

# Influencia de los parques eólicos

## EN LOS RADARES METEOROLÓGICOS

DAVID DE LA VEGA, ITZIAR ANGULO, DAVID GUERRA  
DPTO. INGENIERÍA DE COMUNICACIONES, UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO (UPV/EHU)

Los parques eólicos, en ciertas condiciones, pueden degradar la información meteorológica proporcionada por los radares. La realización de un estudio de impacto previo a la instalación del parque eólico es, hoy por hoy, la mejor herramienta para la necesaria convivencia de energía eólica y radares meteorológicos.

### 1 ¿Pueden los aerogeneradores interferir la señal de los radares?

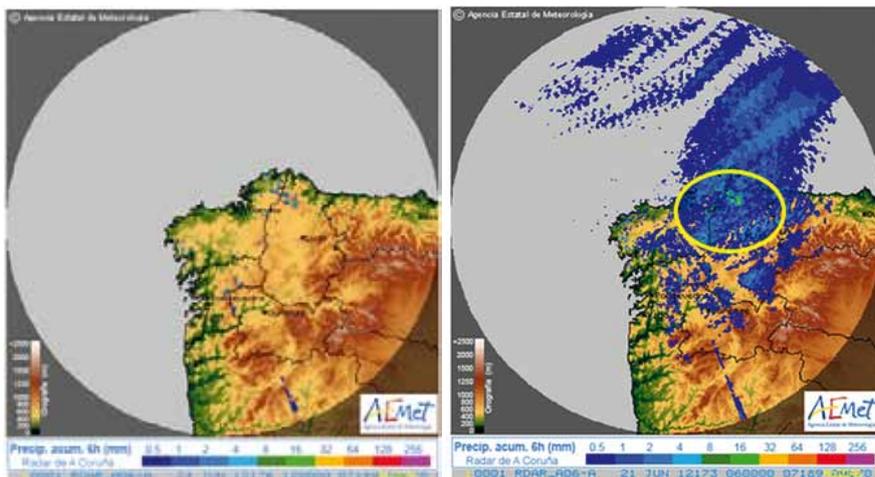
Los radares meteorológicos permiten localizar y dimensionar los hidrometeoros mediante el análisis de los ecos de las señales transmitidas por el propio radar, las cuales son reflejadas por las gotas de agua, el granizo o la nieve. En el modo de reflectividad, los radares se basan en la intensidad de los ecos para determinar el nivel de precipitación dentro del volumen escaneado por el haz de la antena; en el modo Doppler, el radar trabaja con la velocidad de la precipitación; además, los radares de polarización dual son capaces de determinar el tipo de precipitación.

Muchas veces los parques eólicos están ubicados en las cimas de montes y cresterías de sierras, quedando emplazados dentro del área de cobertura de los radares meteorológicos. La afección sobre los radares meteorológicos es un fenómeno no muy habitual, pero cuando tiene lugar, puede degradar de forma considerable la calidad de los datos obtenidos por el radar. ¿Por qué ocurre esto?

### 1.1 CLUTTER POR DISPERSIÓN EN LOS AEROGENERADORES

El término “clutter” (o ecos parásitos) hace referencia a los ecos detectados por el radar, procedentes de objetos diferentes al objeto o fenómeno del cual se desea obtener información. Los aerogeneradores, debido a que presentan grandes superficies reflectoras, generan ecos de mayor intensidad que los procedentes de las precipitaciones, los cuales quedan enmascarados [1]. Cuando esto ocurre, el clutter puede enmascarar, o al menos distorsionar, la información meteorológica, y los datos meteorológicos quedan alterados en el volumen circundante al parque eólico (ver Fig. 1).

El efecto del clutter puede extenderse a ambos lados y en la vertical de cada turbina eólica, y la extensión del volumen afectado depende, en gran medida, del ancho de haz de la antena del radar, así como de la distancia entre el parque eólico y el radar. Además, dependiendo del número de turbinas y su ubicación respecto al radar, el efecto acumulativo de los aerogeneradores de un parque eólico puede ejercer una afec-



**Figura 1:** Gráficas de precipitación acumulada en seis horas, correspondiente al radar en banda C de la red de AEMET ubicado en A Coruña. A la izquierda, imagen correspondiente a un día soleado, que muestra (en azul) los ecos procedentes de los parques eólicos dentro de la cobertura del radar. En la imagen de la derecha, la intensidad de precipitación queda distorsionada por los ecos de los aerogeneradores. (Fuente: AEMET).

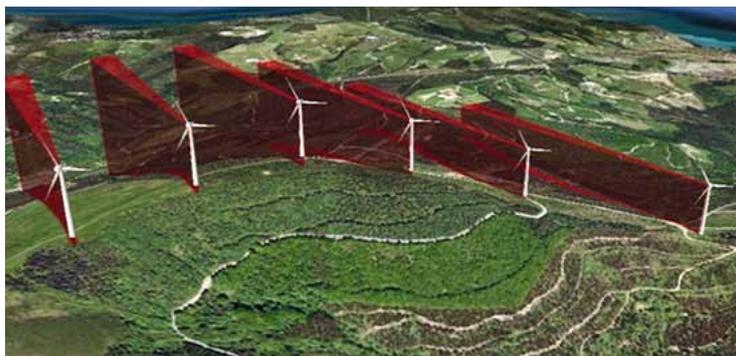
ción mayor, ya sea en términos de área geográfica o en niveles de detección de radar.

### 1.2 INFLUENCIA SOBRE EL MODO DOPPLER

La influencia de un aerogenerador en el modo Doppler del radar se debe únicamente a las partes móviles del mismo, es decir, las aspas. El efecto en el radar se debe a que las aspas inducen un desplazamiento Doppler en el eco de la señal del radar, el cual es proporcional a la componente radial de la velocidad. Por lo tanto, el nivel de afección depende de la longitud de las palas, la velocidad de giro y la orientación relativa del rotor respecto al radar, lo cual depende a su vez, de la dirección del viento. Se trata, en definitiva, de un efecto cuya intensidad no es constante en el tiempo; sin embargo, y debido a que los radares Doppler son capaces de detectar ecos más débiles, el modo Doppler es más sensible a la presencia de los aerogeneradores.

### 1.3 OBSTACULIZACIÓN DEL HAZ

La obstaculización del haz del radar por parte de uno o varios aerogeneradores puede provocar el bloqueo de un porcentaje significativo de la potencia transmitida por el radar, y en consecuencia, la degradación en la monitorización de las precipitaciones. En este caso, la capacidad de detección se vería reducida en el volumen ubicado tras el parque eólico, en la dirección de propagación de la señal respecto del radar, tal como se muestra en la Fig. 2.



**Figura 2:** Volumen en el que la capacidad de detección del radar se ve disminuida, debida al efecto de obstaculización que producen los aerogeneradores (Fuente: Universidad del País Vasco [2]).

### 1.4 ECOS PROCEDENTES DE LAS TURBULENCIAS

Por último, las turbulencias producidas por los parques eólicos generan una energía dispersada que puede ser detectada por el radar, produciendo falsos ecos en dicho volumen. Aunque cabe esperar que estos ecos presenten características similares a las causadas por las discontinuidades en el índice de refracción, y por tanto, tengan una reflectividad mucho menor que las reflexiones procedentes de las turbinas, pueden aumentar significativamente la zona de cobertura del radar afectada por los ecos parásitos de las turbinas [3].

## 2 ¿Qué se puede hacer para evitar esta degradación?

Una vez que el parque eólico ha sido instalado, las posibilidades de reducir el nivel de afección pasan por la identificación de los ecos procedentes del parque eólico y/o la aplicación de medidas en el radar meteorológico.

El clutter se encuentra siempre presente en cualquier radar, fundamentalmente el clutter terrestre, y existen técnicas de filtrado que reducen su intensidad. La más habitual es la técnica de filtrado del clutter estático, cuya finalidad es eliminar el clutter terrestre. Esta técnica también elimina los ecos procedentes de las partes estáticas de los aerogeneradores (mástil y góndola), reduciendo considerablemente el nivel de clutter procedente de los aerogeneradores. No obstante, el clutter generado por las aspas en movimiento no puede ser filtrado sin eliminar la señal procedente de la lluvia o el granizo, debido a que tienen componentes espectrales comunes. Por esta razón, los filtros basados en características espectrales han demostrado no ser efectivos, por lo que deben diseñarse filtros específicos adaptados al clutter de las turbinas, lo cual es actualmente tema de investigación [4], [5].

En consecuencia, en caso de que el parque haya sido instalado y altere de forma importante los datos de las precipitaciones, se tiende a descartar los datos relativos al volumen afectado, con el único fin de evitar trabajar con datos erróneos. En algunas ocasiones, estos datos son sustituidos por datos circundantes, y en otras, el volumen afectado se etiqueta como volumen del cual no se puede obtener información.

Por el contrario, si el parque eólico aún no ha sido instalado, el margen de maniobra es mayor. La realización de un estudio de impacto particularizado a las especificaciones del radar y a las ubicaciones y dimensiones de los aerogeneradores, y que además tenga en cuenta el efecto de la orografía del terreno, permitirá evaluar el nivel de afección, e incluso determinar qué turbinas son las responsables de la afección. Una vez conocidos los resultados del estudio de impacto, es posible introducir cambios en la disposición o en las dimensiones de los aerogeneradores, de tal forma que estos queden por debajo del haz del radar de menor elevación, o que las irregularidades del terreno permitan ubicar aerogeneradores fuera de la línea de vista del radar.

Otra forma de reducir la intensidad de los ecos de las turbinas eólicas pasa por minimizar el nivel de las señales reflejadas por sus componentes. Para ello, se han desarrollado varios estudios con el fin de aplicar la denominada “stealth technology” (o técnicas para diseñar aviones indetectables por los radares) a los aerogeneradores. Estos estudios se han centrado en recubrir las palas y la góndola con materiales absorbentes de la señal radar, y en modificar la forma de las superficies de torre y góndola, con el fin de conseguir aerogeneradores que generen ecos de mucha menor intensidad en el radar. Aunque los resultados han sido positivos, existen ciertos aspectos en el uso de los materiales absorbentes,

# Influencia de los parques eólicos

EN LOS RADARES METEOROLÓGICOS

como son su menor resistencia a las condiciones ambientales, la alteración de la aerodinámica de las palas o el incremento en el coste, que condicionan su uso [6].

Una última opción para que la red de radares no vea reducida su capacidad de detección consiste en la instalación, en el entorno del parque eólico, de instrumental de medida en superficie, el cual pueda completar y/o corregir la información obtenida por el radar.

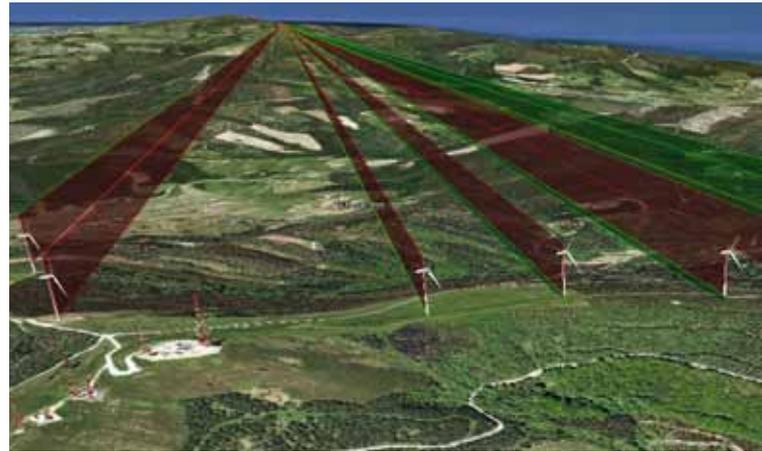
## 3 Evaluación del posible impacto de los parques eólicos en los radares meteorológicos

Tal como se ha descrito en los párrafos anteriores, la realización de un estudio de impacto previo a la instalación del parque eólico permite incluir modificaciones en el diseño del parque eólico que eviten la degradación de la información meteorológica. La realización de un estudio de impacto particularizado requiere el uso de datos concretos de parque eólico y radar, por lo que se debe contar con la colaboración de la agencia meteorológica correspondiente y del promotor del parque eólico.

Un aspecto no menos importante es el carácter neutral de la empresa o institución encargada de llevar a cabo el análisis, lo cual facilitará la conformidad con los resultados y con las medidas de mitigación propuestas por parte de todos los agentes implicados (promotor del parque eólico, agencia meteorológica y administraciones implicadas en la concesión de licencias).

Desde el punto de vista técnico, hay un aspecto previo, que consiste en la definición de la metodología de cálculo y los criterios que determinen la posible afección. Deben tener un carácter objetivo y exclusivamente técnico, y deberían estar previamente acordados por los agentes implicados. En este punto juegan un papel fundamental las instituciones de regulación europeas e internacionales, como pueden ser la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la Organización Meteorológica Mundial o las asociaciones vinculadas o dependientes de la Unión Europea, como EUMETNET.

EUMETNET es una red que reúne a 31 agencias meteorológicas de países europeos, con el fin de promover programas de cooperación. En 1999, EUMETNET promovió el programa OPERA (Operational Programme for the Exchange of weather RADar information), con el objetivo principal de crear una plataforma a nivel europeo donde los expertos pudieran poner en común aspectos sobre información y predicción meteorológicas, facilitando el intercambio de productos meteorológicos de alta calidad. Dentro de la segunda fase del programa OPERA, desarrollada entre 2004 y 2007, se incluyó como tema de estudio el posible impacto de los aerogeneradores sobre los radares meteorológicos, tarea que también se



abordó en el periodo 2007-2012, y que continuó como uno de los temas centrales de OPERA dentro del periodo 2013-2017.

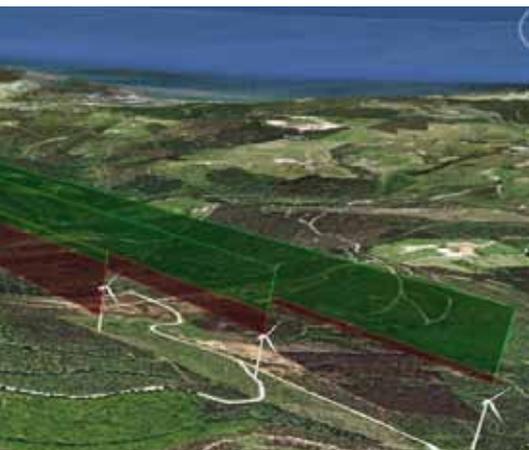
Dentro de esta actividad, el programa OPERA ha publicado varios documentos en los que se describen los tipos de impacto en los productos meteorológicos, se muestran varios casos reales de impacto, y se plantea una metodología de estudio de cada uno de los tipos de impacto [7]-[9]. Esta metodología propone analizar la obstaculización del haz radar mediante el cálculo del porcentaje de la sección del haz del radar que queda obstaculizado por cada aerogenerador, indicando que no debe superar el 10% del haz. La posible influencia del clutter y el impacto en la detección en modo Doppler se evalúan mediante el cálculo de la potencia dispersada por el aerogenerador y recibida por la antena del radar, y su comparativa con el umbral de recepción en cada uno de los casos.

La aplicación de esta metodología a un radar tipo, permite determinar “distancias de exclusión” para la instalación de aerogeneradores de 5 km (banda C) / 10 km (banda S) desde el radar, en las que no debería instalarse ningún aerogenerador; y “distancias de coordinación” de 20 km (banda C) / 30 km (banda S), en las que debería realizarse de forma obligatoria un estudio de impacto previo a la instalación de parque eólico [9].

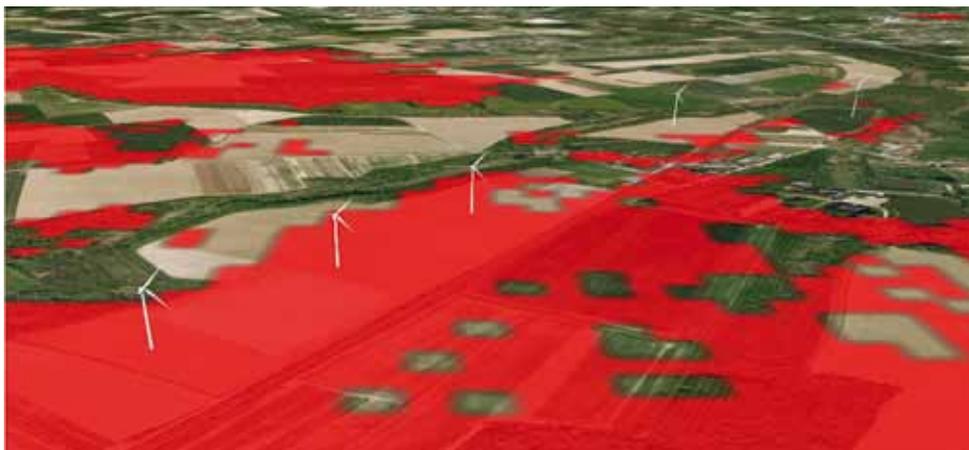
Estudios recientes proponen que no debería establecerse una distancia límite de la zona de coordinación, pues se han observado casos de afección a distancias superiores a 20 km en radares de banda C [11]. En la práctica, esta propuesta implica que se requieran estudios de impacto siempre que los aerogeneradores queden en línea de vista con la antena del radar, y refuerza la idea de la necesidad de los estudios de impacto.

La metodología planteada por OPERA fue recogida por la Organización Meteorológica Mundial en el año 2006 [10], y hoy por hoy, es la propuesta más firme y clara en cuanto establecer una metodología de estudio, criterios de impacto y distancias de protección. Por otra parte, la Unión Internacional de Telecomunicaciones recoge el posible impacto de los parques eólicos en los radares meteorológicos, pero sin determinar metodología de cálculo ni criterios de impacto [3].

Desde el punto de vista de la aplicabilidad de la propuesta de EUMETNET, sería deseable que fuera ratificada (o corregida si fuera necesario) por otros organismos relacionados con los servicios radar, como la Unión Internacional de Telecomunicaciones, e incluso por organismos relacionados con la producción energética. De esta forma, se dispondría de una metodología y unos criterios de impacto aceptados por las partes implicadas,



**Figura 3:** Ejemplo de resultado del software de análisis: incidencia del haz de menor elevación de un radar meteorológico sobre cada uno de los aerogeneradores planteados en el parque eólico (Fuente: Universidad del País Vasco [2]).



**Figura 4:** Ejemplo de resultado del software de análisis: en rojo, áreas en las que un aerogenerador podría causar una degradación en la operación de un radar de control de tráfico aéreo, y ubicaciones definidas para los aerogeneradores (Fuente: Universidad del País Vasco [2]).

que las administraciones encargadas de proporcionar licencias de instalación de parques eólicos podrían utilizar como referencia a la hora de solicitar estudios de impacto como parte del proceso del diseño de un parque eólico.

Desde el punto de vista técnico, esta recomendación podría ser completada con aspectos que permitan un estudio más específico de cada situación, como son el uso de las especificaciones técnicas reales del radar implicado, valores de sección radar de los aerogeneradores, la influencia de la obstaculización de la orografía, o el efecto de la utilización de técnicas de filtrado en el radar que reduzcan la degradación de los productos meteorológicos.

## 4 El papel de la Universidad del País Vasco en los estudios de impacto de parques eólicos

Una de las líneas de investigación del grupo de investigación TSR (Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones) de la Universidad de País Vasco (UPV/EHU) consiste en el estudio de la influencia de los parques eólicos en la calidad de los servicios de telecomunicaciones: televisión, radioenlaces de datos, radares meteorológicos, radares marinos, radares de control de tráfico aéreo, y sistemas ayuda a la radionavegación. Aunque nuestra labor de investigación se ha centrado principalmente en el efecto sobre la propagación de las señales electromagnéticas en la banda UHF y en la posible degradación de diferentes estándares de televisión, también hemos desarrollado un software de análisis, mediante el cual es posible ubicar los transmisores de los diferentes servicios y los aerogeneradores que forman el parque eólico que se desea instalar. Dicha herramienta software contiene algoritmos de cálculo con los criterios propuestos por organismos europeos e internacionales, así como algunos modelos desarrollados por el propio grupo de investigación.

La herramienta software ha sido utilizada en la realización de estudios de impacto de parques eólicos ubicados en España, Serbia y Suecia, y han sido solicitados por promotores de parques eólicos, operadores de telecomunicaciones y administraciones implicadas en la concesión de licencias. Las figuras 3 y 4 muestran dos ejemplos de los resultados que

ofrece esta herramienta software, obtenidos en estudios de impacto de parques eólicos reales.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer el apoyo de la Unión Europea, por medio del programa FP7 (proyecto n° 296164), el MINECO (proyecto TEC2012-32370), y el Gobierno Vasco (programa SAIOTEK).

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Angulo et al., "Impact analysis of wind farms on telecommunication services", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2014.
- [2] D. de la Vega et al., "Software tool for the analysis of potential impact of wind farms on radiocommunication services" IEEE BMSB 2011. Demo disponible en [www.ehu.es/tsr\\_radio/index.php/research-areas/56](http://www.ehu.es/tsr_radio/index.php/research-areas/56)
- [3] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Rec. ITU R M.1849, "Aspectos técnicos y operacionales de los radares meteorológicos en tierra", 2009. Disponible en [www.itu.int](http://www.itu.int)
- [4] B. Gallardo-Hernando et al., "Wind turbine clutter observations and theoretical validation for meteorological radar applications," *IET Radar, Sonar & Navigation*, 2011.
- [5] B.L. Cheong et al., "Automatic wind turbine identification using level-II data", *IEEE Radar Conference*, 2011.
- [6] D. de la Vega et al., "Mitigation Techniques to Reduce the Impact of Wind Turbines on Radar Services", *Energies*, 2013. Disponible en <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/6/2859>
- [7] EUMETNET, "Impact of Wind Turbines on Weather Radars", 2006. Disponible en [www.eumetnet.eu](http://www.eumetnet.eu)
- [8] EUMETNET, "Site protection (wind turbines)", 2010. Disponible en [www.eumetnet.eu](http://www.eumetnet.eu)
- [9] EUMETNET, "Statement of the OPERA group on the cohabitation between weather radars and wind turbines", 2010. Disponible en [www.eumetnet.eu](http://www.eumetnet.eu)
- [10] World Meteorological Organization, "Impact of Wind Turbines on Weather Radars Band", CBS/SG-RFC 2006/Doc. 3.1, 2006. Disponible en: [www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/SG-RFC06/Wind\\_turbine\\_vs\\_weather\\_radars.doc](http://www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/SG-RFC06/Wind_turbine_vs_weather_radars.doc)
- [11] SMHI, "VINDRAD. Project Report v1.0. A tool for calculation of interference from Wind Power Stations to Weather Radars", 2011.