes se excluyen. Se trata pues de una fuente de información que se tiene que combinar con otras.

Tenemos constancia de un caso en el que esta fuente de información ha sido utilizada, el *Atlas du Gisement Eolien Francilien*.

4.2. Las estaciones de los organismos estatales de meteorología

Los organismos estatales de meteorología como el Instituto Nacional de Meteorología en España, Météo France en Francia o el Deutscher Wetterdienst (DWD) en Alemania disponen de una red de estaciones meteorológicas en las que se mide la velocidad y dirección del viento a 10 m de altura.

La principal ventaja de esta fuente de información es que, las series temporales de las que se dispone, cubren periodos relativamente largos que permiten un conocimiento de las condiciones de viento a medio y largo plazo. El coste de los datos meteorológicos no suele ser muy elevado. Entre los inconvenientes de esta fuente de información se pueden citar varios: En primer lugar, estas estaciones

cubren el territorio de forma incompleta, en un área como una provincia española o un departamento francés, suele haber un máximo de cinco estaciones de este tipo. Los territorios en las que las estaciones automáticas nacionales cubren de forma conveniente el territorio son bastante raros y se corresponden en general con antiguos países de la órbita soviética. Por ejemplo, un pequeño país como Armenia (28400 km²) disponía de 66 estaciones automáticas en su territorio a principios del Siglo XXI (ELLIOTT *et al.*, 2003); En segundo lugar, los datos de viento procedentes de estas estaciones suelen presentar errores ya que, en numerosas ocasiones, las construcciones o la vegetación próxima perturban las mediciones; En tercer lugar, las mediciones de estas estaciones no se realizan conforme a los estándares de la industria eólica: son mediciones a 10 m de altura, y con una toma de datos horaria en la que la media de la velocidad del viento se obtiene con los datos de los últimos minutos², siendo esto de poco interés para una evaluación energética.

Los casos en los que se ha utilizado esta fuente de información para la elaboración de atlas eólicos son muy numerosos: el *Atlas du Gisement Eolien Francilien* citado anteriormente, los «*Schéma Régionaux*» de las regiones francesas de Auvergne, Limousin o Poitou-Charentes, el mapa de vientos de la región de planificación alemana Uckermark-Barnim.

4.3. Las campañas de medición de viento

Las campañas de medición de viento se realizan con la ayuda de torres de medición. En estas torres, se instalan anemómetros y veletas de precisión que cada segundo medirán la velocidad y orientación del viento así como otros parámetros que también pueden tener una influencia en la producción de energía de un aerogenerador (temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa). Estos datos son registrados en un *data logger* que realiza una media cada 10 minutos y conserva la información en su memoria interna. Las torres de medición pueden ser de tipo tubular o torres de celosía y su altura puede alcanzar más de 100 m. En la figura 3 se puede apreciar la estructura de una torre de medición de celosía, un anemómetro, una veleta y un *data logger*.

Como ventajas de esta fuente de información, se ha de apuntar que las campañas de medición de vientos con torres se realizan conforme a la norma internacional IEC 61400-12-1:2005 (E) adaptada a la industria eólica y permiten conocer de manera muy precisa los recursos eólicos de un territorio. Como inconvenientes, se ha de citar el alto coste de estas instalaciones (unos 50 000 € por torre de medición) y la brevedad de las series temporales —las campañas de medición suelen durar entre uno y tres años en un mismo emplazamiento— por lo que es necesario apoyarse en los datos de las estaciones meteorológicas estata-

² La organización meteorológica mundial fija las normas de medición del viento de manera que en los 189 países miembros, las mediciones de viento se realicen de la misma forma.

les que disponen de datos a largo plazo. El alto coste de las instalaciones motiva que, en la mayor parte de los casos, estas torres de medición sean instaladas por promotores eólicos, que naturalmente consideran estos datos como altamente confidenciales lo que dificulta que instituciones públicas puedan acceder a ellos para realizar atlas de viento.

FIGURA 3. Torre de medición de celosía, anemómetro, veleta y data logger



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de estas dificultades, se dispone de un caso en el que la administración pública realizó mediciones con torres para evaluar los recursos eólicos de su territorio: el *Atlas Eòlic de Catalunya* de los años 80. En algunos casos como el mapa de vientos del *Schéma Regional Eolien* de la región Limousin, los datos privados de torres de medición fueron también utilizados en la elaboración del documento.

4.4. Bases de datos de reanálisis

Las bases de datos de reanálisis pueden constituir igualmente una fuente de información para la elaboración de atlas eólicos. Estas bases de datos han sido producidas a partir de modelos meteorológicos en los que se combinan datos de radiosondeos, estaciones de los organismos estatales de meteorología o estaciones sinópticas. Estas bases de datos pueden ser públicas como la NARR o la NCAR³. Entre estas bases de datos de reanálisis, no se puede olvidar los productos desarrollados para la industria eólica por la empresa catalana Meteosim y otras empresas similares.

Entre las ventajas de estas fuentes de información se puede citar la fácil accesibilidad —algunas como la NARR se descargan libremente en Internet— así como los largos periodos de tiempo que cubren que permiten tener una imagen representativa de las condiciones de viento a medio y largo plazo (CHUNGWOK, 2007). Entre los inconvenientes, se ha de citar el hecho de que son bases de datos a escala global y, por lo tanto, la precisión de la información no es elevada.

³ *North American Regional Reanalysis y National Center for Atmospheric Research.*

Por ejemplo la NARR trabaja con una resolución de 32 km por lo que siempre es necesaria una adaptación a la escala local.

5. SIG PARA ELABORAR ATLAS EÓLICOS

El número de Sistemas de Información Geográfica que permiten realizar atlas eólicos es muy elevado.

Probablemente el SIG más conocido utilizado en la industria eólica es WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) desarrollado desde mediados de los años 80 por el Departamento de Energía Eólica del Laboratorio Risø, Laboratorio Nacional de Energía Sostenible de la Universidad Técnica de Dinamarca. Las utilidades de este programa no son sólo elaborar atlas eólicos, también permite, por ejemplo, realizar cálculos de producción de parques eólicos concretos. El programa puede ser utilizado solo o combinado con otros programas SIG de la industria eólica (GASCH y TWELE, 2002).

El principio de funcionamiento de este SIG es bastante sencillo. En primer lugar, se deben integrar en el programa las características del viento en un punto determinado del territorio. Habitualmente, los datos integrados en WASP proceden de estaciones meteorológicas nacionales o de campañas de medición de vientos y tienen una duración mínima de un año. En segundo lugar se deben integrar las características sobre la topografía y la rugosidad del territorio. Para la topografía lo ideal es utilizar una malla de una resolución entre 50 y 200 m (en función de la extensión del territorio). Para ello, se puede insertar una base de datos procedente de un instituto geográfico nacional o bases de datos públicas como la de la NASA que cubren la totalidad de la superficie terrestre con una resolución de 92 m. Para la integración de la rugosidad del territorio, hemos de proporcionar la localización geográfica de bosques, setos y construcciones que constituyen un obstáculo a la dispersión del viento. Bases de datos como Corine landcover pueden resultar muy útiles para georeferenciar la vegetación en el programa informático. En cuanto a las construcciones, los mapas topográficos nacionales aportan la información necesaria. WASP ha sido utilizado en la mayor parte de países del mundo para la realización de atlas eólicos a diferentes escalas.

En Francia, un programa desarrollado por el CNRM francés (Centre National de Recherches Météorologiques), el Laboratorio de Aerología del CNRS (Centre National de Recherches Scientifiques) y Meteo France «Meso-Nh» ha permitido la evaluación de los recursos eólicos de diversas regiones francesas como el Limousin o Poitou-Charentes (REGION LIMOUSIN, 2006). Como en WASP, en este programa, la integración de series meteorológicas de larga duración, topografía y rugosidad del terreno es una condición para poder realizar los mapas de viento.

En España, cabe destacar la gama de productos SIG desarrollada por la empresa Meteosim con la que, a partir de modelos meteorológicos complejos se

pueden elaborar atlas eólicos a muy diferentes escalas. Otras empresas ofertan productos similares en el mercado.

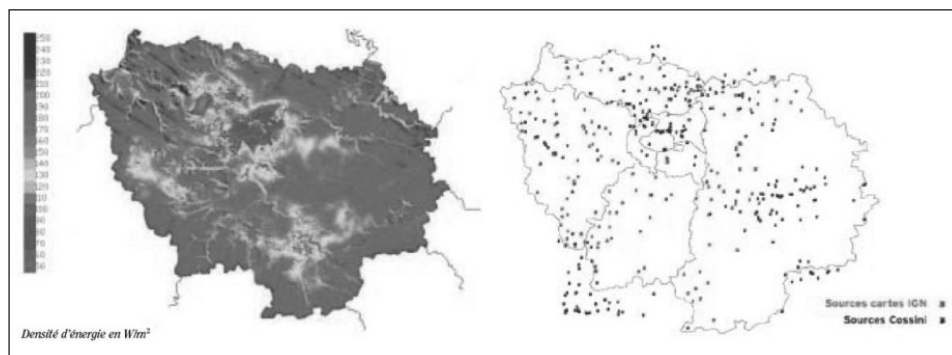
6. EJEMPLOS EUROPEOS DE ATLAS EÓLICOS

A continuación se presentan ejemplos europeos de atlas eólicos, dos en Francia, uno en Alemania y dos en España, en los que las fuentes de información y los SIG citados anteriormente han sido utilizados. Además, el criterio del potencial eólico ha sido tomado en consideración antes de iniciar el proceso de planificación territorial del desarrollo de la energía eólica.

6.1. *Atlas du Gisement Eolien de Ile de France*

En 2002, dos agencias francesas de la region Ile de France: ARENE (Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies) y ADEME (Agence de l'Environnement de la Maîtrise de l'Energie) toman la iniciativa de elaborar un atlas del «yacimiento» eólico de esta región situada en la cuenca de París. El atlas fue elaborado por la empresa *Espace Eolien Développement* a partir de los datos procedentes de estaciones meteorológicas nacionales y el programa informático WASP. Este atlas presenta la particularidad de la utilización de la superposición de la cartografía histórica (mapa de Cassini y mapas del Instituto Geográfico Nacional francés) con el atlas de viento. En la figura 4 se puede apreciar los dos mapas: el mapa de la izquierda muestra la densidad de energía en vatios por metro cuadrado, las zonas claras son las que mayor potencial eólico presentan, y el mapa de la derecha muestra la localización de los antiguos molinos de viento a partir del mapa de Cassini y de mapas del IGN.

FIGURA 4: *Atlas eólico de Ile de France y localización de molinos de viento históricos*



Fuente: Arene.

6.2. Schéma Régional Eolien de la Région Limousin

El *Schéma Régional Eolien* de la Región Limousin comenzó en 2004 como una iniciativa de la administración para conseguir un desarrollo razonable de la energía eólica en el territorio. Las fuentes de información utilizadas fueron las estaciones Meteo France de la región (15 estaciones en total) así como los datos de varias torres de medición suministrados por promotores eólicos. El SIG utilizado fue Meso-NH. Los resultados de este atlas han sido empleados en la definición de las zonas aptas de la región para acoger parques eólicos, las ZDE o «Zones de Développement de l'Eolien». En las empresas que elaboraron tanto el *Atlas du Gisement Eolien Francilien* como el *Schéma Régional Eolien del Limousin* participaron varios geógrafos de profesión.

6.3. Atles eòlic de Catalunya

El *Atles Eòlic de Catalunya* de los años 80 nos parece un ejemplo muy interesante de evaluación de recursos de un territorio por su carácter precursor. Este atlas fue iniciado en 1981 tras la alianza entre el Departamento de Industria y Energía de la Generalitat de Catalunya y varias empresas eléctricas catalanas para realizar un mapa eólico de Cataluña. En 1984 se inicia verdaderamente el trabajo tras la instalación de la primera torre de medición de vientos en el Aeropuerto del Prat (GENERALITAT DE CATALUNYA, 1990, 1993, 1996).

Hasta 1988 se realizarán mediciones en 83 puntos de Catalunya que servirán para confeccionar un primer atlas eólico (figura 5) con la velocidad media del viento a 10 metros de altura en todo el territorio a partir de una simple interpolación lineal. Este trabajo pionero en España se continuó con el programa «Pla de parcs eòlics de Catalunya» y varios estudios más que contribuyeron a mejorar el conocimiento del potencial eólico del territorio antes de definir las zonas aptas para la ubicación de parques eólicos.

FIGURA 5. Mapa eólico de Catalunya en 1988



Fuente: Generalitat de Catalunya.

6.4. *Regionatlas Eneuerbare Energien Uckermark-Barnim*

En el año 2000, la región de planificación Uckermark-Barnim situada en Alemania (Land Brandenburg, al Norte de Berlín) decide realizar un atlas en el que se identifique el potencial de desarrollo de energías renovables de su territorio, el *Regionatlas Eneuerbare Energien*. Así pues, diferentes mapas sobre la radiación solar, el potencial eólico, el potencial geotérmico, hidráulico, de generación de biogás, son elaborados bajo la dirección de un geógrafo profesional. Los mapas del potencial eólico son generados a partir de WASP y esta información combinada con diferentes criterios técnicos y medioambientales permite definir las 36 zonas aptas para el desarrollo de parques eólicos (REGIONALE PLANUNGS-TELLE UCKERMARK-BARNIM, 2000, 2002). En este territorio de llanura, el criterio del potencial eólico no fue de gran importancia puesto que la velocidad media anual del viento no presentaba grandes variaciones en el espacio. Aun así, la mayor parte de las 36 zonas se encontraban en el Landkreis Uckermark -con mayor potencial eólico y menor sensibilidad medioambiental- que el Landkreis-Barnim.

6.5. Atlas eólico de España

En 2009, el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía) decide elaborar un atlas eólico preciso que cubra la totalidad del estado español y que sea fácilmente accesible mediante un SIG. Este atlas fue elaborado a partir de las bases de datos de reanálisis y un modelo de simulación meteorológica de la empresa Meteosim. Actualmente, un SIG disponible en internet permite a través de una simple página web conocer el potencial eólico de cada punto del territorio español de manera bastante precisa. Para cada autonomía española es posible descargar un mapa eólico regional. Este documento ha permitido en muchas comunidades autónomas obtener por primera vez un documento público que muestre los recursos energéticos eólicos.

7. CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha comprobado como en los territorios europeos analizados, la evaluación de los recursos eólicos ha sido realizada de manera previa al desarrollo eólico del territorio. Este análisis ha permitido definir las áreas de ubicación de parques eólicos de manera racional, con el fin de realizar una planificación territorial de esta fuente de energía lo más eficiente posible.

En segundo lugar, se ha podido verificar que la mayor parte de las fuentes de información utilizadas para la elaboración de atlas eólicos son utilizadas en otros campos de la geografía. Igualmente, los Sistemas de Información Geográfica que permiten la elaboración de atlas de viento son herramientas accesibles para geógrafos. Así pues, los geógrafos, tanto desde el ámbito universitario como desde

el ámbito de la empresa, pueden contribuir a la evaluación de los recursos eólicos de un territorio realizando atlas de viento. Parece claro también que los geógrafos pueden jugar un papel importante en la evaluación de otros recursos energéticos renovables cuyas tecnologías aun no han conocido un desarrollo como el de la energía eólica.

BIBLIOGRAFÍA

- BABAN, S.M.J. y PARRY, T. (2001): «Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK», *Renewable energy*, nº 24, p. 59-71.
- CHUNGWOOK, S. (Dir.) (2007): *Estimating the Optimal Location of a New Wind Farm based on Geospatial Information System Data*, University of Texas at Austin <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro08/Introduction/TermProjects/Sim.htm> (17/04/2011).
- ELLIOTT, D.; SCHWARTZ, M.; SCOTT, G.; HAYMES, S.; HEIMILLER, D.; GEORGE, R. (2003): *Wind Energy Resource Atlas of Armenia*, Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, 169 p.
- GASCH R., TWELE J., (2002): *Wind power plants. Fundaments, Design, Construction and Operation*, Berlin, Solarpraxis, 390 p.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (1993): *Atlas eòlic de Catalunya. Resultats del tercer any i conclusions* (Gener 87 – Mars 88), Barcelona, Generalitat de Catalunya, 185 p.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (1990): *Atlas eòlic de Catalunya. Resultats del segon any i conclusions* (Nov. 85-Dec. 86), Barcelona, Generalitat de Catalunya, 167 p.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (1996): *Pla de parcs eòlics de Catalunya*, Barcelona, Generalitat de Catalunya, 44 p.
- REE - RED ELECTRICA ESPAÑOLA (2011): *El sistema eléctrico español. Avance del informe 2010*, Madrid, Red eléctrica española, 28 p.
- REGION LIMOUSIN (2006): *Schéma Régional Eolien, pour un développement raisonné de l'éolien*, Limoges, Région Limousin, 97 p.
- REGIONALE PLANUNGSTELLE UCKERMARK-BARNIM (2000): *Regionalplan Uckermark-Barnim*. Sachlicher Teilplan. Windnutzung, Rohstoffsicherung und gewinnung, Eberswalde. Regionale plannungsgemeinschaft Uckermark-Barnim, 19 p.
- REGIONALE PLANUNGSTELLE UCKERMARK-BARNIM (2002): *Regionalatlas Erneuerbare Energien*, Eberswalde. Regionale plannungsgemeinschaft Uckermark-Barnim, 50 p.