RECURSO EÓLICO EN ANDALUCÍA

Título: Recurso Eólico en Andalucía
Elaborado por: Agencia Andaluza de la Energía.
Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa.
Coordinación: Mónica Sánchez Astillero y Thomas Paul Budil
Soporte Técnico: Grupo de Modelización de la Atmósfera y Radiación Solar. Departamento de Física. Universidad de Jaén
Depósito Legal: SE-4790-2009
ISBN: 978-84-692-5634-3
Versión electrónica disponible en www.agenciaandaluzadelaenergia.es

Agencia Andaluza de la Energía
Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa
Junta de Andalucía
C/. Issac Newton, 6 41092 Sevilla
Teléfono: 954 78 63 35
Fax: 954 38 63 50
www.agenciaandaluzadelaenergia.es

Diseño gráfico e imprenta: J. de Haro Artes Gráficas, S.L.
Año de publicación: 2009, edición primera
Fotografías e ilustraciones: © Agencia Andaluza de la Energía

Índice

1 INTRODUCCIÓN 9
2 EL ESTUDIO 11
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN 13
2.2 CONFIGURACIÓN DEL MODELO 15
2.3 CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO 17
2.4 PARAMETRIZACIONES 17
3 COMPLEMENTARIEDAD DEL RECURSO EÓLICO EN ANDALUCÍA 19
4 GRÁFICOS 21
4.1 GRÁFICO VECTORIAL 23
4.2 PROMEDIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO 24
4.3 VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO 25
4.4 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO 26
4.5 POTENCIA MEDIA 27
5 GLOSARIO 111

Presentación

En las próximas décadas las energías renovables van a jugar un papel clave en el sistema energético de Andalucía y del mundo. Las fuentes renovables de energía nos pueden liberar parcialmente de la actual dependencia de los combustibles fósiles y son un instrumento esencial en la mitigación del cambio climático. Es nuestro deber apoyar, impulsar e investigar en esta dirección para un desarrollo sostenible de nuestra economía, y en consecuencia de nuestra sociedad.

Para cumplir este objetivo es necesario realizar un proceso de evaluación de los recursos, así como analizar la gestión, operación e integración de la producción de energía de origen renovable en el marco del sistema energético. El conocimiento del potencial disponible de energías renovables en una región, es clave para una adecuada planificación y gestión de dichos recursos y, en particular, para la integración de la producción de energía de origen eólico dentro del sistema energético.

Esta publicación forma parte de las acciones llevadas a cabo para lograr este objetivo: aportar una clara idea del potencial eólico en nuestra región y servir de apoyo a las empresas del sector para planificar sus proyectos eólicos.

El recurso eólico es muy local y variable, a diferencia de otros recursos renovables, y está condicionado por el clima, la orografía, la vegetación, etc., lo que dificulta en cierta medida el diseño de pequeñas y grandes instalaciones eólicas. Si bien para el desarrollo de grandes parques eólicos es necesario y provechoso desde el punto de vista económico, realizar estudios propios del recurso eólico, para instalaciones eólicas de pequeña potencia, conocidas como instalaciones minieólicas, no es rentable realizarlos y por tanto, no suelen disponer de herramientas que aporten información precisa que les permita evaluar la rentabilidad de sus instalaciones así como diseñarlas adecuadamente conforme al recurso eólico de la zona.

Este libro pretende ser una de esas herramientas.

Francisco José Bas Jiménez
Director General
Agencia Andaluza de la Energía

1. Introducción

En los últimos años Andalucía ha visto aumentar de forma espectacular su potencia eólica instalada, tanto conectada como aislada de la red eléctrica.

El número de instalaciones conocidas como minieólicas, ha aumentado sensiblemente. Se trata de instalaciones de aerogeneradores de pequeña potencia (por debajo de 100 kW). Estos pequeños generadores de energía eléctrica se ubican normalmente en sistemas aislados, es decir, alejados de la red de distribución eléctrica, y en muchos casos se instalan en combinación con dispositivos de aprovechamiento de energía solar (paneles fotovoltaicos). En el ámbito de Europa es destacable la existencia de un movimiento que busca impulsar la utilización de estos generadores de electricidad para el suministro a la red eléctrica, incluso en zonas urbanas, aunque en nuestro país no se ha desarrollado todavía una normativa específica que lo permita.

El número de parques eólicos de gran potencia (del orden de megavatios) conectados a la red, para la venta de la energía eléctrica generada, ha experimentado un gran impulso y las previsiones auguran que seguirá aumentando cada año.

El perfil de empresas que participan en la ejecución de parques eólicos está diversificado en promotoras, ingenierías, constructoras, fabricantes, servicios, etc. Mientras que en la puesta en marcha de instalaciones minieólicas interviene en la mayoría de los casos una sola empresa, generalmente una PYME (pequeña y mediana empresa).

Durante la promoción y tramitación de parques eólicos se hace una campaña de medición de viento durante varios años en el emplazamiento en cuestión y posteriormente un estudio de este recurso basado en los datos recogidos, para estimar la futura producción. Una PYME normalmente no tiene los recursos técnicos-económicos necesarios para hacer una campaña de medición que determine el recurso eólico de un emplazamiento para la una instalación tipo “mini-eólica”. Someter la mini-eólica a este procedimiento no parece económicamente viable. No obstante es igual de necesario estimar el recurso eólico y por tanto determinar la producción de una instalación de baja

potencia, para saber si la instalación es fiable o no. ¿De qué sirve instalar un aerogenerador donde hay poco o ningún viento?

Este libro pone a disposición de estas empresas instaladoras una herramienta útil para estimar el rendimiento de las instalaciones de aerogeneradores de pequeña potencia. Pretende ser un estudio simplificado del recurso eólico que se acerque lo más posible a la realidad. La información contenida en este libro y la base de datos de la que procede, está disponible en la Web de la Agencia Andaluza de la Energía para su consulta y elaboración de gráficos e informes.

La base de esta herramienta ha sido un exhaustivo estudio y simulación de viento realizado para la Agencia Andaluza de Energía por la Universidad de Jaén. Dicho estudio abarca dos años de simulación de recurso eólico (2003-2004) en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Esta publicación y cualquier información adicional se puede obtener en la página web www.agenciandaluzadelaenergia.es.

2. El estudio

El conocimiento del potencial eólico de una región, incluyendo la evaluación de su variabilidad espacial y temporal, es clave para la planificación y gestión de los parques eólicos y pequeñas instalaciones eólicas sin y con conexión a la red eléctrica.

El estudio se divide en dos partes principales: la primera se trata de aplicar un modelo matemático a la zona de Andalucía para calcular valores característicos del viento en principio sobre dos años. En el estudio se presentan los resultados de una serie de simulaciones de viento con un modelo meteorológico, a partir de las cuales se han elaborado mapas que representan el recurso eólico en Andalucía.

Una parte se ocupa de estudiar la complementariedad - variabilidad del potencial eólico y su integración en la red eléctrica. Cierto conocimiento de la complementariedad temporal del recurso eólico entre diferentes regiones es significativo, en un escenario de fuerte penetración de la generación eólica en el mercado eléctrico.

La estimación del campo de viento se ha llevado a cabo mediante el procedimiento de downscaling dinámico, o incremento dinámico de la resolución, estimando la magnitud del viento donde nunca se ha medido, a partir de las condiciones proporcionadas por los modelos globales. En este caso, se han utilizado el modelo del National Center for Environmental Prediction (NCEP) de los EE.UU., cuyos estudios contienen el estado real de la atmósfera a gran escala, como datos globales para aplicar al modelo meteorológico de mesoescala utilizado en este estudio. A partir de estos valores de contorno, se han resuelto las ecuaciones atmosféricas, y se han particularizado los resultados teniendo en cuenta los factores locales/regionales (topografía, heterogeneidades en la cubierta del terreno, medidas de viento en varios puntos de Andalucía etc).

Finalmente, a partir de los campos de viento simulado, se ha llevado a cabo un análisis estadístico, con dos objetivos. El primero cuantificar el potencial eólico existente en Andalucía en diferentes escalas temporales (mensual, estacional y anual), tomando como referencia el mencionado periodo

2003-2004, y obteniendo como resultado mapas con diferentes estadísticos descriptivos de este potencial. El segundo, analizar la variabilidad espacial-temporal de dicho potencial. En particular, se ha pretendido obtener una regionalización del potencial eólico, dentro del área geográfica simulada.

Se presentan, así, en esta publicación una colección de gráficos representativos de distintos estadísticos (dirección del viento, velocidad media, velocidad máxima,…) para diferentes periodos temporales (estacionales y anuales) y a diferentes alturas (10, 40 y 80 metros). Los mapas incluidos se han generado para todo el ámbito andaluz con una resolución espacial de 15 km a lo largo del periodo 2003-2004, y se pretenden ampliar y perfeccionar de forma continua en años sucesivos.

También se aportan unas conclusiones sobre la variabilidad espacial-temporal de dicho potencial.

2.1 Descripción de la simulación

Las simulaciones se han llevado a cabo con el Modelo de Mesoescala de 5ª generación (MM5) de la Penn State University/National Center for Atmospheric Research (PSU/NCAR) (Grell et al., 1994). El MM5 es un modelo meteorológico de mesoescala que describe las interacciones entre la atmósfera, el océano y las tierras emergidas para simular el clima.

El modelo MM5, es uno de los modelos de mesoescala más ampliamente utilizados y está considerado como uno de los más avanzados. Dispone de alta capacidad para la detección de circulaciones atmosféricas de mesoescala y cuenta con un amplio número de parametrizaciones (opciones físicas) que le confieren un elevado potencial para su adaptación a las condiciones climáticas específicas de una región en particular. Adicionalmente, presenta una dinámica no hidrostática, de gran importancia para la evaluación de los recursos eólicos, que le permite trabajar a muy altas resoluciones (~km).

Este tipo de modelos no se aplican a todo el globo terrestre sino a una región limitada y necesitan de valores de contorno laterales, es decir, que necesita incorporar valores de las regiones limítrofes a la zona de estudio que no entran dentro del MM5, pero que afectan a los valores obtenidos en la región de estudio.

A partir de estos valores de contorno, que contienen el "estado" de la atmósfera a gran escala (cientos de km.) y que vienen dados a partir de los modelos globales de Circulación General Atmosférica (MCGAs), el MM5 es capaz de resolver las ecuaciones atmosféricas a una gran resolución espacial (~1 km) y temporal, y tiene en cuenta factores locales/regionales tales como la topografía, orografía, vegetación e irregularidades en la superficie del terreno.

La resolución espacial de este estudio en concreto se ha fijado en cuadrículas de 15 km, y la resolución temporal de una hora, sobre la Comunidad Autónoma de Andalucía y se ha simulado el campo de vientos, dirección e intensidad, a las alturas de 10, 40 y 80 metros sobre la superficie.

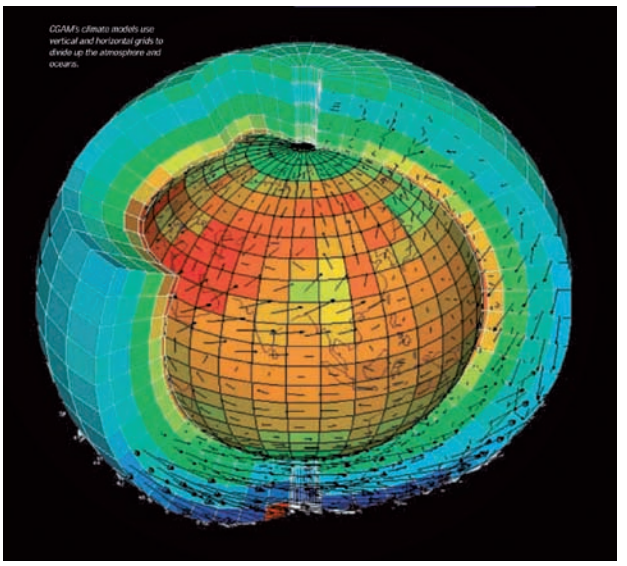


Figura 1. Diagrama representativo de una simulación con modelo meteorológico.

Todas las simulaciones han sido llevadas a cabo en los ordenadores del Centro de Supercomputación del Centro Informático Científico de Andalucía (CICA), Sevilla.

2.2 Configuración del modelo

Para la elaboración del presente libro se ha llevado a cabo una simulación de dos años, correspondiente al periodo 2003-2004, con una resolución temporal horaria de una hora. La simulación se ha organizado en tres anidamientos consecutivos, con resoluciones espaciales de 135 km, 45 km y 15 km, cubriendo cada uno de ellos el área representadas en la figura 2.

Además, para la simulación de cada dominio se ha empleado la técnica llamada “two-ways” (dos-caminos), que hace que cada dominio actúe como condición de contorno y frontera del siguiente dominio que contiene en su interior. Esta forma de llevar a cabo la simulación permite estimaciones más fiables en la región correspondiente al último anidamiento. Así, los datos analizados corresponden a este último anidamiento que, con una resolución espacial de 15 km, cubre el área geográfica de Andalucía.

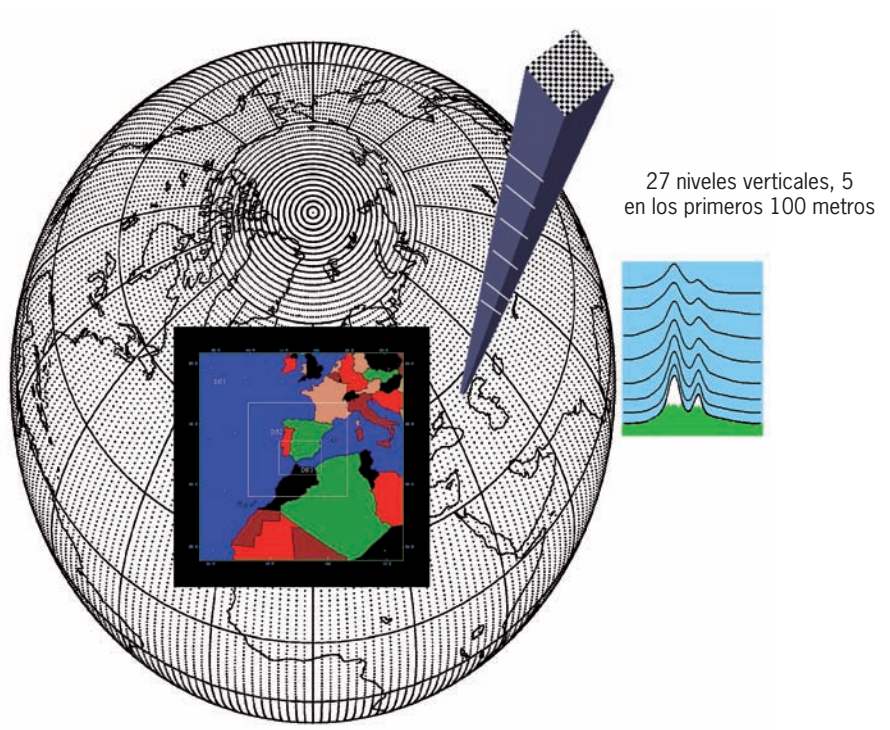


Figura 2. Configuración de los dominios espaciales usados en la simulación.

El modelo se ha configurado con 27 niveles verticales, 5 de los cuales se distribuyen en los primeros 100 metros de altura.

Las estimaciones del viento obtenidas en la simulación para Andalucía corresponden a una retícula (grid) de 15 km x 15 km ya que el mapa digital del terreno utilizado en la simulación presenta esta misma resolución espacial. De cara a una interpretación correcta de las estimaciones del modelo se presenta la topografía de Andalucía usada en la simulación (figura 3). Como se puede observar (y como se comprobará posteriormente en los mapas de los recursos eólicos), los grandes accidentes geográficos de primer orden, como el estrecho de Gibraltar, el Valle del Guadalquivir y las Sierras Béticas y Penibéticas, están bien representados con esta resolución espacial. Sin embargo, algunas características más específicas no quedan bien resueltas con esta resolución, y en general aquellas con características espaciales menores de 10 km. Así, en particular la altura máxima del modelo sobre Andalucía es de 1.800 metros.

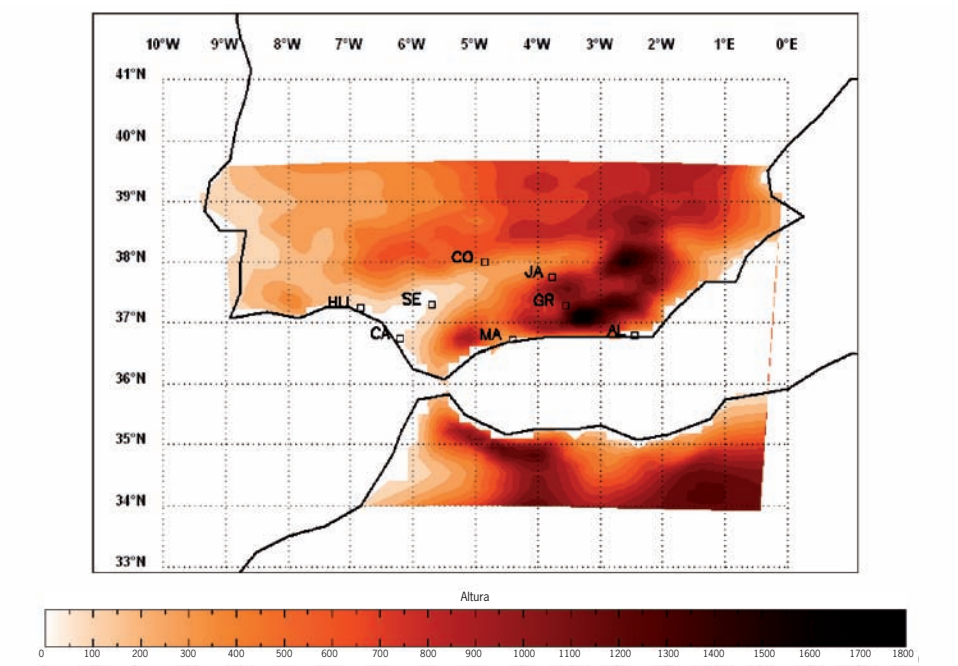


Figura 3. Modelo Digital del Terreno de Andalucía, con 15 km de resolución espacial, empleada para la simulación.

En todas las simulaciones del modelo se ha empleado resolución temporal horaria, es decir, cada valor del campo de vientos simulado por el modelo es una integración temporal de una hora. Los estadísticos que se presentan en los mapas de los recursos eólicos se han calculado a partir de estas salidas horarias.

2.3 Condiciones iniciales y de contorno

Como condiciones iniciales y de contorno para la simulación se han usado análisis y reanálisis proporcionados por el National Center for Environmental Prediction (NCEP) de los EE.UU., con una resolución temporal de 6 horas, además de mediciones reales realizadas en distintos puntos de Andalucía.

2.4 Parametrizaciones

El modelo MM5 admite distintas configuraciones físicas (parametrizaciones), para diferentes áreas climáticas del mundo. A partir de varios trabajos de validación llevados a cabo por nuestro grupo en los cuales se han evaluado las salidas del modelo con datos instrumentales, se han elegido las siguientes parametrizaciones para la simulación:

1. Esquema de cúmulos: Grell.
2. Esquema de capa límite: MRF.
3. Esquema de humedad: Mixed Phase.
4. Esquema de radiación: RRTM.
5. Esquema de suelo: modelo NOAH, con 4 capas y predicción de la humedad del suelo.

3. Complementariedad del recurso eólico en Andalucía

En resumen, se puede concluir que la variabilidad del recurso eólico en la zona de estudio está fraccionada en cinco grandes aéreas, y cada área está representada por un modo, que muestran recursos eólicos prácticamente independientes:

1. Un modo centrado sobre la zona noroeste de la región de estudio, sobre la provincia de Huelva, que disminuye su representatividad de norte a sur y de oeste a este.

2. Un segundo modo centrado en el este de la región de estudio, en particular, toda la provincia de Almería.

3. Un tercer modo centrado sobre la zona suroeste de la región de estudio, en las zonas correspondientes a Cádiz y Huelva, sobre el océano Atlántico y con pocas implicaciones sobre Andalucía.

4. Un cuarto modo representativo de la zona del estrecho, Cádiz y Málaga, con fuerte implicación para Andalucía.

5. Un quinto modo, centrado en las zonas de interior de Granada y Jaén, con importantes implicaciones para el recurso eólico en Andalucía.

Estos modos están presentes, con mayor o menor importancia, tanto al analizar el periodo completo como al estudiar por separado cada estación del año y explican entorno al 70% de la variabilidad del campo de vientos en la zona de estudio. Por tanto, varios de los modos encontrados muestran complementariedad, aunque muy variable en función del periodo del año.

Existen dos patrones de complementariedad:

1. El más importante viene indicado por el segundo modo del análisis global. Este patrón muestra complementariedad entre la zona este de la región de estudio (provincia de Almería) y la zona oeste (provincia de Huelva). Por orden de importancia, esta complementariedad es mayor en verano seguida de primavera, si bien está presente en todas las estaciones del año.

2. El segundo más importante viene descrito por el quinto modo del análisis global, y muestra complementariedad en el recurso eólico en la provincia de Cádiz y norte de la de Málaga y las sierras del interior de Granada y Almería. Este patrón es mucho más acusado durante el otoño y el invierno, y menor para primavera. En verano no se observa este tipo de complementariedad.

4. Gráficos

Entre las muchas aplicaciones que pueden tener los gráficos, se puede estimar, por ejemplo, en una primera evaluación, si una zona tiene el recurso eólico necesario para hacer rentable una instalación eólica. Por la resolución del estudio, 15 Km x 15 Km no es posible detectar fenómenos excesivamente locales como pueden ser embudos en la orografía del terreno que aceleran la velocidad del viento, aumentando así el recurso eólico. En consecuencia se tienen que tratar los datos con cierta prudencia y recordar que son datos calculados, y que no proceden de mediciones reales en cada punto del ámbito espacial del estudio, aunque si estén armonizados con datos reales.

Actualmente el estudio consiste en representaciones relativas a los años 2003 y 2004 y se pretende actualizar hasta el año 2008.

Los gráficos elaborados por el estudio se dividen en las siguientes categorías:

- Altura sobre el suelo: a 10, 40 y 80 metros.
- Espacio temporal: anual y estacional, para dos años (2003 y 2004)

Y las representaciones gráficas son cinco:

- Gráfico vectorial
- Promedio de Velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

Se obtienen, por tanto, un total de 150 gráficos para tres alturas sobre suelo, dos años y cinco representaciones.

En general, se ha tratado de mantener la misma escala de colores en la representación de los distintos mapas, tanto en lo que se refiere a los distintos promedios temporales (anual y estacional) como a las distintas alturas (10, 40 y 80 metros). Esto permite comparar fácilmente los distintos

mapas. Sin embargo, en algunas ocasiones esto no ha sido posible debido a la imposibilidad de conjugar distintos promedios temporales (año y estación) con el enorme cambio que se produce en los diferentes estadísticos obtenidos a 40 y 80 metros de altura respecto al viento en superficie.

Particularmente ha sido compleja la representación de las variables dependientes de la velocidad al cubo (Potencia media por metro cuadrado). En estos casos, pequeñas variaciones en el viento pueden producir resultados muy diferentes, y ha sido necesario usar escalas no lineales de cara a una buena representación de los resultados. En todo caso se ha tratado que la representación gráfica fuera comparable.

A continuación, se describen los estadísticos obtenidos a partir de los datos horarios de viento así como los mapas obtenidos a partir de estos estadísticos. Se han tomado como referencia en los mapas representados los resultados obtenidos para el periodo anual del año 2003 a la altura de 10 metros.

4.1 Gráfico vectorial

El mapa representa, mediante una flecha, la dirección del viento en cada punto de cálculo. La intensidad relativa del viento viene representada por la longitud de la flecha. La longitud máxima representa el viento máximo en el mapa y el resto de longitudes son proporcionales a esta longitud máxima. Así, en estos mapas es fácil hacerse una idea de la velocidad y dirección del viento mediante una simple inspección visual.

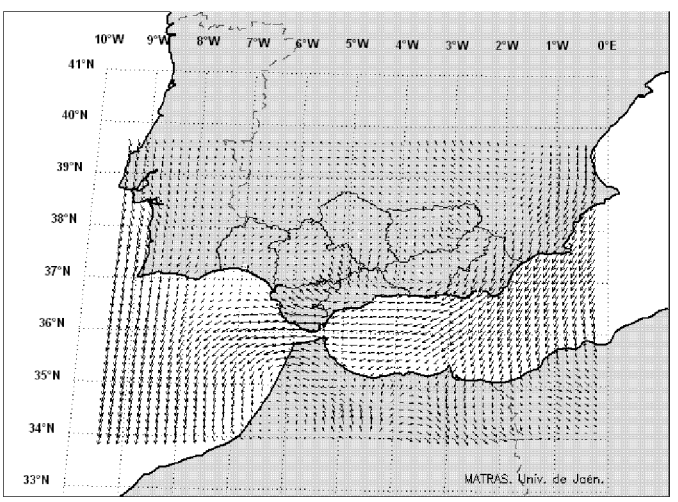


Figura 4. Gráfico vectorial.

4.2 Promedio de la velocidad del viento

La velocidad media del viento está representada en metros por segundo [m/s], por rangos y dentro de una escala de colores. En un primer intento de estimación de recurso eólico es uno de los primeros gráficos que se consulta.

Para los colores se ha escogido una escala lineal, tal y como se observa en la figura. La escala ha sido elegida para que exista un gran contraste para los valores intermedios de la velocidad del viento.

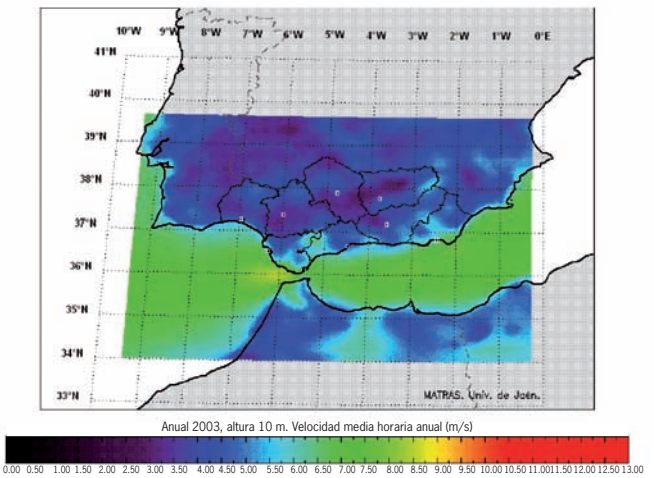


Figura 5. Gráfico promedio velocidad del viento.

4.3 Velocidad máxima del viento

La unidad empleada es [m/s]. Es necesario para un estudio más exhaustivo del viento. La velocidad máxima es imprescindible para la elección de un aerogenerador, en lo referente a la instalación de un parque eólico. Para la instalación de aerogeneradores tipo minieólica puede ser interesante para conocer los valores extremos en los cuales, por ejemplo, hace falta recalcular la torre de soporte para el aerogenerador.

Para el viento a 10 metros (en superficie) se ha escogido un rango de 0 a 25 m/s, mientras que para el viento a 40 y 80 metros se ha escogido un rango de representación de 0 a 35 m/s. En todos los casos se ha tomado la misma escala lineal de colores para la representación.

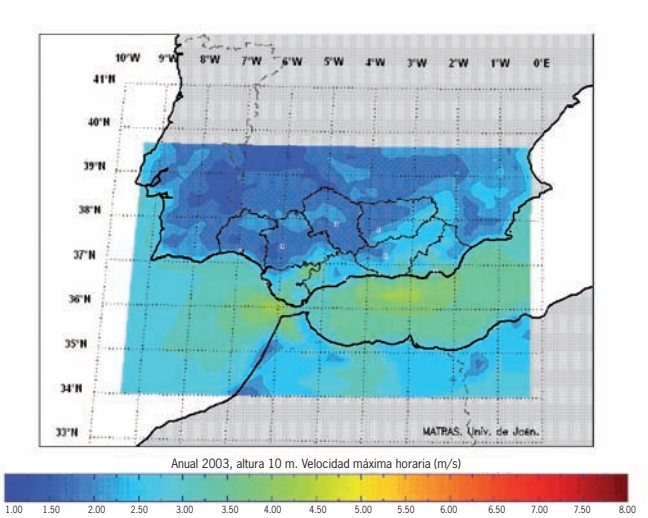


Figura 6. Gráfico velocidad máxima del viento.

4.4 Desviación estándar de la velocidad del viento

Estos datos de desviación estándar son importantes para saber si el viento tiende a ser turbulento. Es uno de los valores cruciales a tener en cuenta para elegir el tipo/ clase de aerogenerador según normativa IEC 61.400-1.

Para el viento a 10 metros (viento en superficie) se ha escogido un rango de 0.5 a 6 m/s , mientras que para el viento a 40 y 80 metros de altura se ha escogido un rango de 1 a 8 m/s. En ambos casos se ha empleado la misma escala lineal de colores.

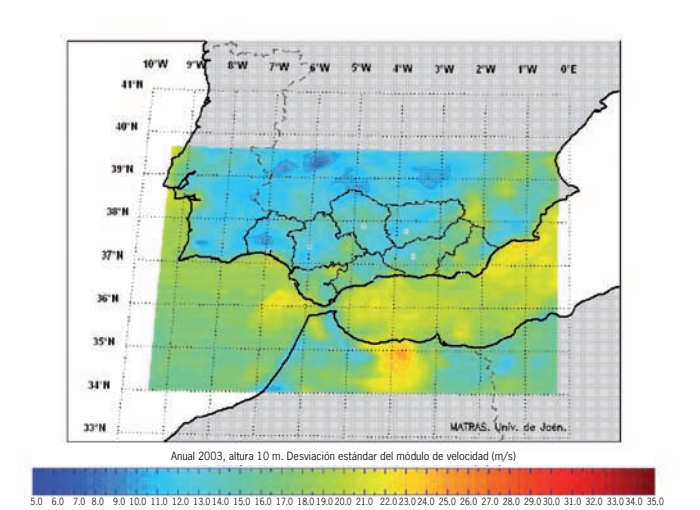


Figura 7. Gráfico desviación estándar de la velocidad del viento.

4.5 Potencia media

Expresado en Vatios por metro cuadrado [W/m2]. Es la potencia que tiene el viento por metro cuadrado según la formula:

Potencia = Densidad del aire x Velocidad del viento3 / 2

Como se observa crece la potencia con el cubo de la velocidad del viento. Debido a eso es tan importante para parques eólicos medir en sitio con una torre de medición el recurso eólico y lo más exacto posible. Un fallo en la medición de la velocidad del viento da un resultado equivocado al cubo. P.e. un fallo de +0,1 m/s da un resultado +33% mayor respecto al valor correcto.

Según la ley de Betz, un aerogenerador puede alcanzar teóricamente un rendimiento máximo de 16/27 que son 59,3% de la potencia del viento. Para aerogeneradores bipala el máximo es de 46%, tripala (lo mas común en parques eólicos) 48%, eje vertical (Darrieus) 40% y un molino holandés 28%.

La visualización de esta variable ha presentado cierta complejidad, al depender de la velocidad al cubo y presentarse un amplio rango de valores de dicha velocidad. En particular, los valores considerablemente mayores del módulo de la velocidad que se presentan en el mar respecto a tierra ha hecho necesario el uso de una escala no lineal de colores, que permite visualizar adecuadamente la variabilidad de la potencia promedio. Se ha elegido un rango de 0 a 1300 W/m2 para el caso del viento a 10 metros (viento en superficie) y de 0 a 2500 W/m2 para el caso del viento a 40 metros y a 80 metros.

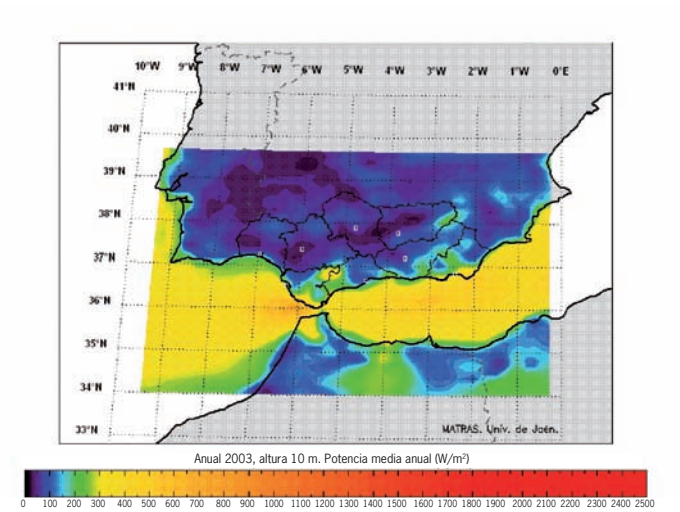


Figura 8. Gráfico potencia media.

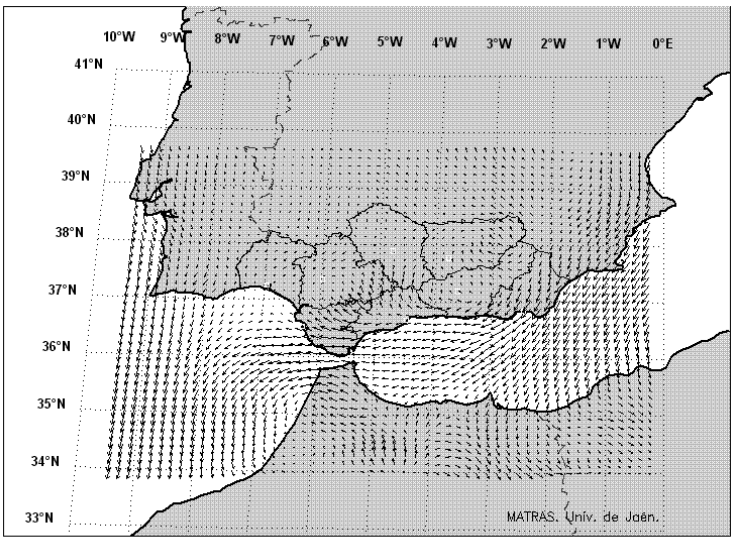
Gráficos

ANUAL 2003

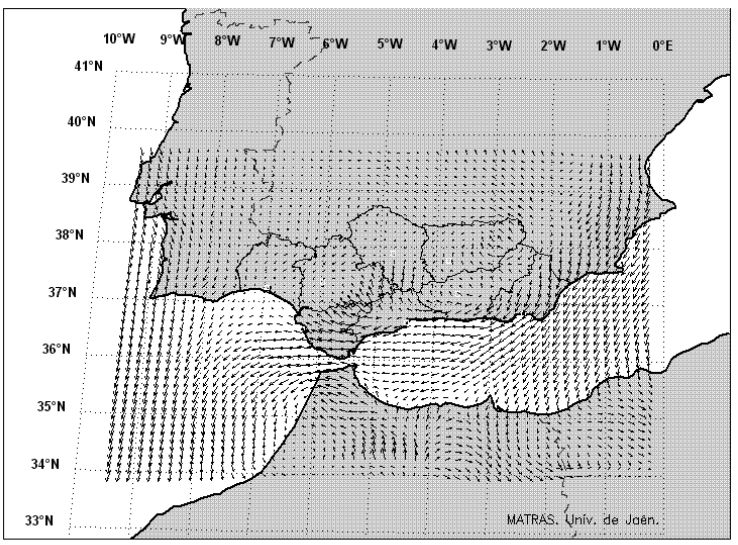
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

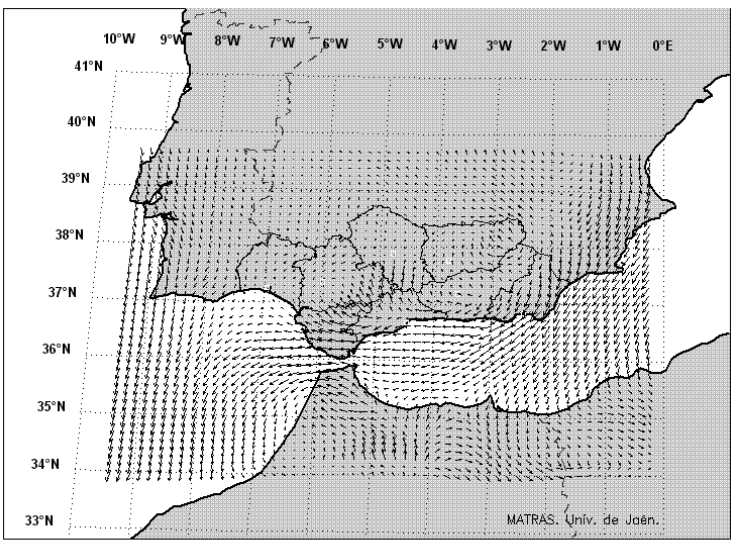
Gráfico vectorial



Anual 2003, altura 10 m. Vector velocidad del viento

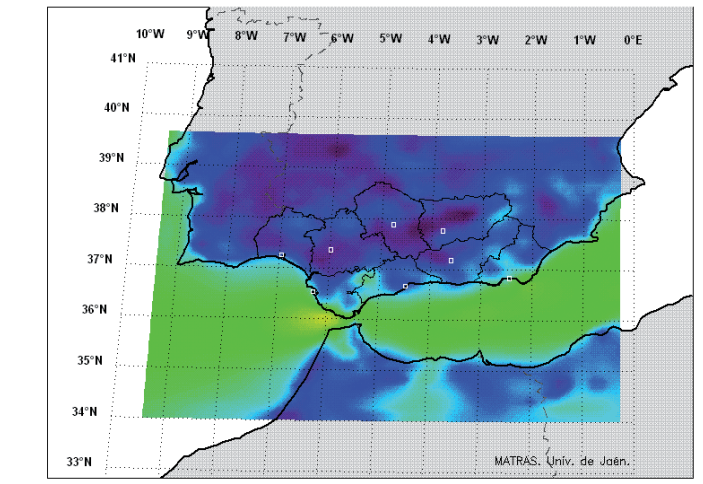


Anual 2003, altura 40 m. Vector velocidad del viento

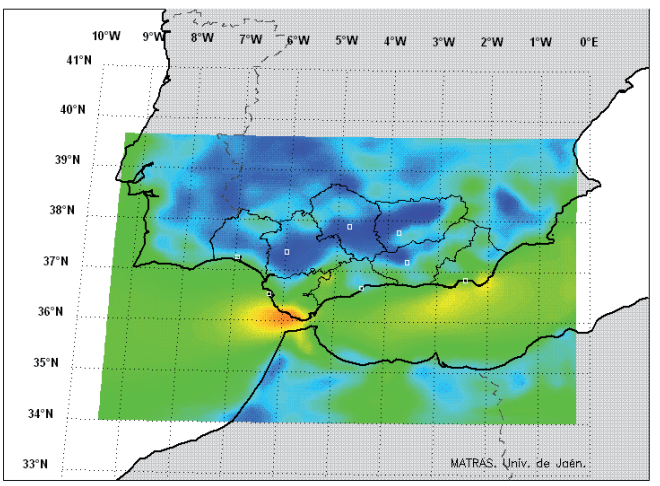


Anual 2003, altura 80 m. Vector velocidad del viento

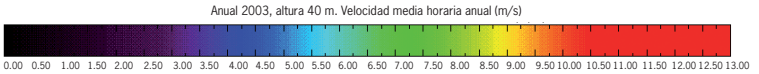
Promedio de velocidad

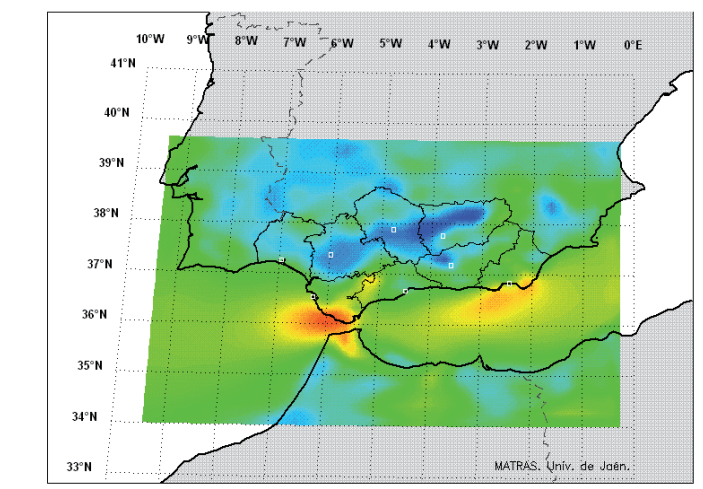


Anual 2003, altura 10 m. Velocidad media horaria anual (m/s)



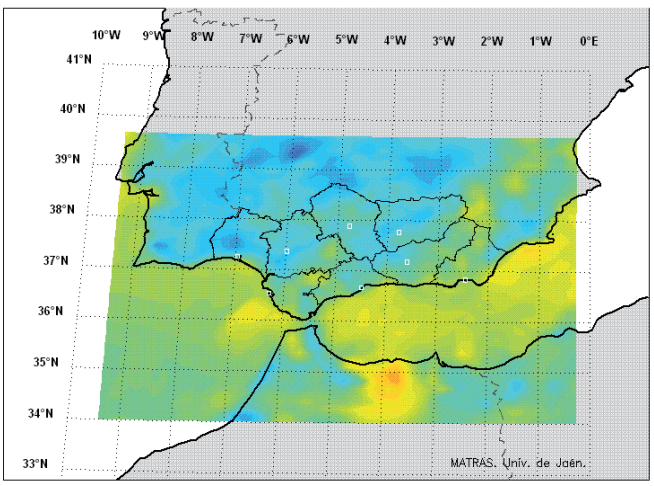
Anual 2003, altura 40 m. Velocidad media horaria anual (m/s)



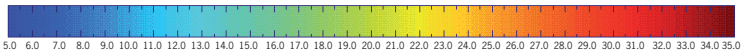


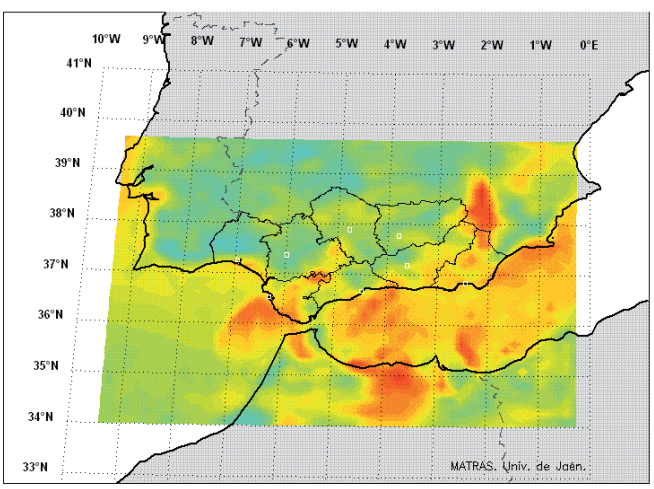
Anual 2003, altura 80 m. Velocidad media horaria anual (m/s)

Velocidad máxima

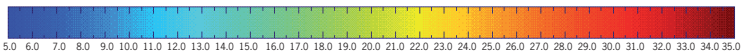


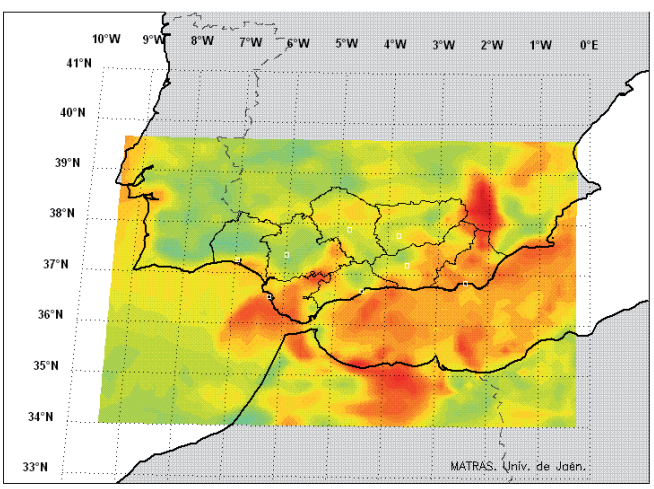
Anual 2003, altura 10 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)



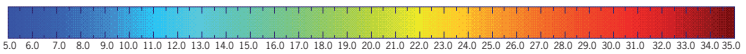


Anual 2003, altura 40 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)

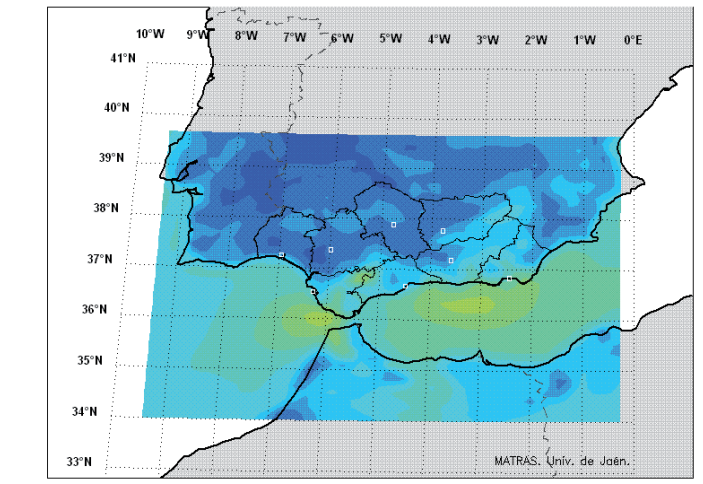




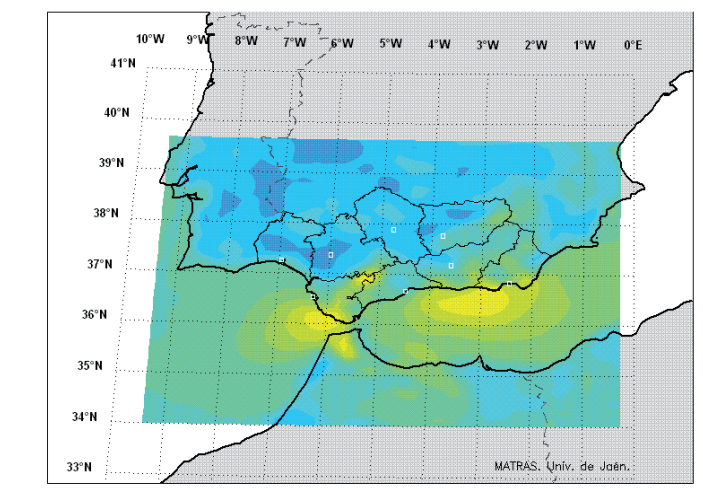
Anual 2003, altura 80 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)



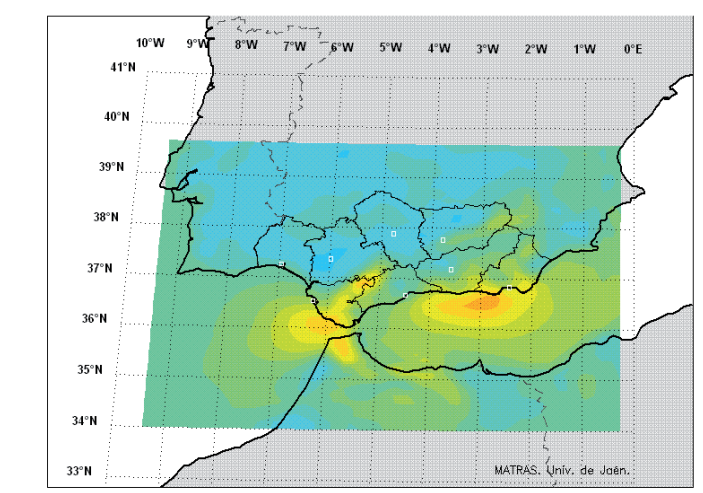
Desviación estándar de la velocidad



Anual 2003, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de velocidad

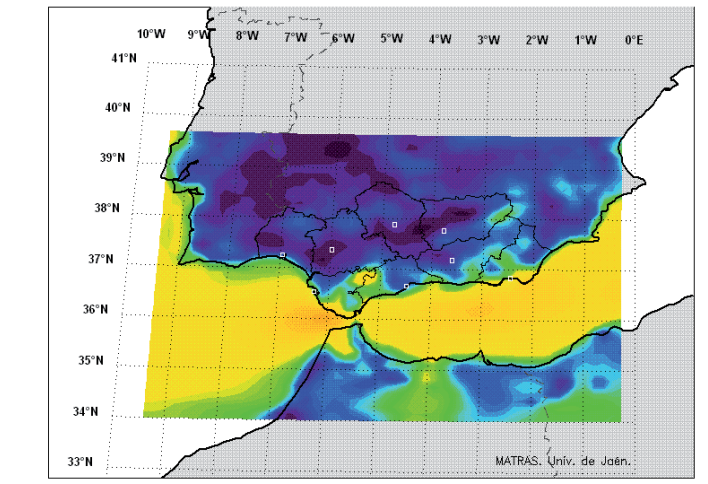


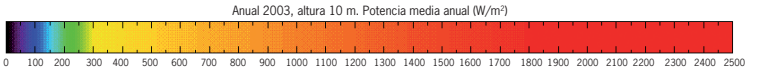
Anual 2003, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de velocidad

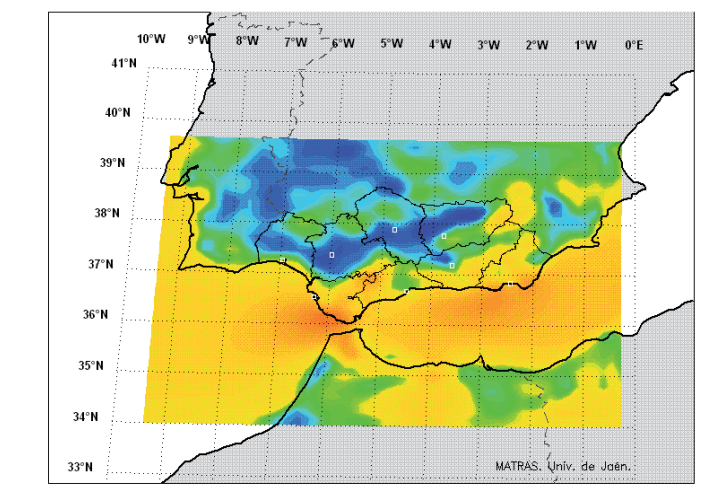


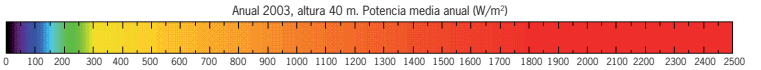
Anual 2003, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de velocidad

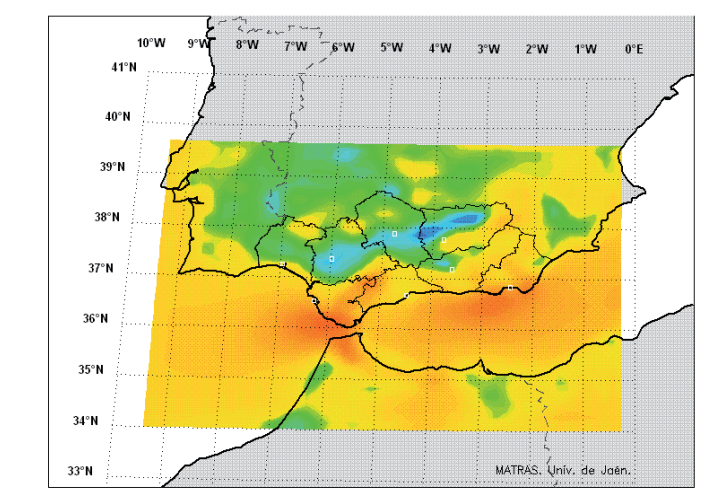
Potencia media por metro cuadrado

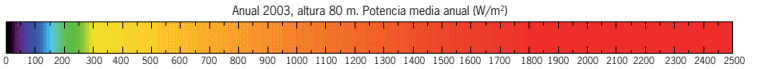










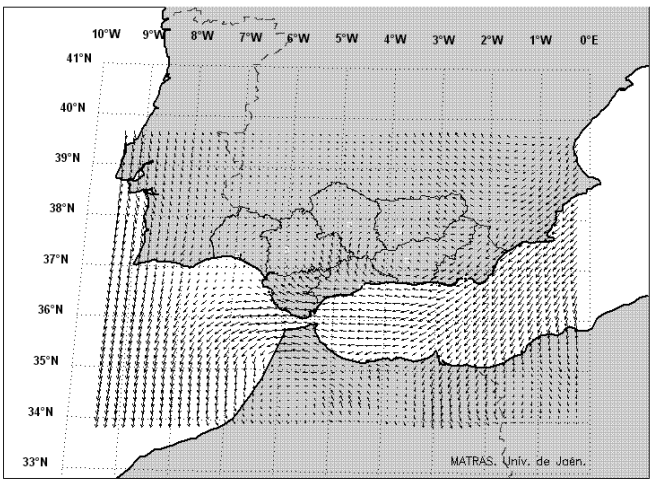


ESTACIONAL 2003
PRIMAVERA

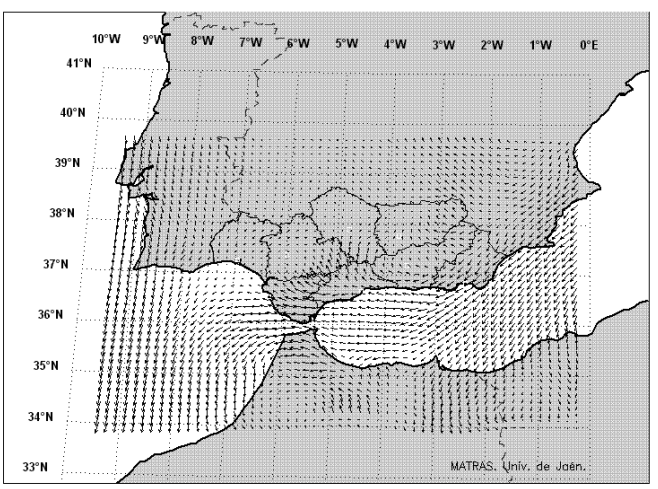
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

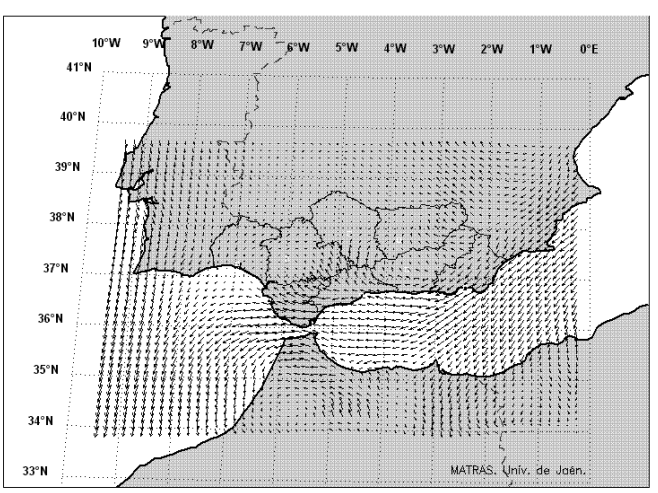
Gráfico Vectorial



Abril - Mayo - Junio 2003, altura 10 m. Vector velocidad del viento

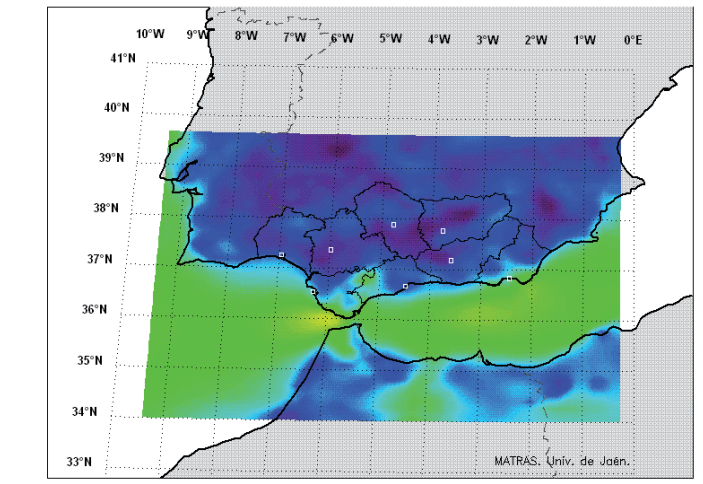


Abril - Mayo - Junio 2003, altura 40 m. Vector velocidad del viento

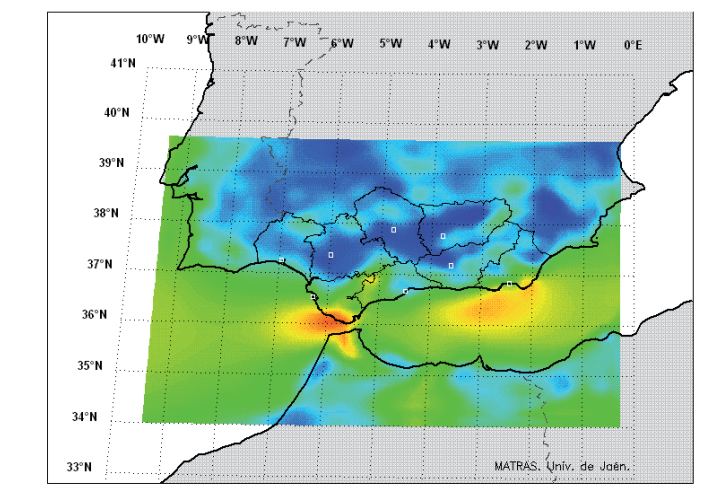


Abril - Mayo - Junio 2003, altura 80 m. Vector velocidad del viento

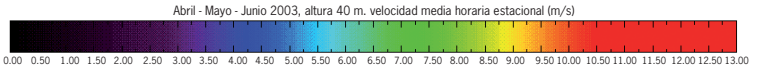
Promedio de velocidad

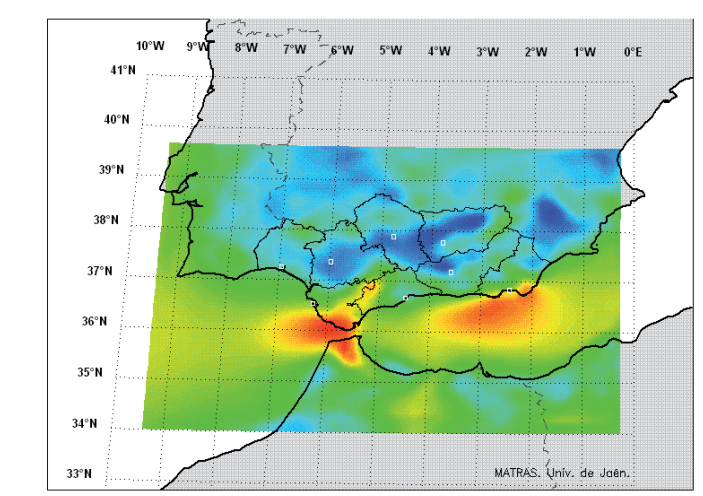


Abril - Mayo - Junio 2003, altura 10 m. velocidad media horaria estacional (m/s)

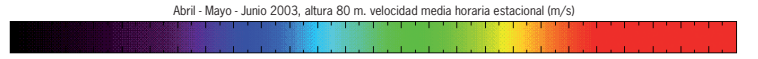


Abril - Mayo - Junio 2003, altura 40 m. velocidad media horaria estacional (m/s)

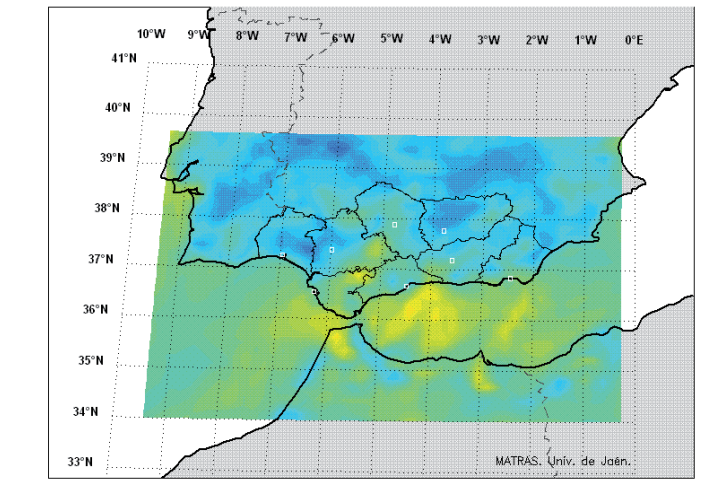




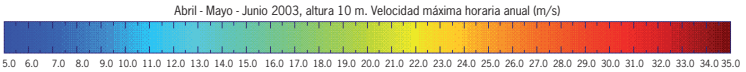
Abril - Mayo - Junio 2003, altura 80 m. velocidad media horaria estacional (m/s)

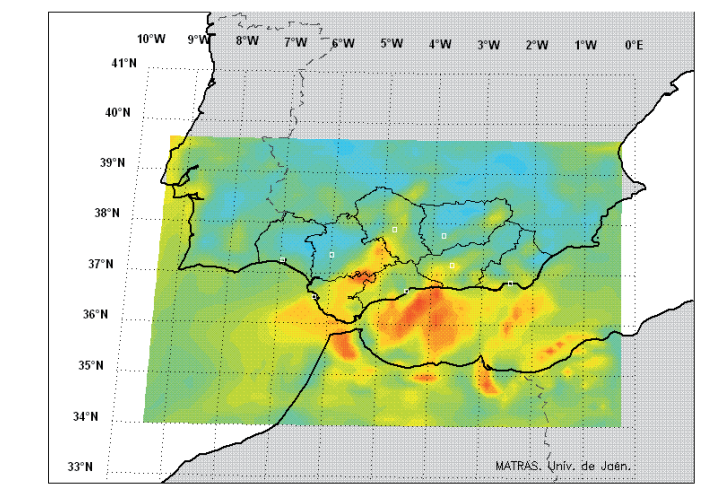


Velocidad máxima

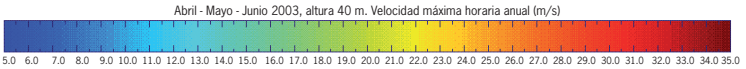


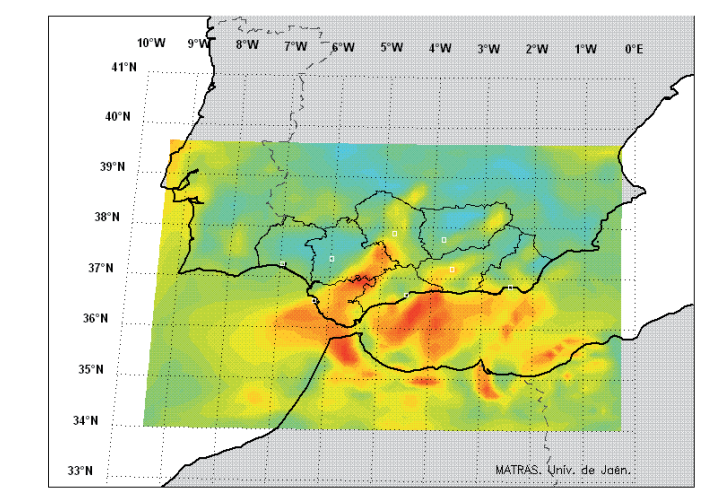
Abril - Mayo - Junio 2003, altura 10 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)



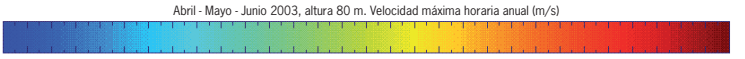


Abril - Mayo - Junio 2003, altura 40 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)

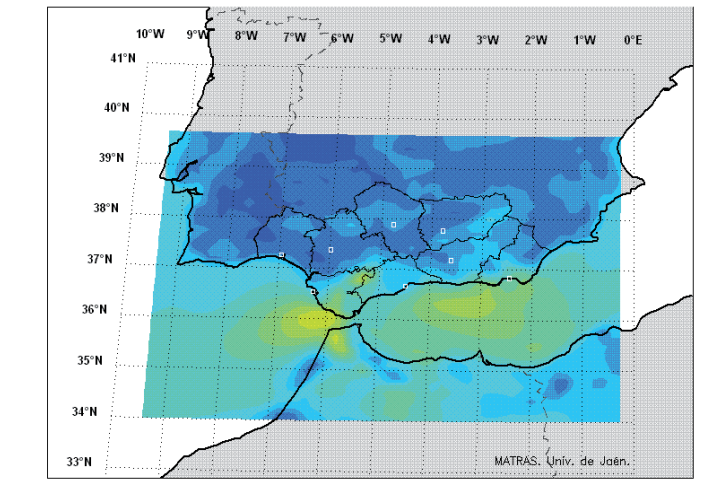


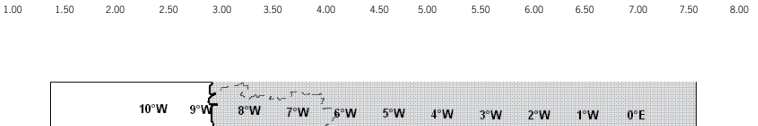


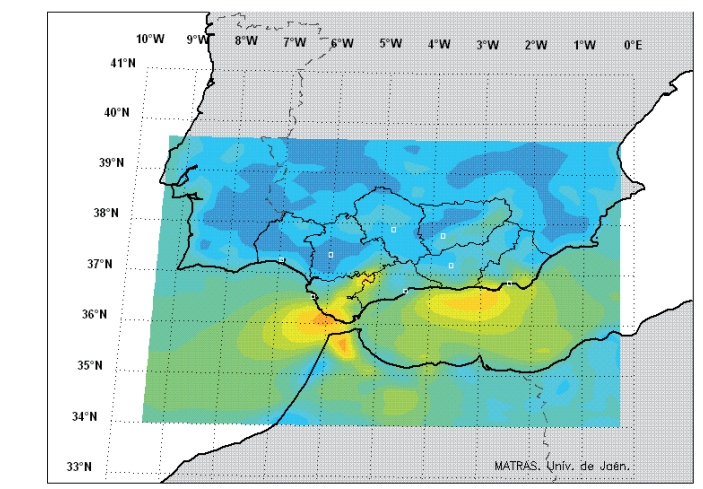
Abril - Mayo - Junio 2003, altura 80 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)

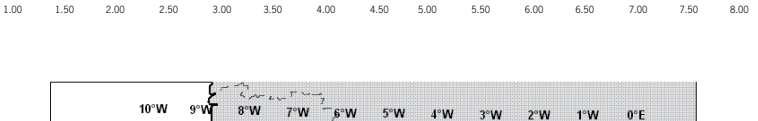


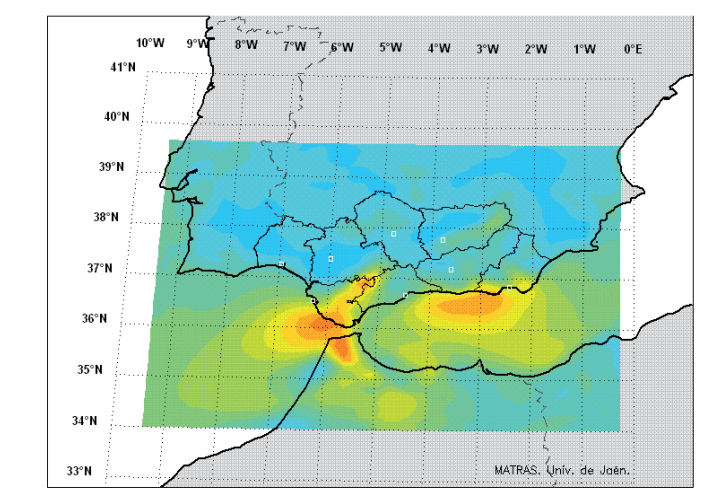
Desviación estándar de la velocidad



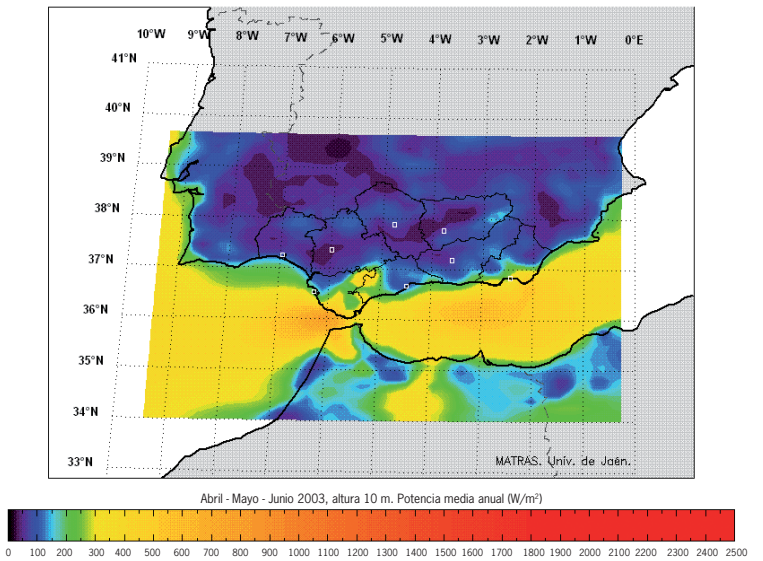




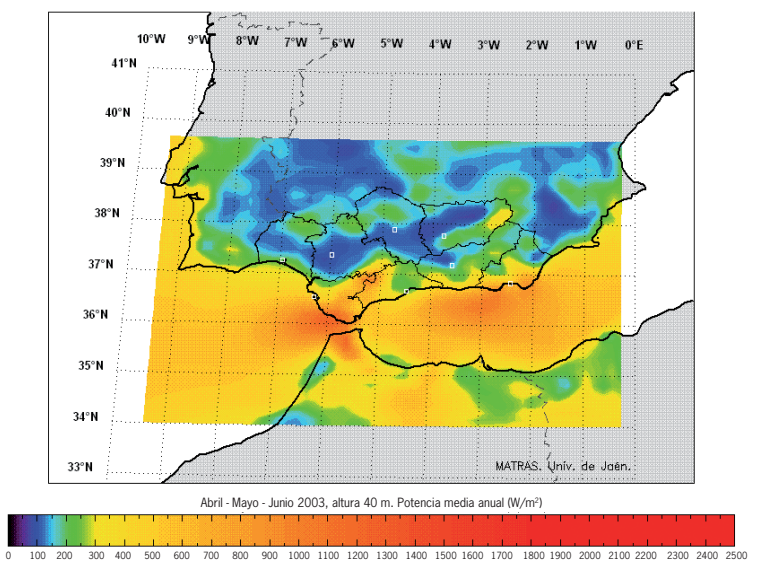




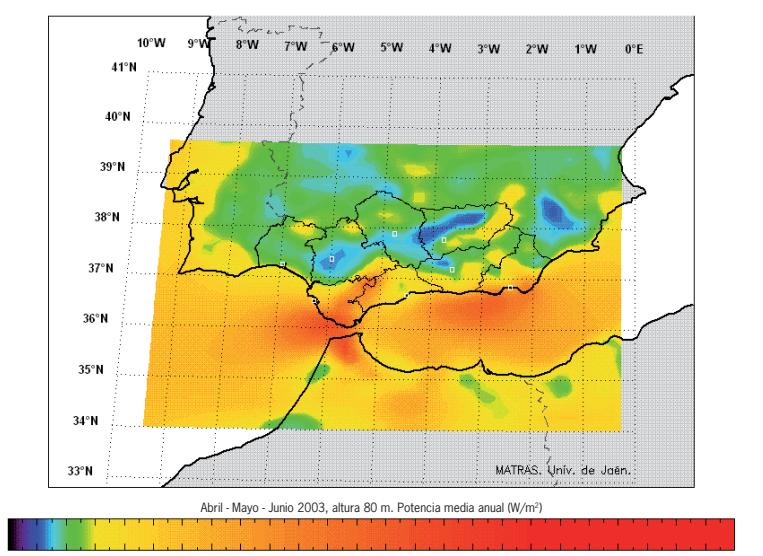
Potencia media por metro cuadrado



Abril - Mayo - Junio 2003, altura 10 m. Potencia media anual (W/m²)



Abril - Mayo - Junio 2003, altura 40 m. Potencia media anual (W/m²)



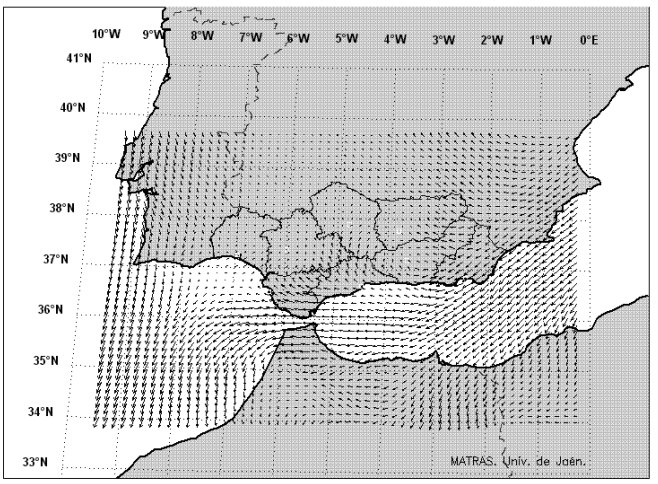
Abril - Mayo - Junio 2003, altura 80 m. Potencia media anual (W/m²)

ESTACIONAL 2003
VERANO

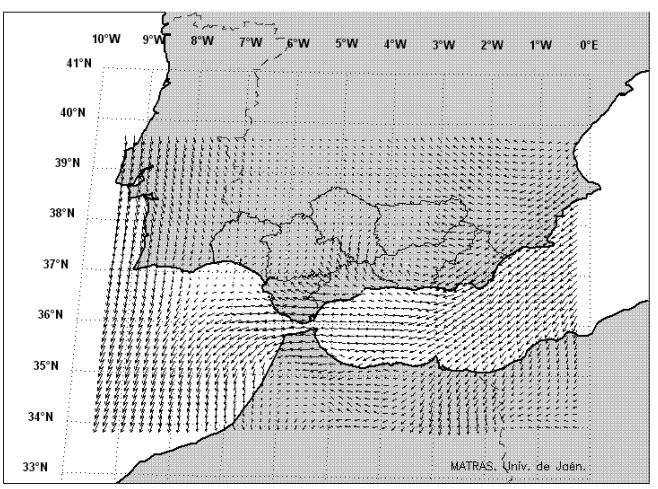
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

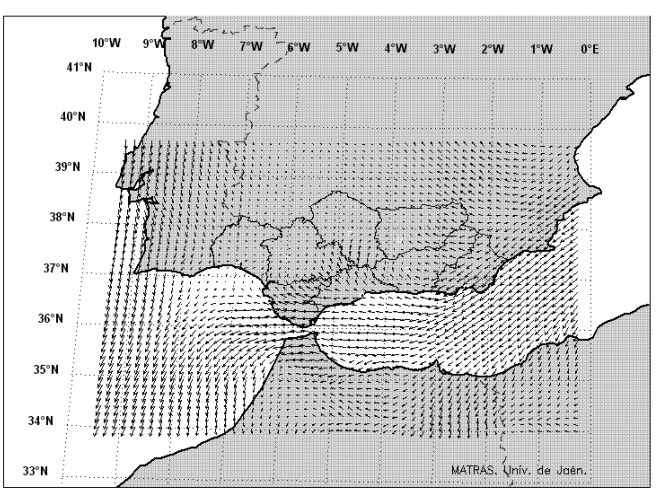
Gráfico Vectorial



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 10 m. Vector velocidad del viento

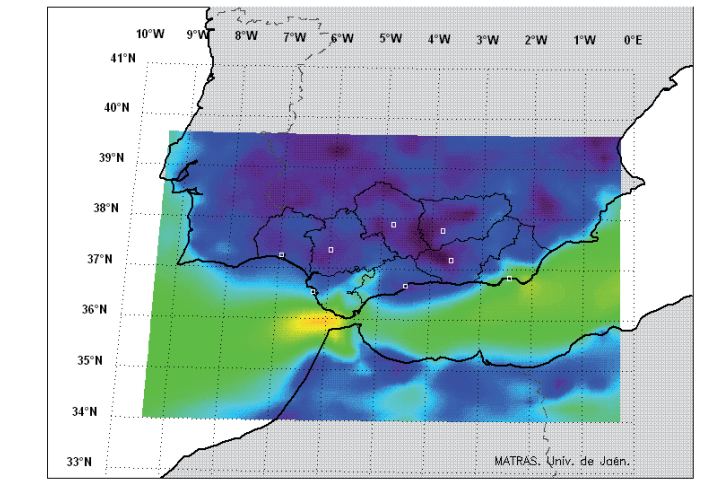


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 40 m. Vector velocidad del viento

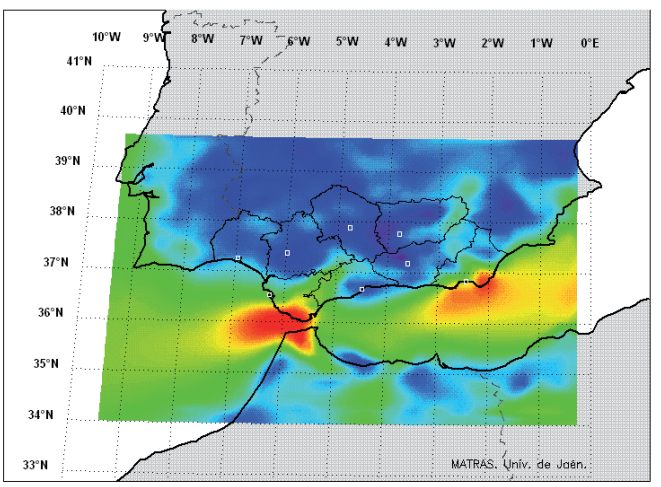


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 80 m. Vector velocidad del viento

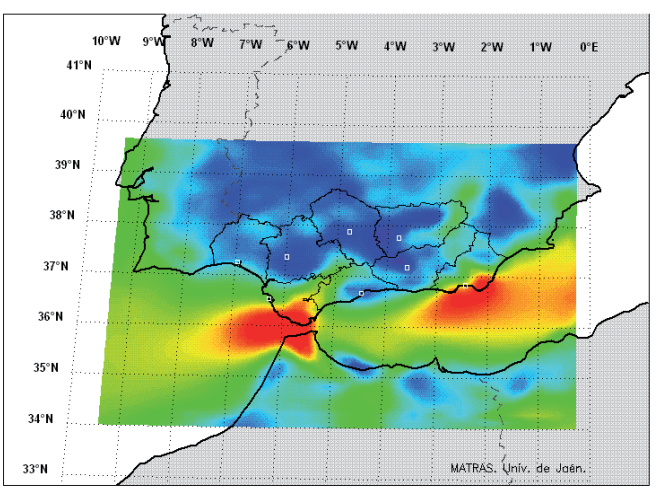
Promedio de velocidad



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

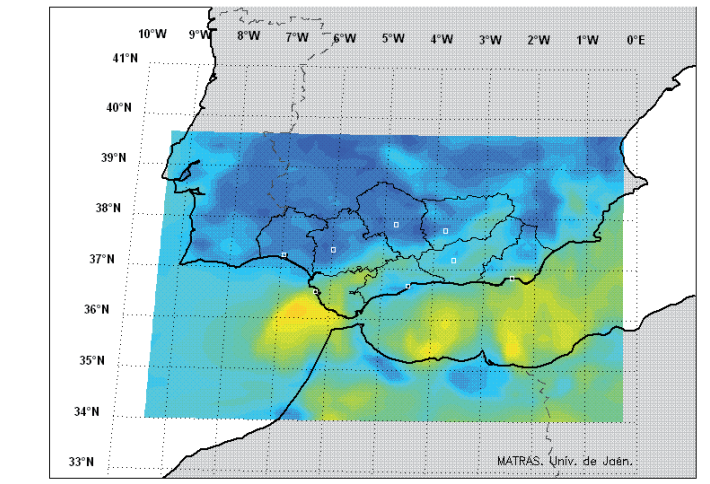


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

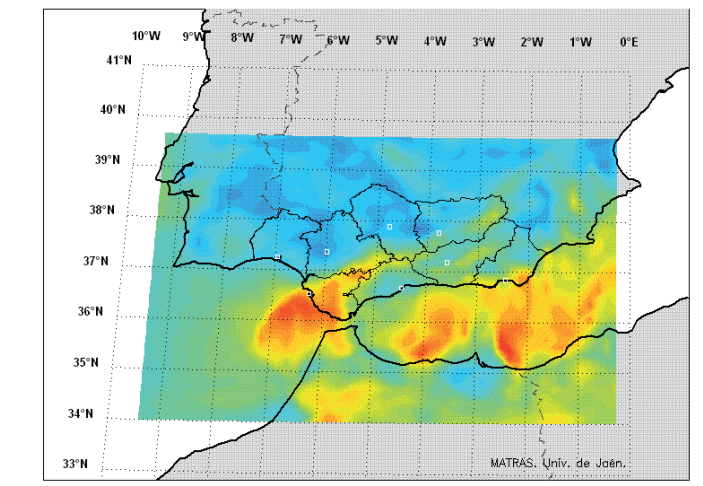


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

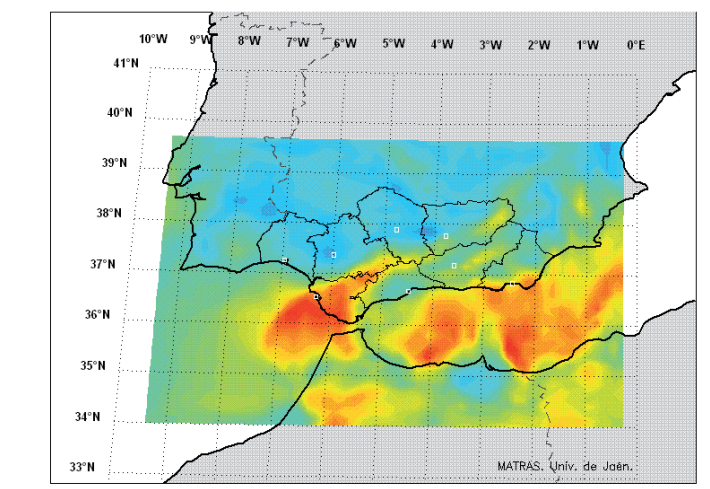
Velocidad máxima



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

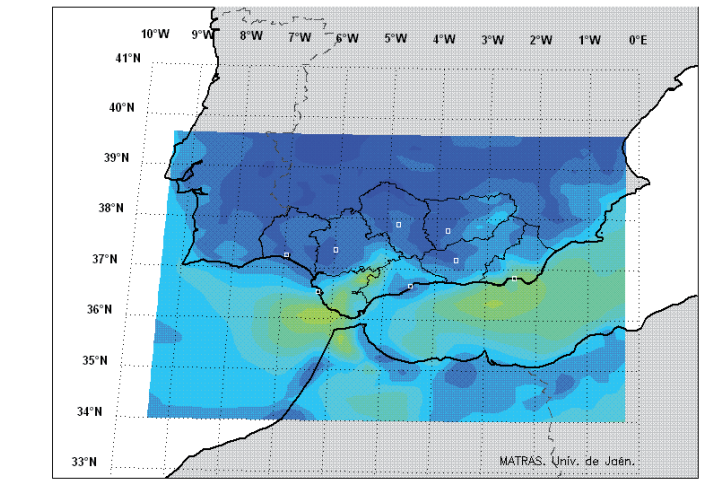


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

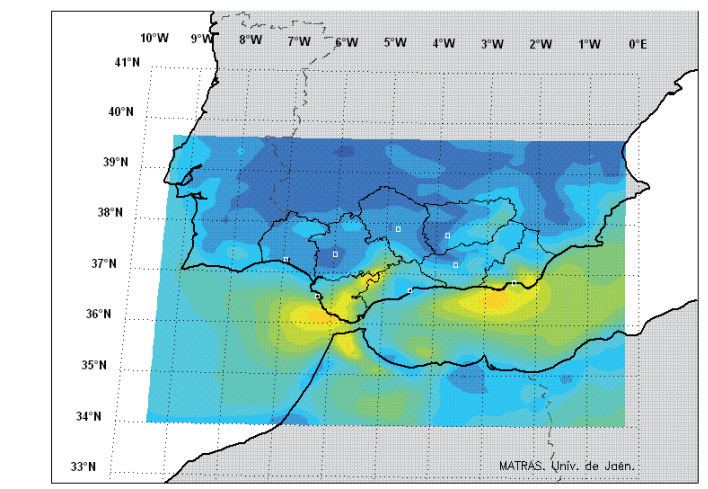


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

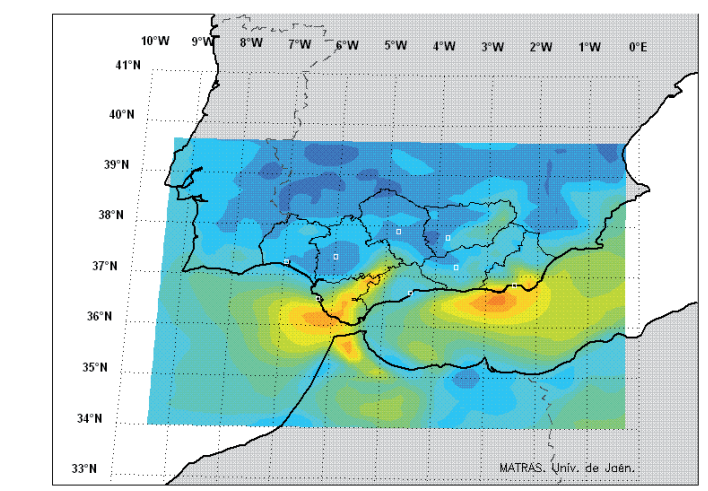
Desviación estándar de la velocidad



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

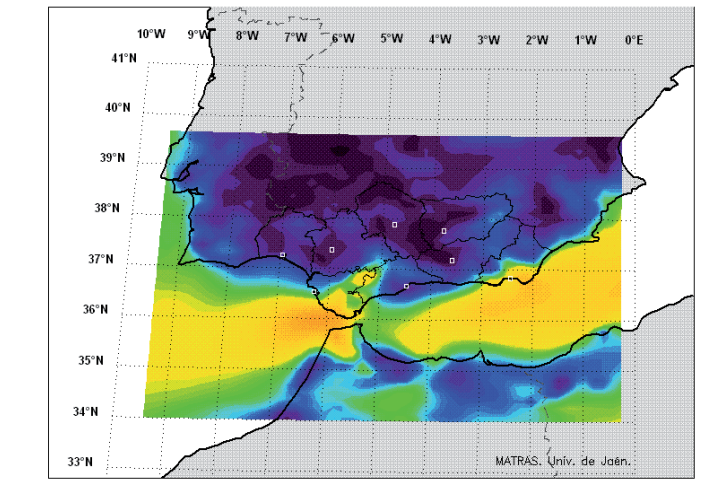


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

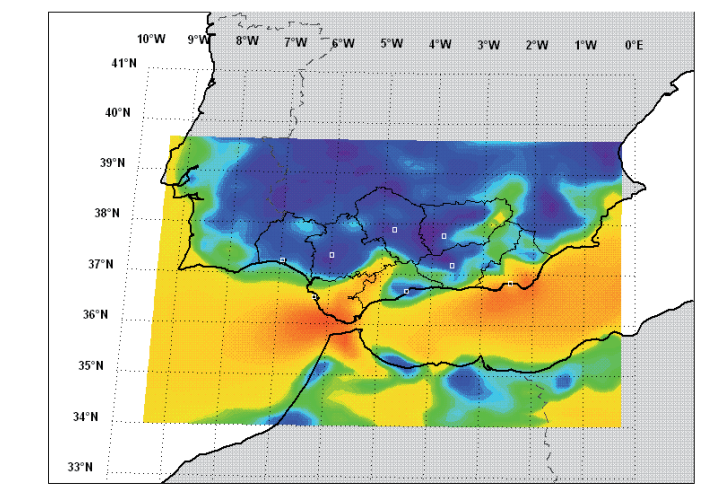


Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

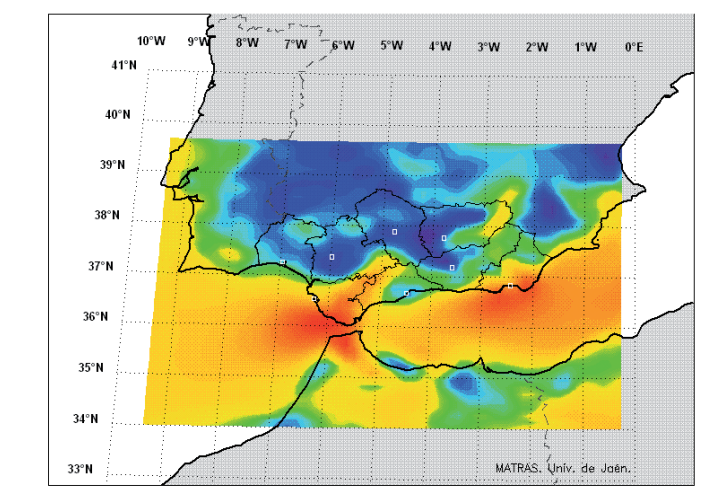
Potencia media por metro cuadrado



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



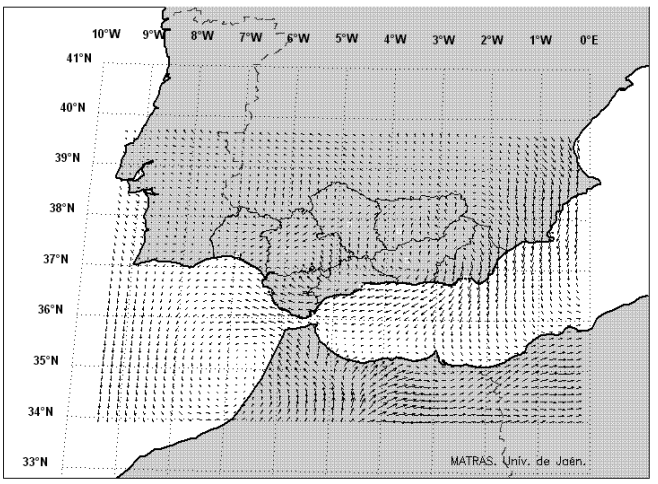
Julio - Agosto - Septiembre 2003, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

ESTACIONAL 2003
OTOÑO

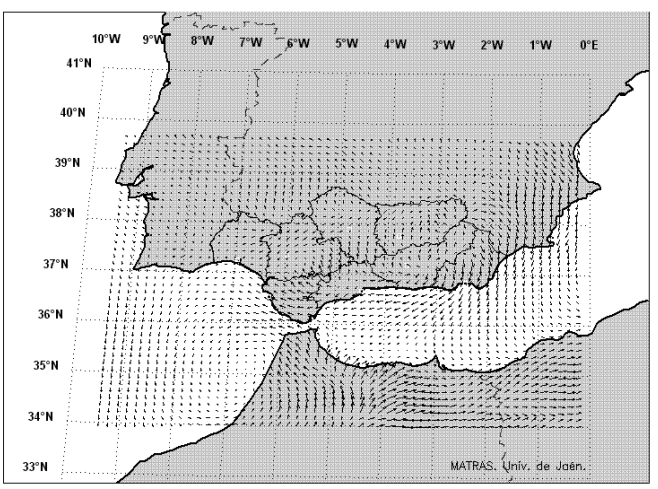
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

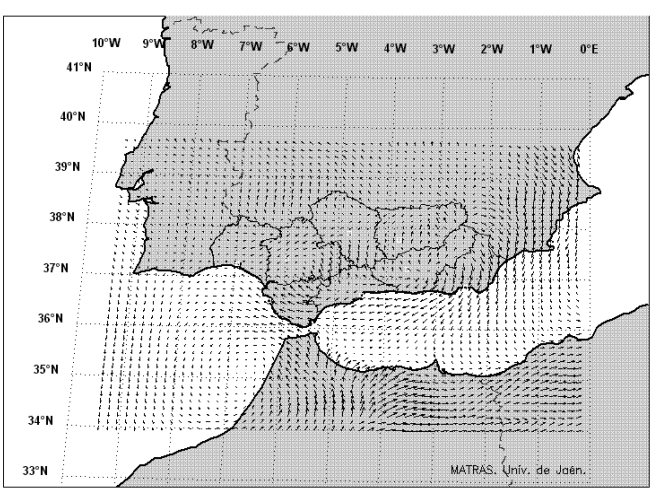
Gráfico Vectorial



Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 10 m. Vector velocidad del viento

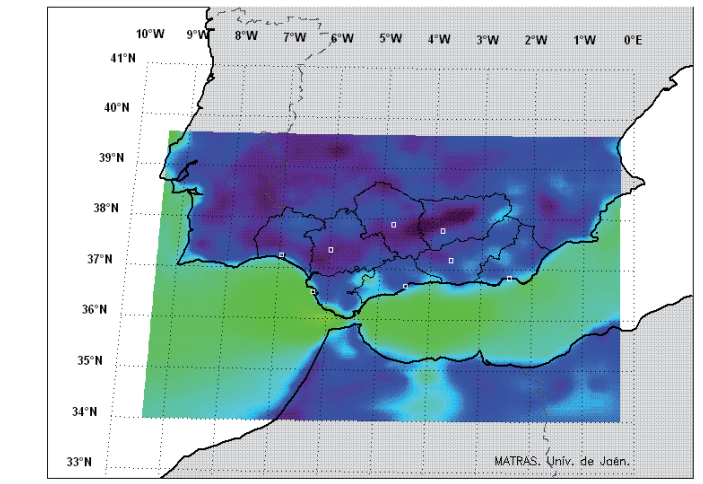


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 40m. Vector velocidad del viento

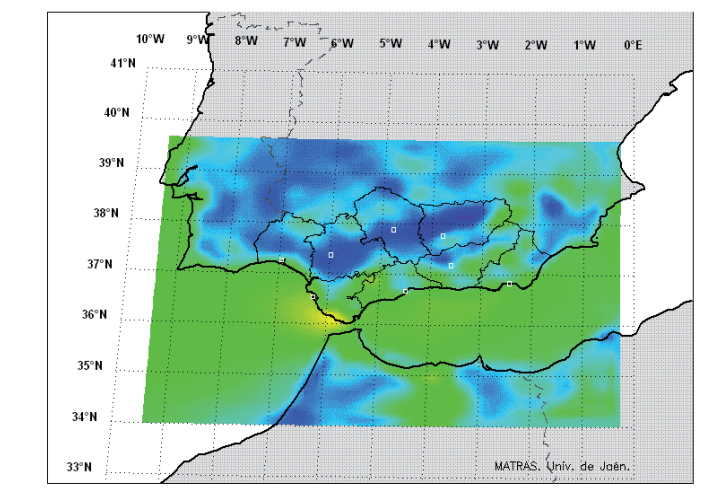


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 80 m. Vector velocidad del viento

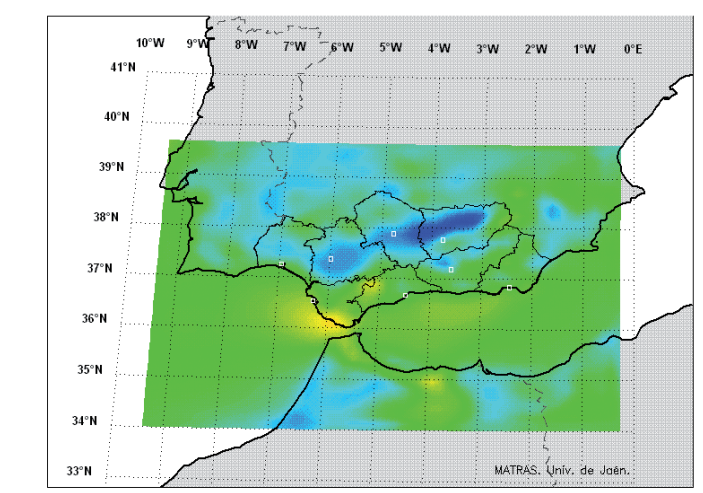
Promedio de velocidad



Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

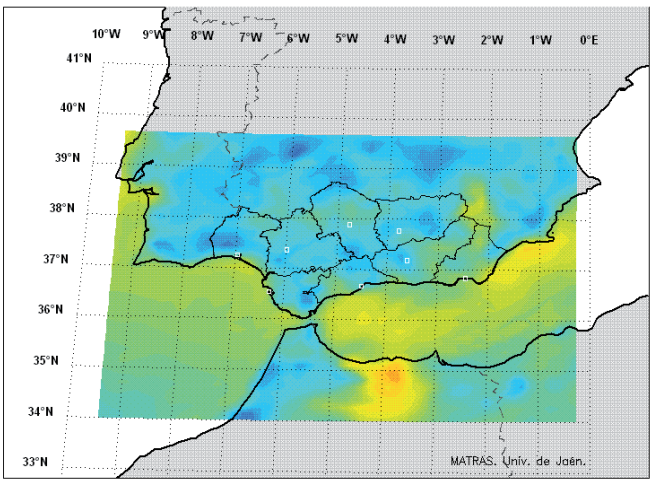


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

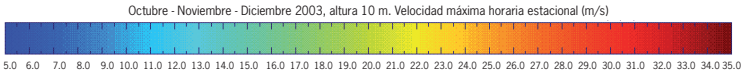


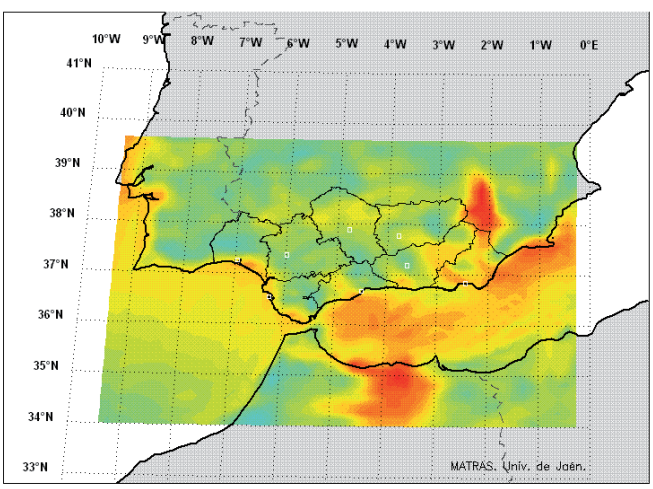
Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

Velocidad máxima

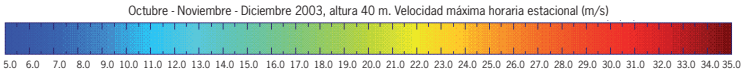


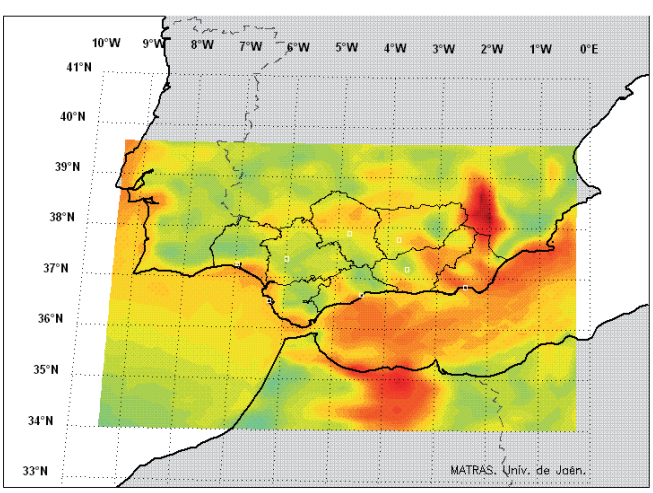
Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



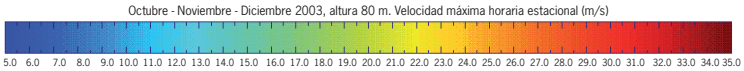


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

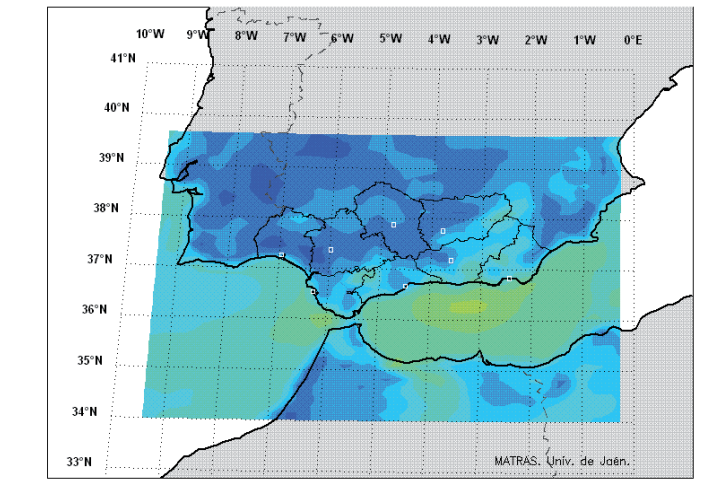




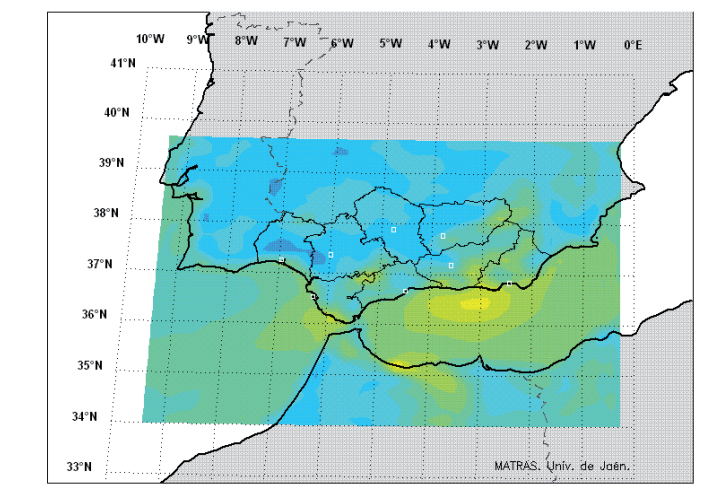
Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



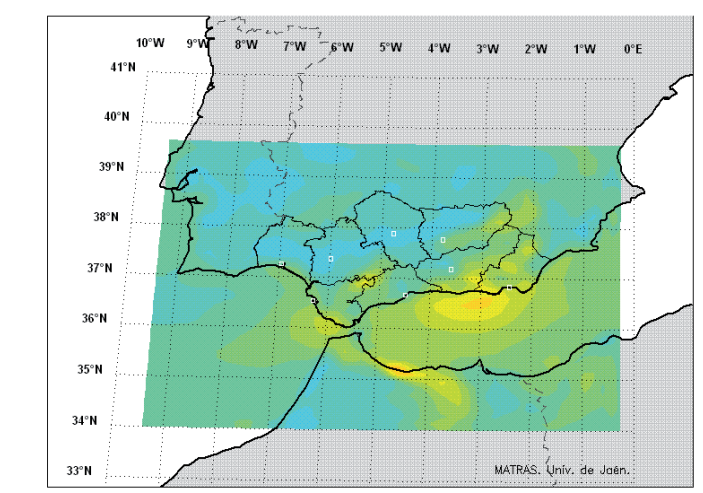
Desviación estándar de la velocidad



Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

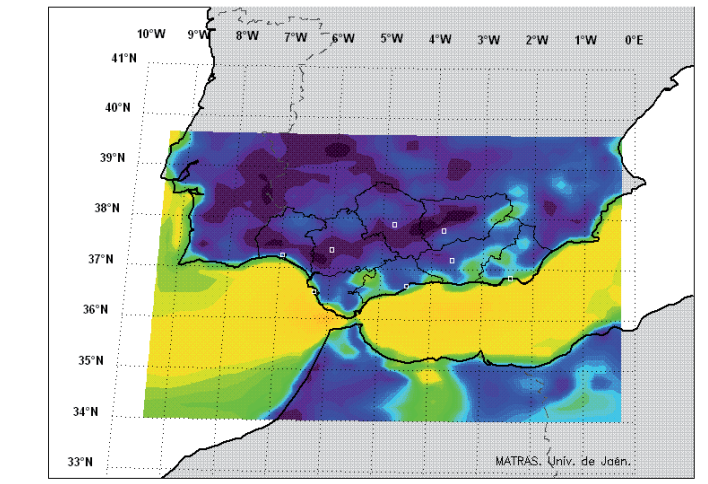


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

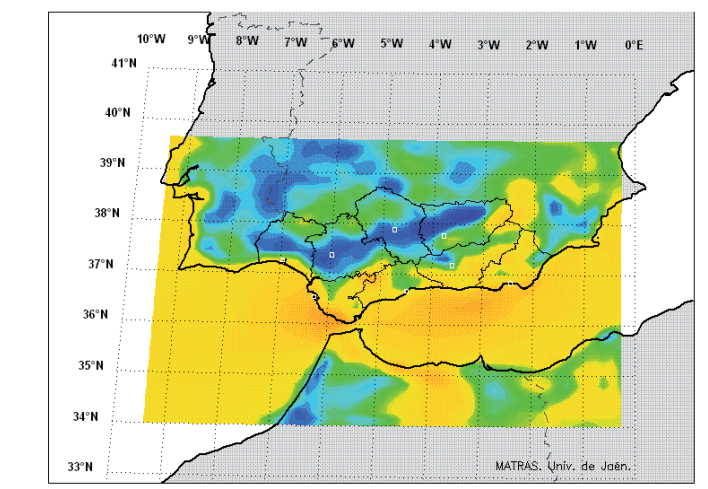


Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

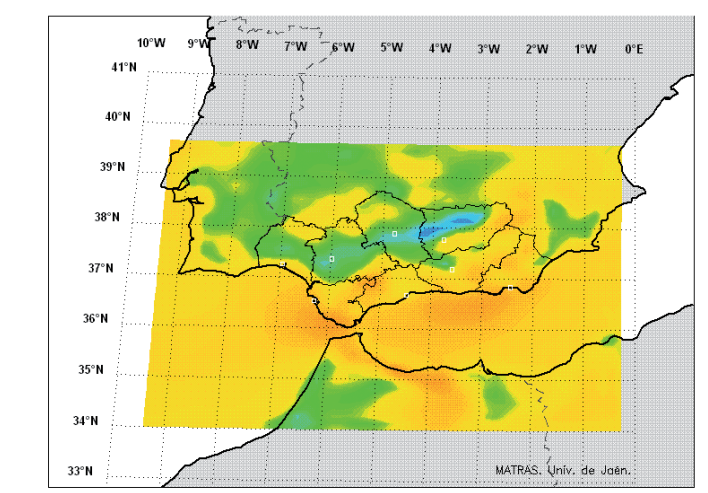
Potencia media por metro cuadrado



Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



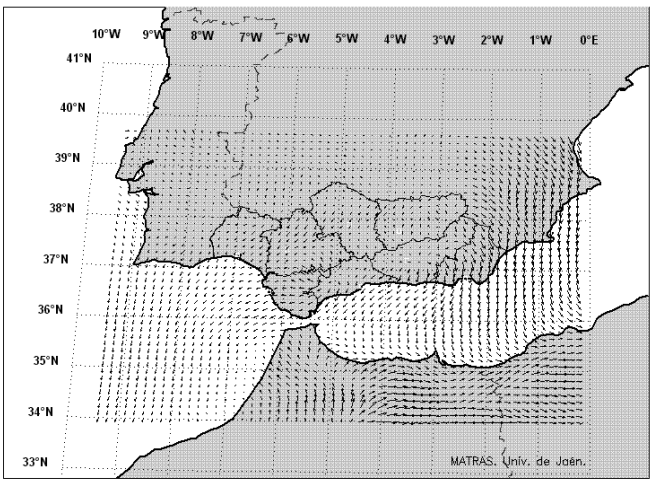
Octubre - Noviembre - Diciembre 2003, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

ESTACIONAL 2003
INVIERNO

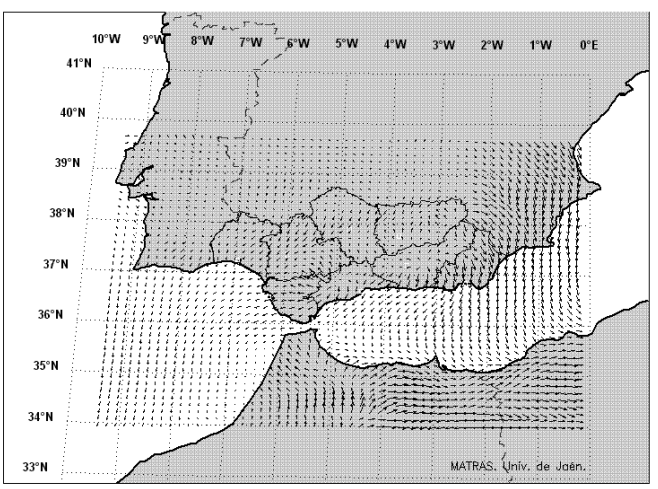
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

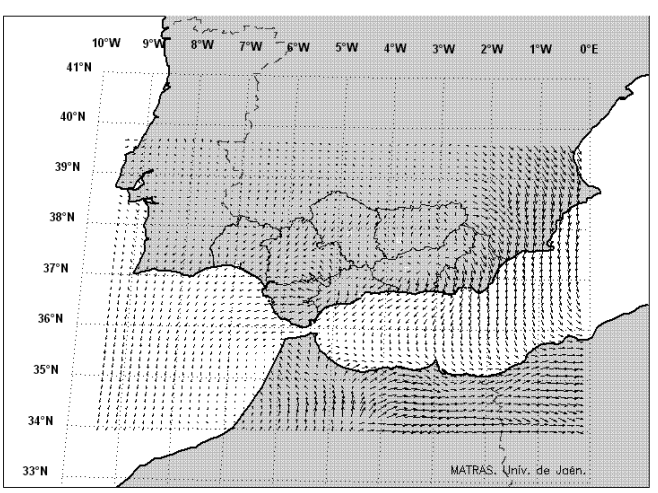
Gráfico Vectorial



Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 10 m. Vector velocidad del viento

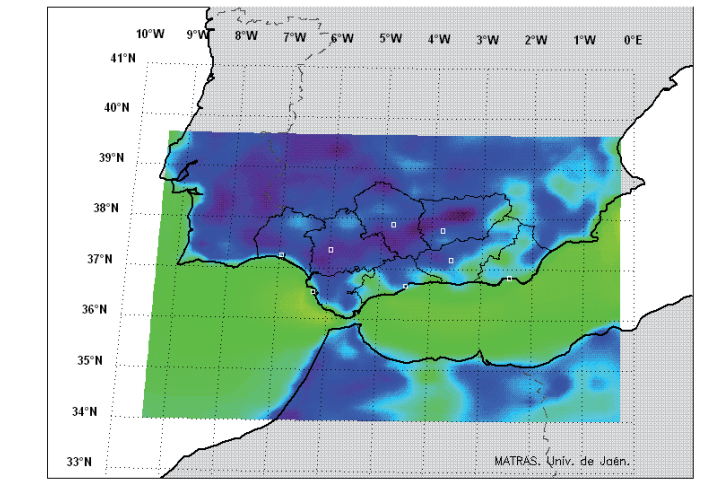


Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 40 m. Vector velocidad del viento

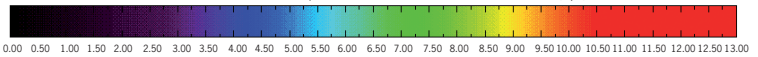


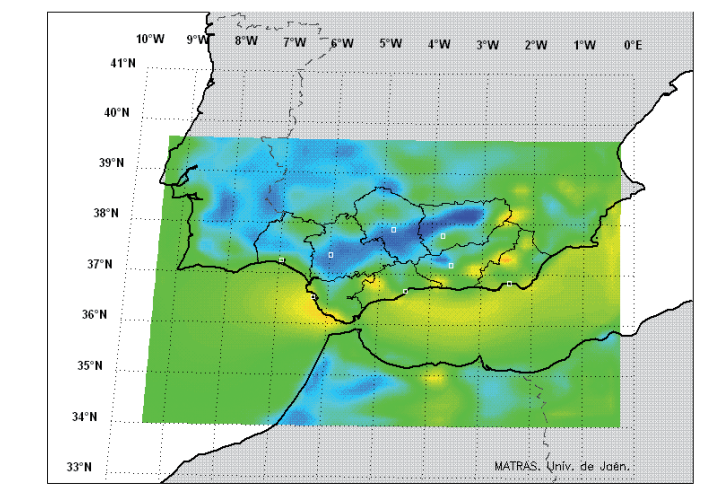
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 80 m. Vector velocidad del viento

Promedio de velocidad

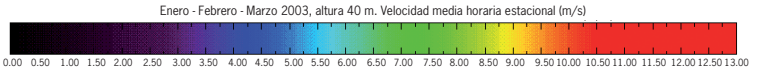


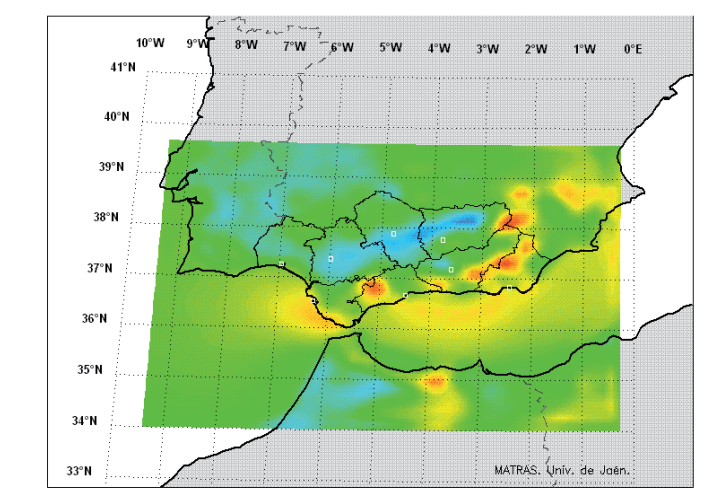
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)



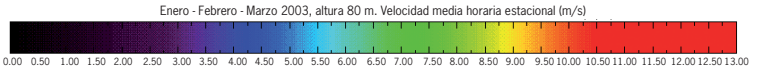


Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

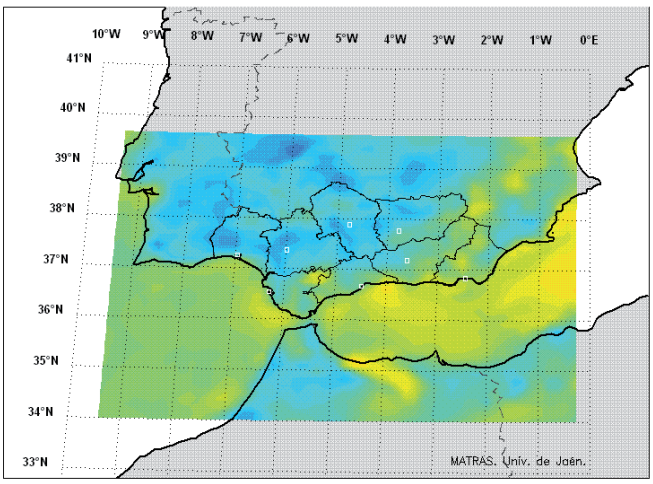




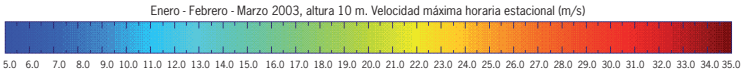
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

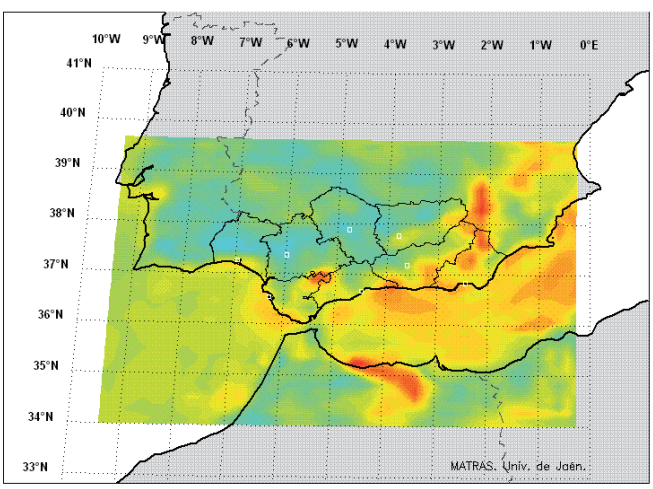


Velocidad máxima

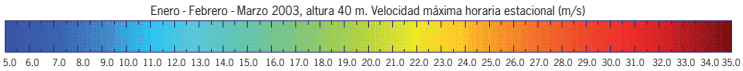


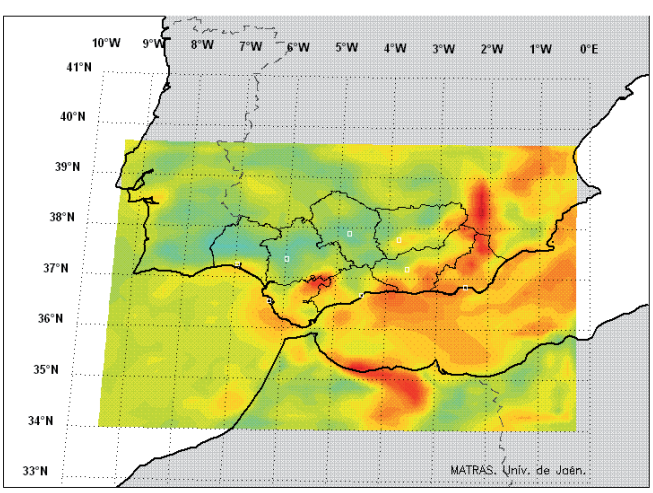
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



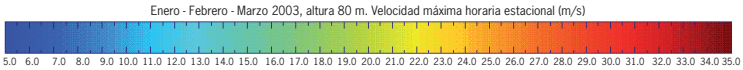


Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

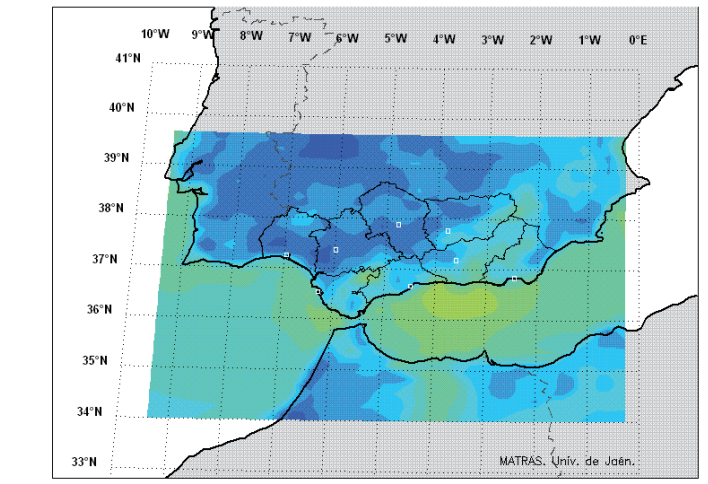




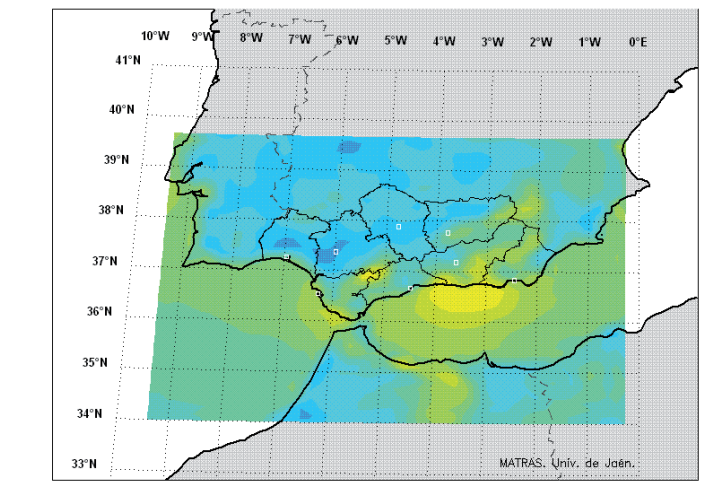
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



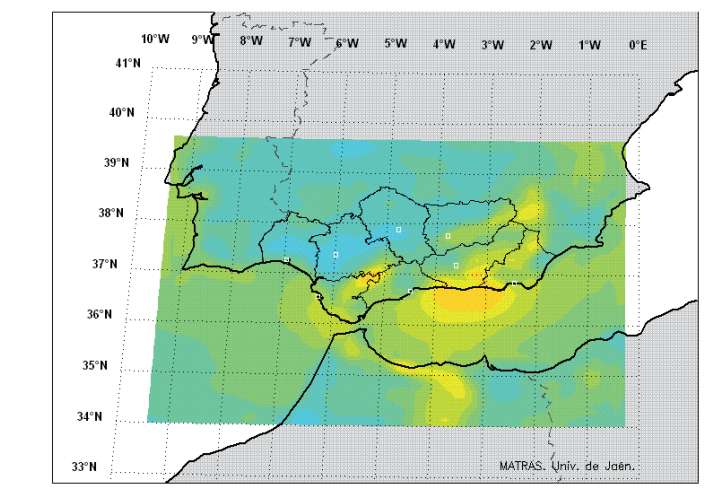
Desviación estándar de la velocidad



Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

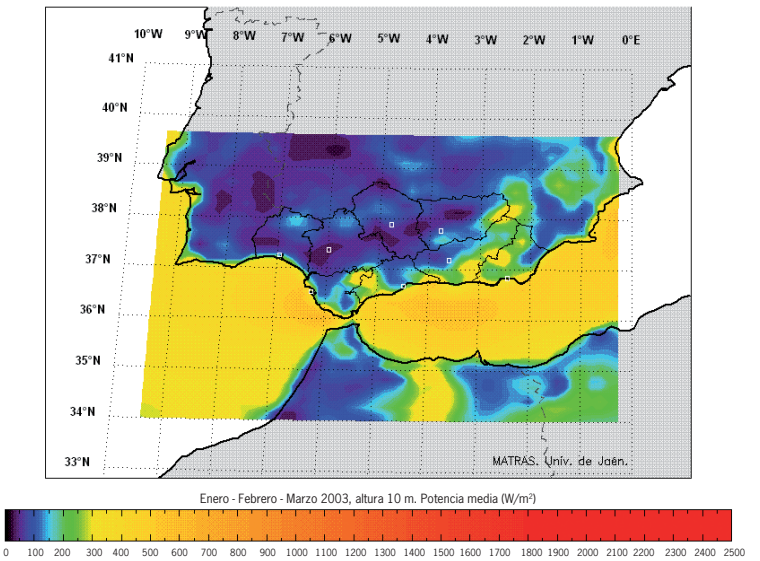


Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

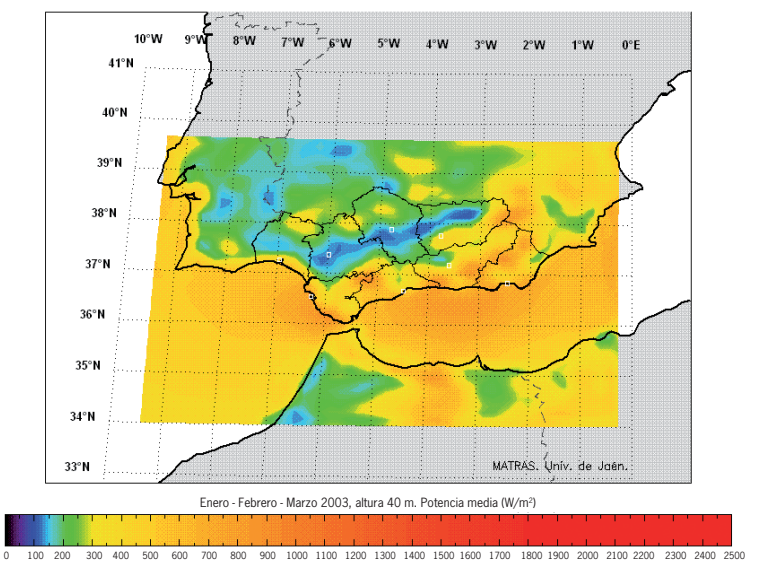


Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

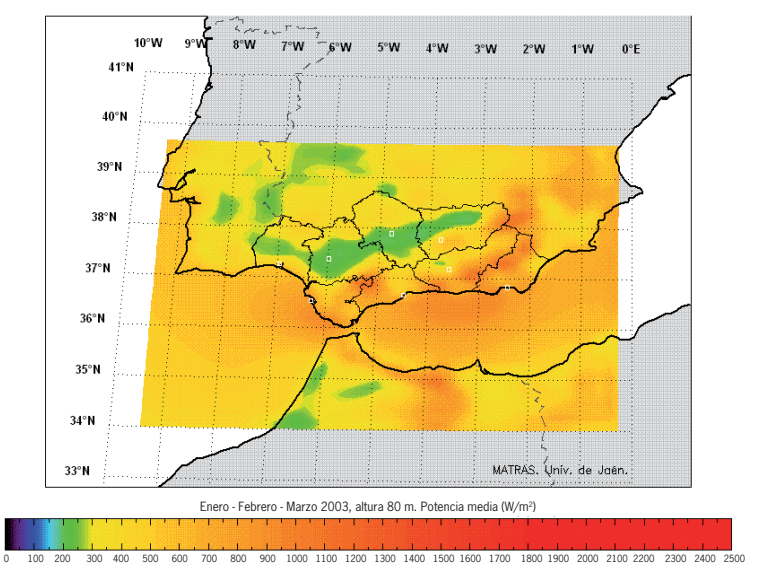
Potencia media por metro cuadrado



Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



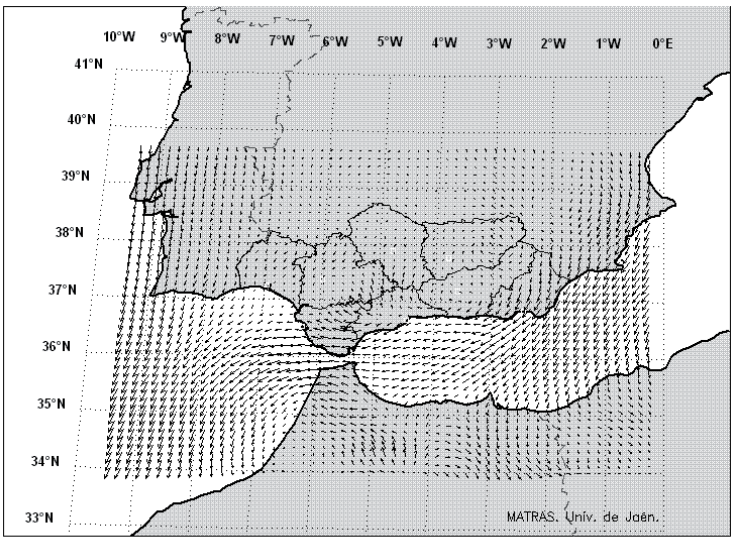
Enero - Febrero - Marzo 2003, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

ANUAL 2004

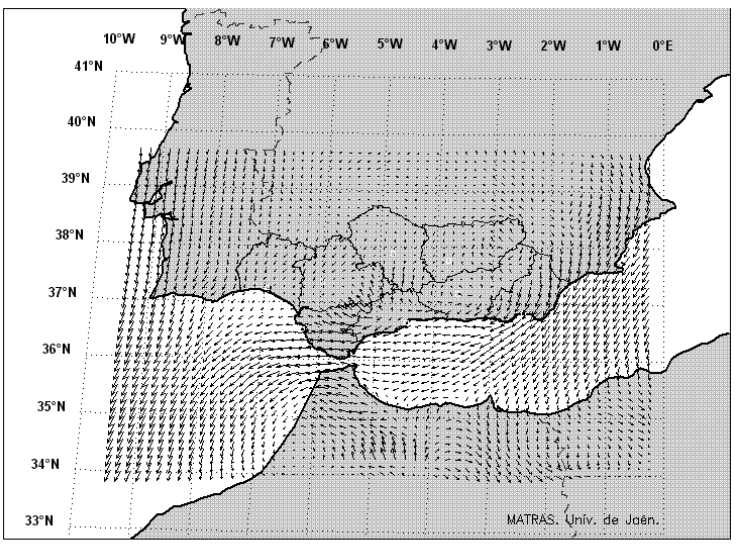
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

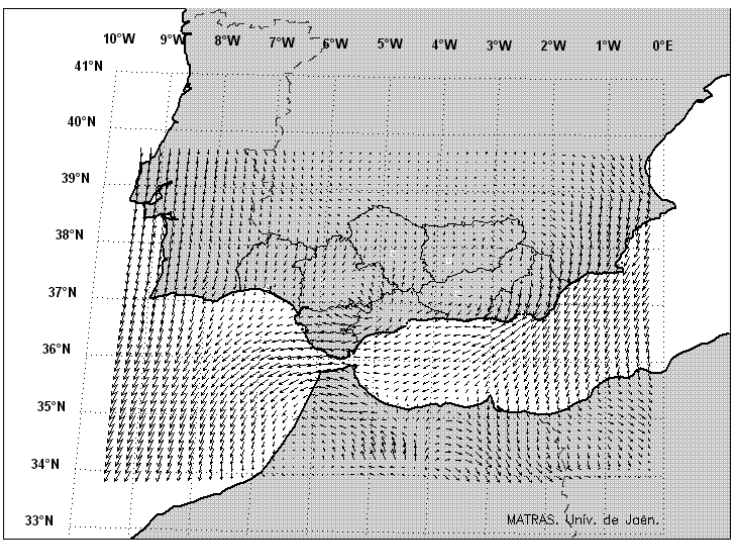
Gráfico vectorial



Anual 2004, altura 10 m. Vector velocidad del viento

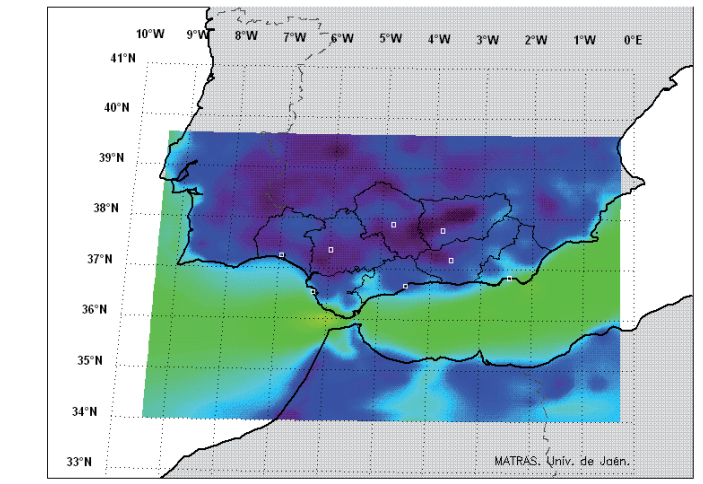


Anual 2004, altura 40 m. Vector velocidad del viento

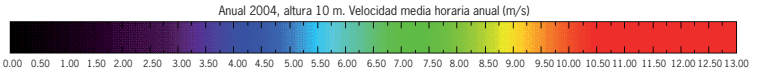


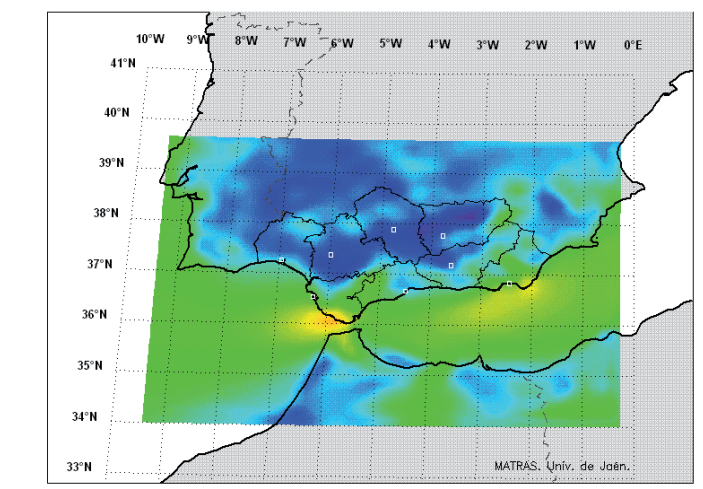
Anual 2004, altura 80 m. Vector velocidad del viento

Promedio de velocidad

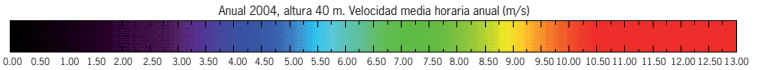


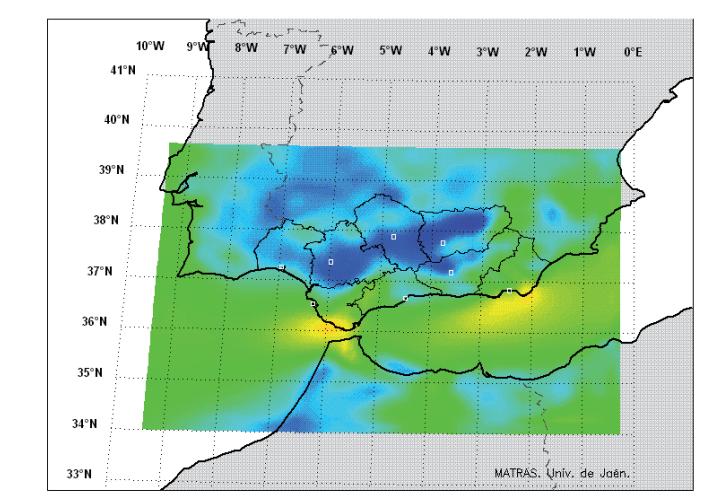
Anual 2004, altura 10 m. Velocidad media horaria anual (m/s)



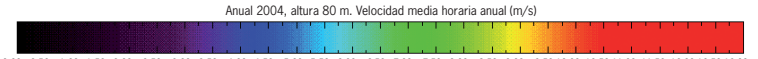


Anual 2004, altura 40 m. Velocidad media horaria anual (m/s)



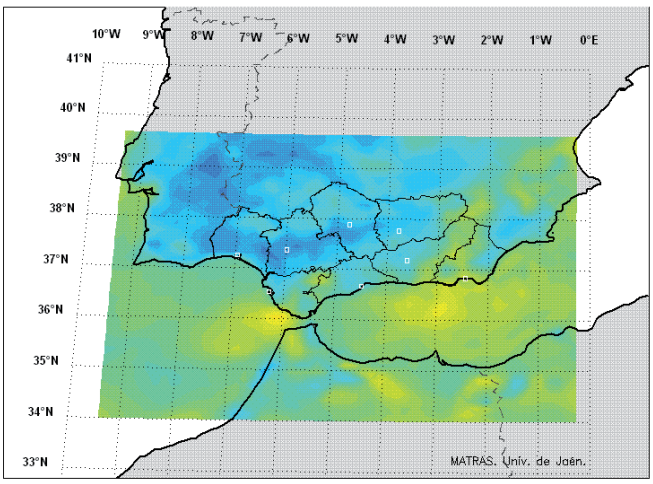


Anual 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria anual (m/s)

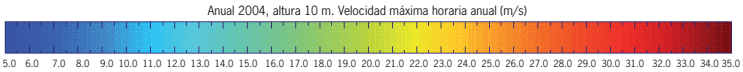


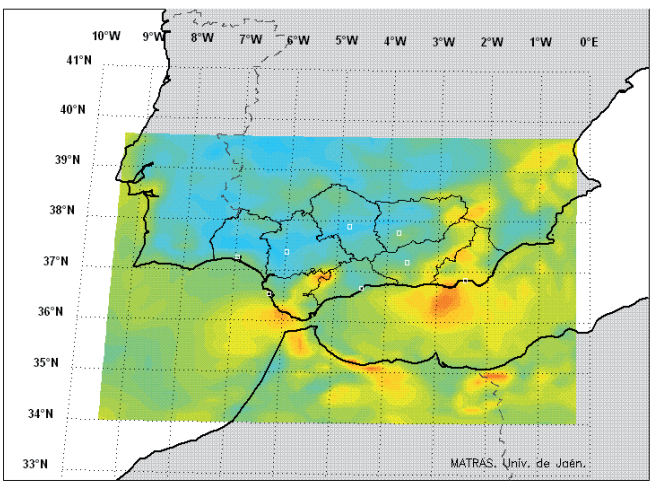
Recurso Eólico en Andalucía

Velocidad máxima

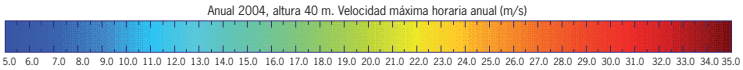


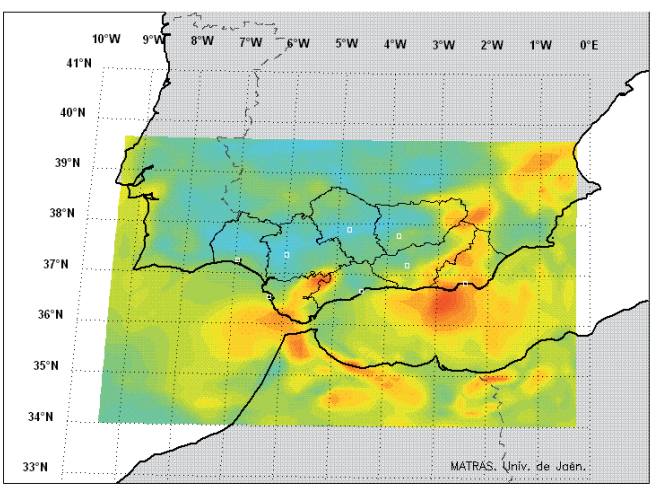
Anual 2004, altura 10 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)



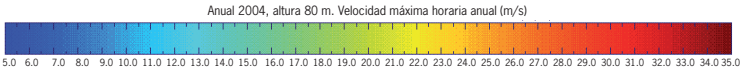


Anual 2004, altura 40 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)

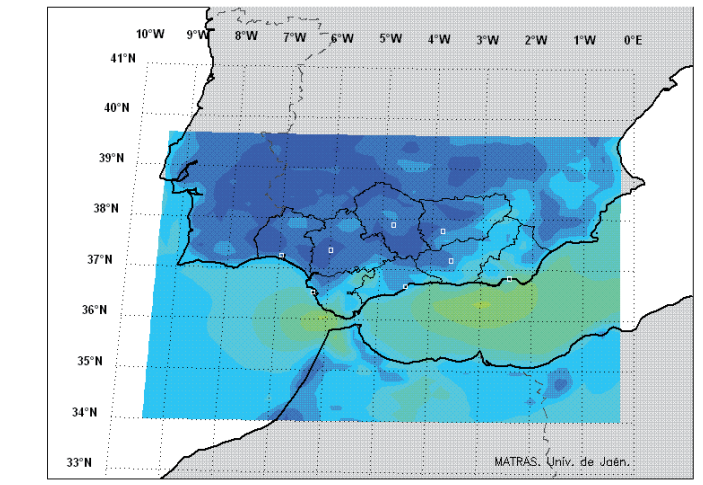




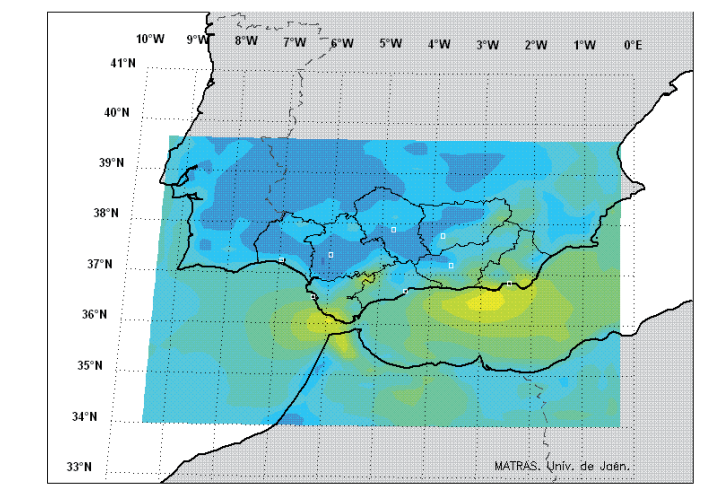
Anual 2004, altura 80 m. Velocidad máxima horaria anual (m/s)



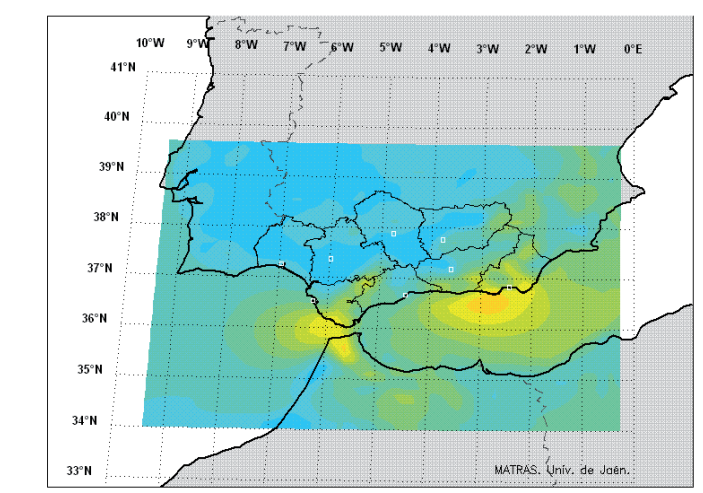
Desviación estándar de la velocidad



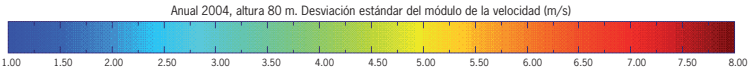
Anual 2004, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)



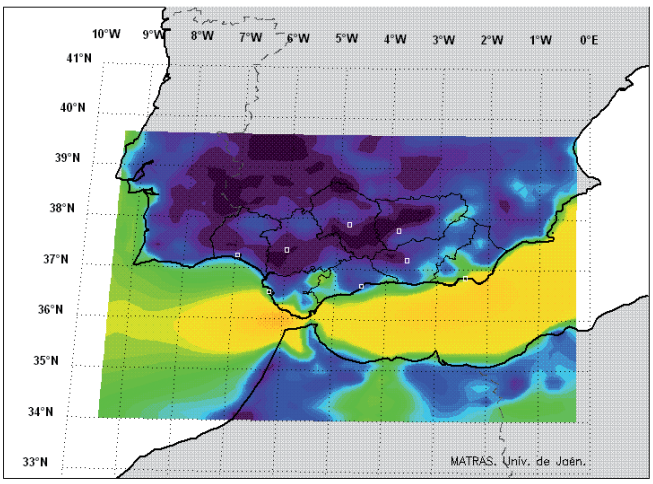
Anual 2004, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

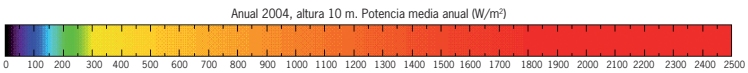


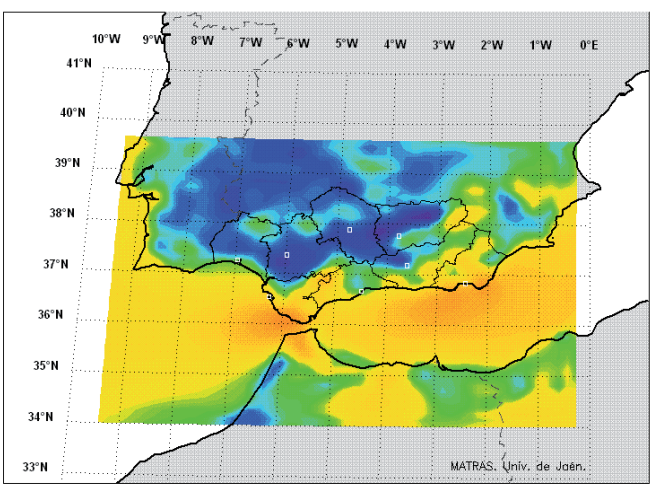
Anual 2004, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

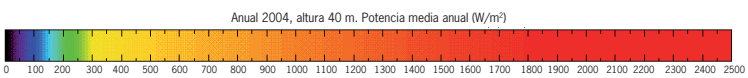


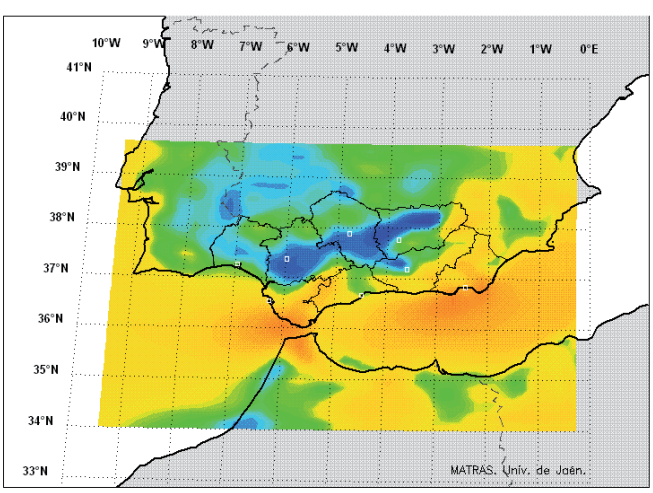
Potencia media por metro cuadrado

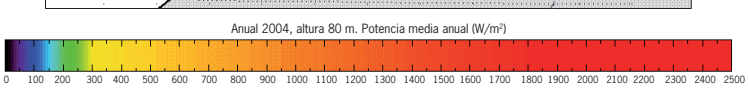










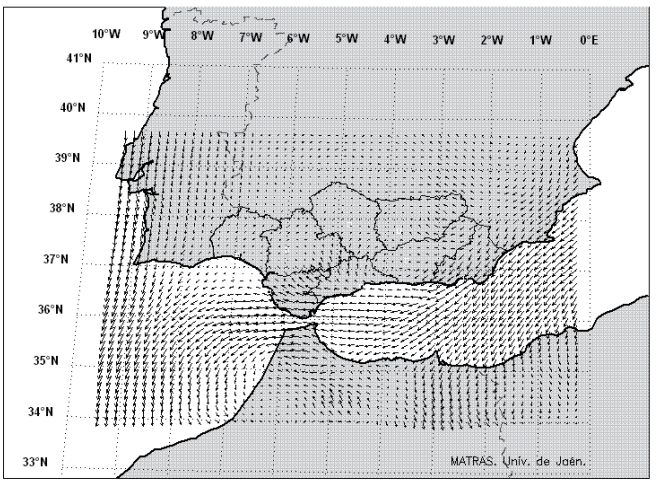


ESTACIONAL 2004
PRIMAVERA

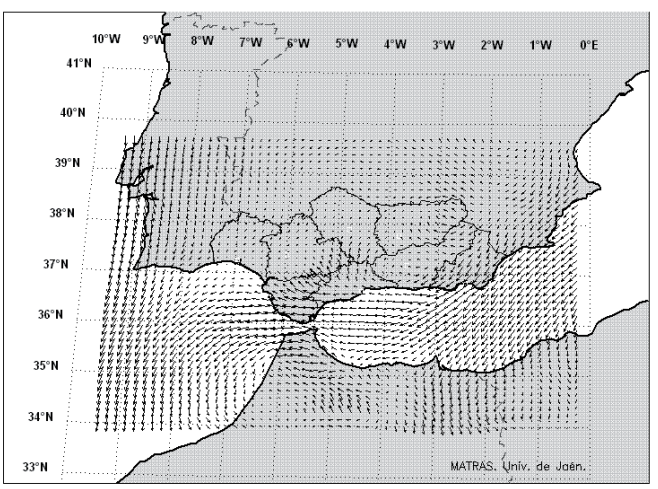
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

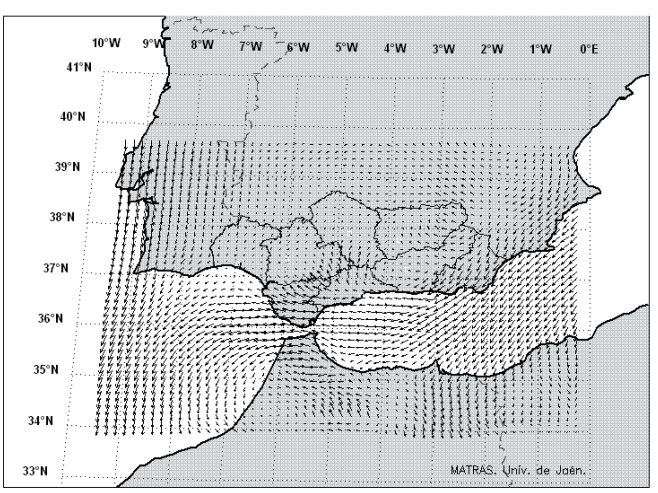
Gráfico Vectorial



Abril - Mayo - Junio 2004, altura 10 m. Vector velocidad del viento

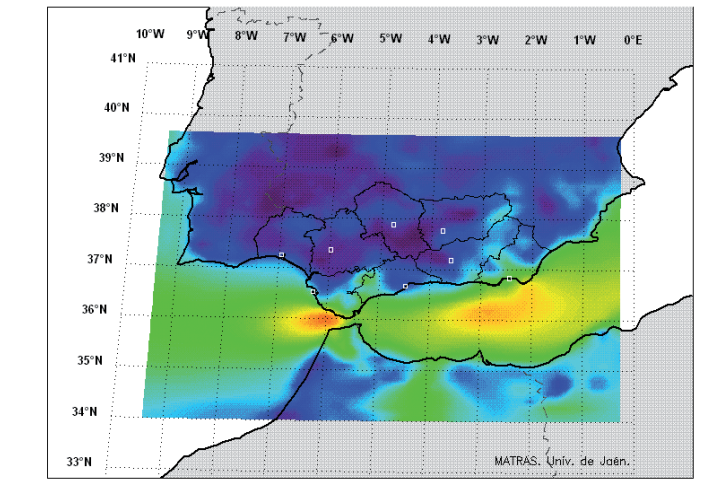


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 40 m. Vector velocidad del viento

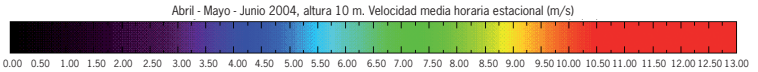


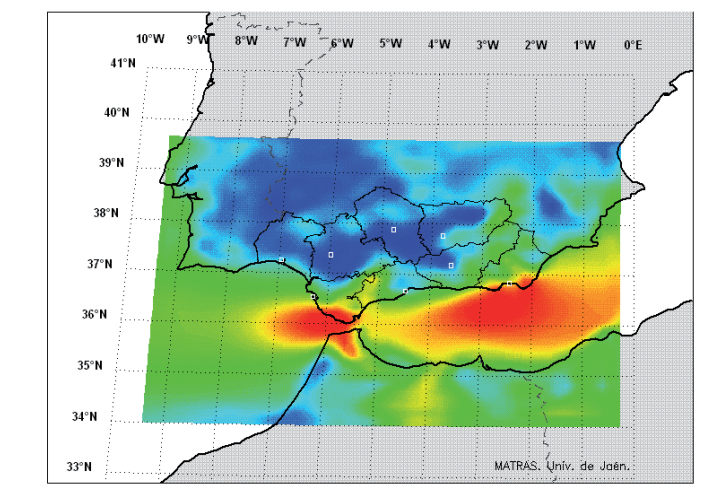
Abril - Mayo - Junio 2004, altura 80 m. Vector velocidad del viento

Promedio de velocidad

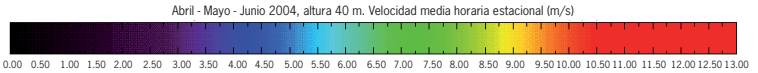


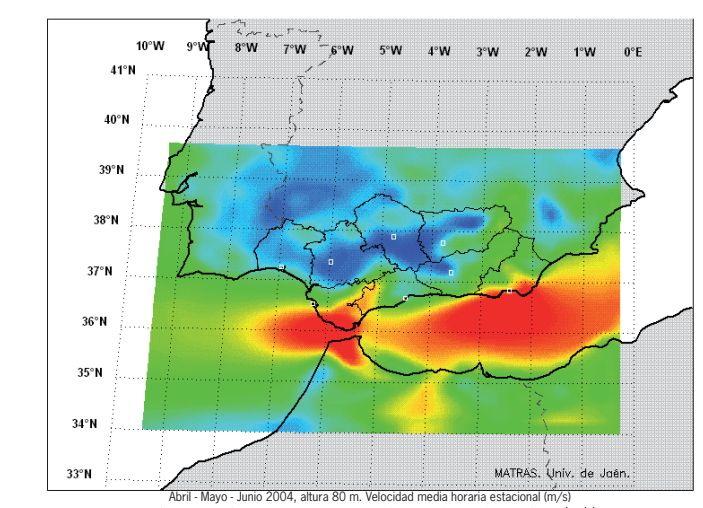
Abril - Mayo - Junio 2004, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)





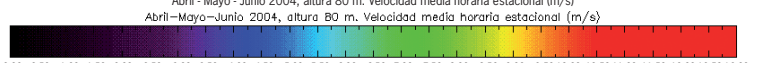
Abril - Mayo - Junio 2004, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)



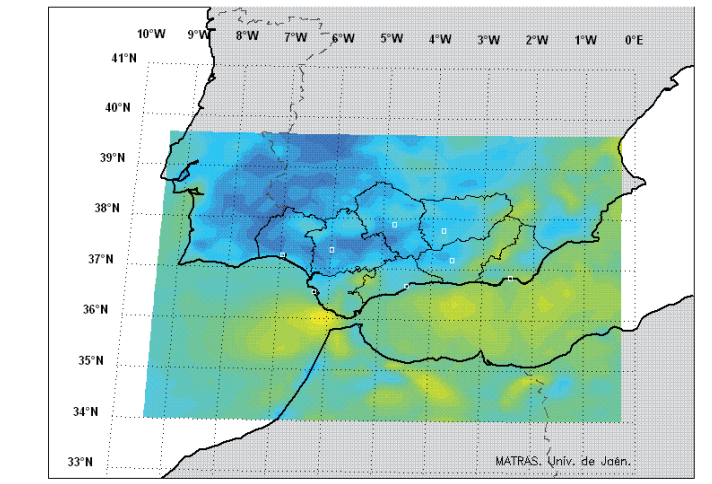


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

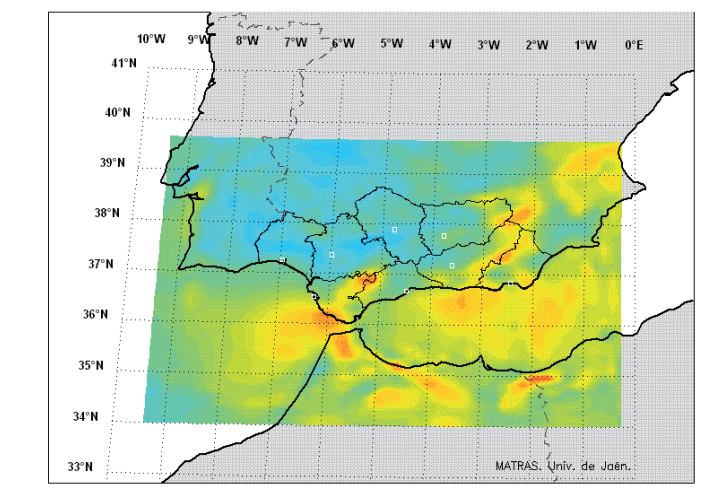
Abril–Mayo–Junio 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)



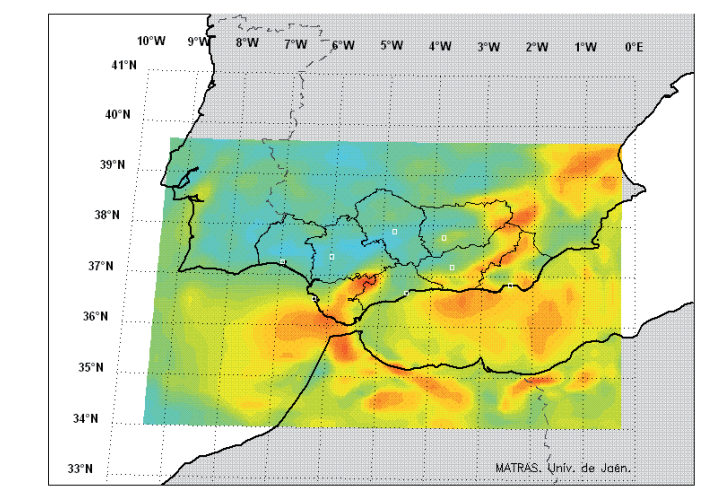
Velocidad máxima



Abril - Mayo - Junio 2004, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

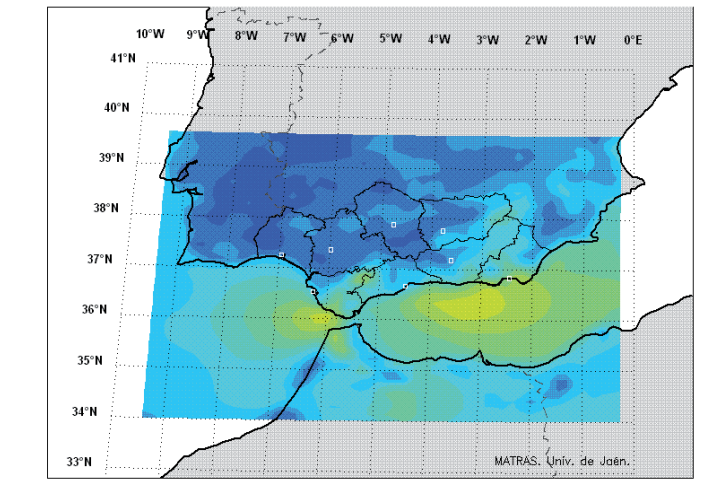


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

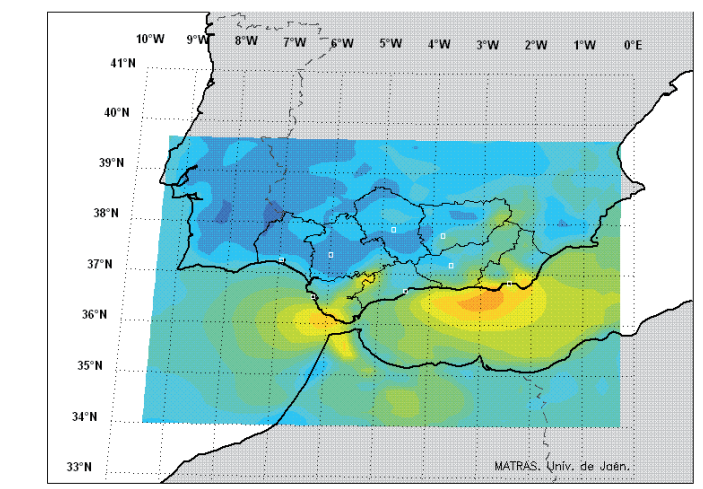


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

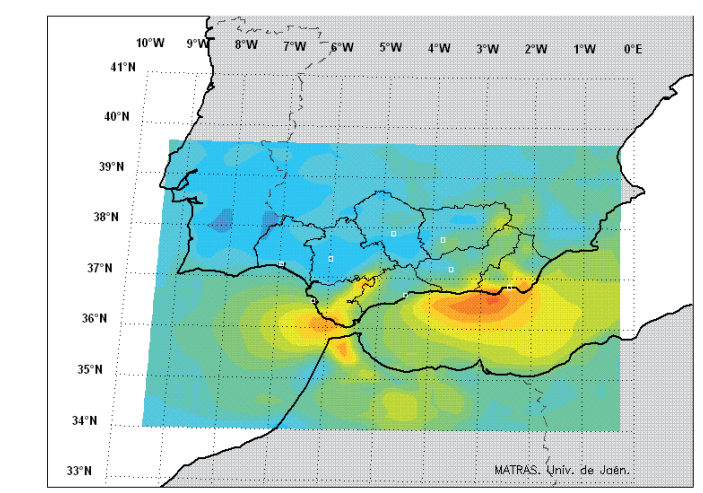
Desviación estándar de la velocidad



Abril - Mayo - Junio 2004, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

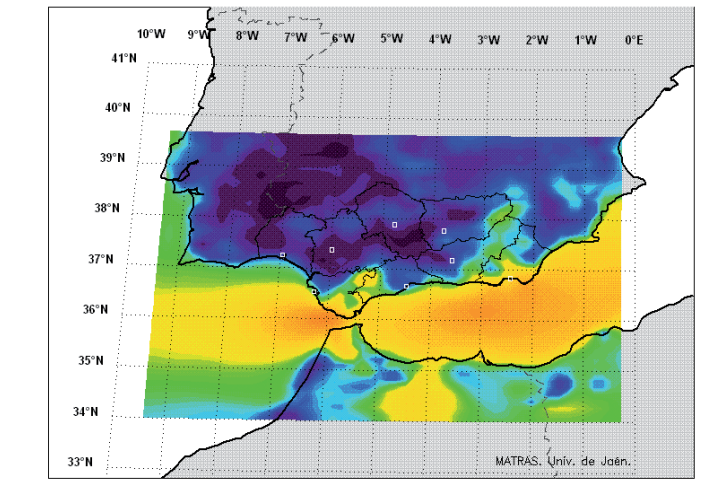


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

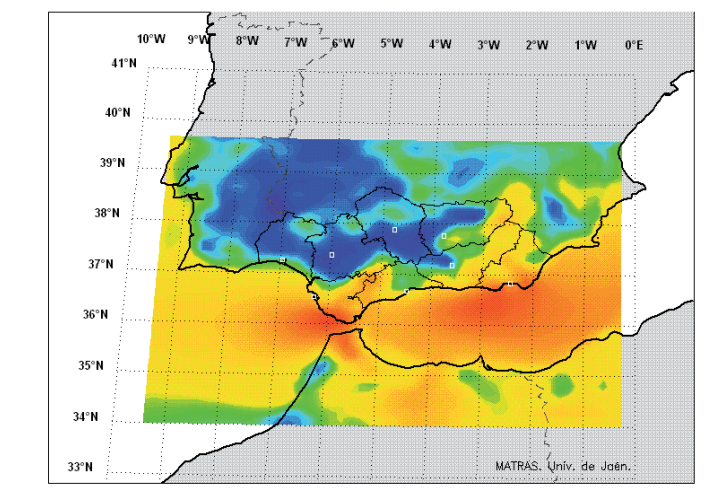


Abril - Mayo - Junio 2004, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

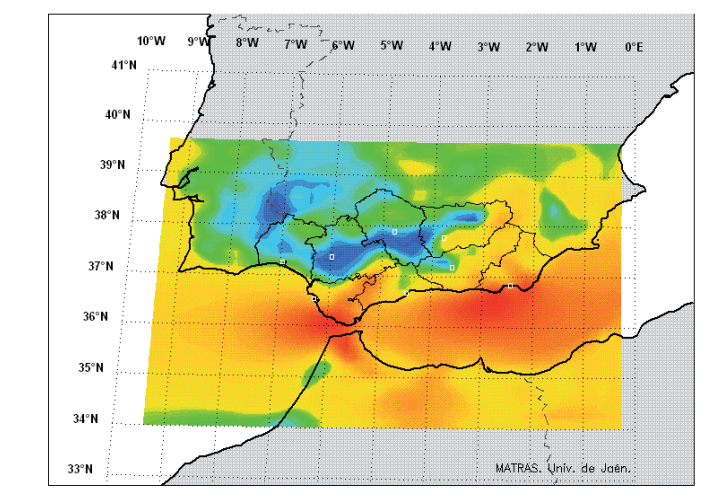
Potencia media por metro cuadrado



Abril - Mayo - Junio 2004, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Abril - Mayo - Junio 2004, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



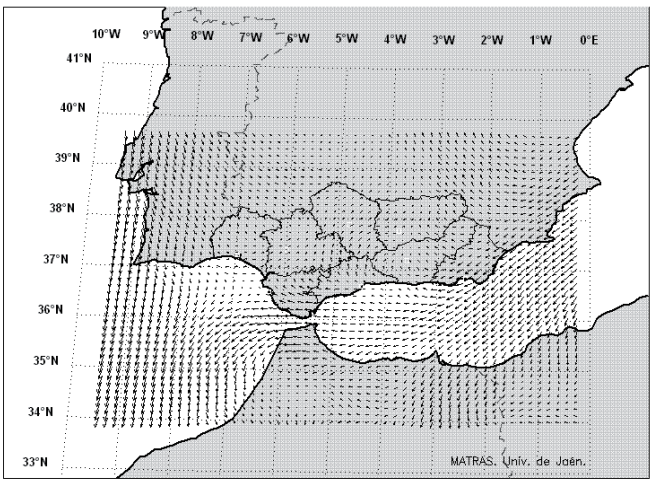
Abril - Mayo - Junio 2004, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

ESTACIONAL 2004
VERANO

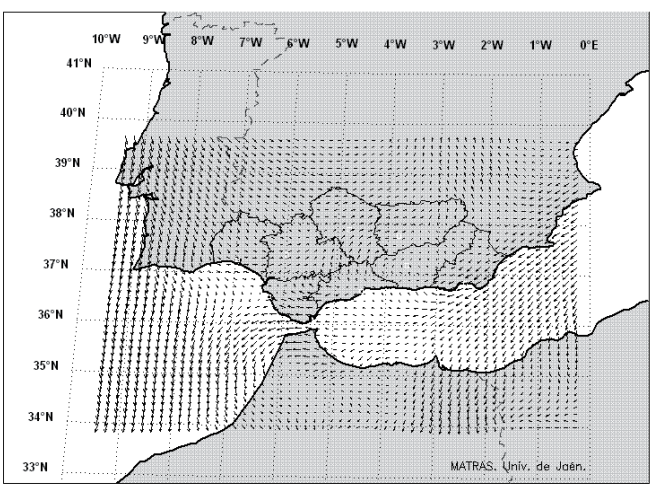
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

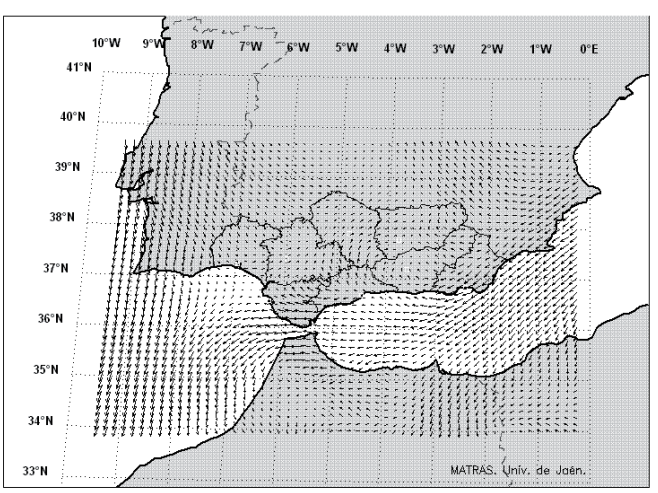
Gráfico Vectorial



Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 10 m. Vector velocidad del viento

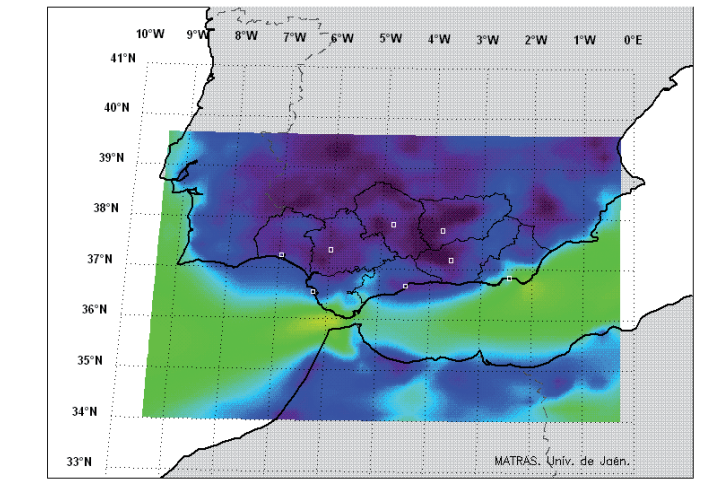


Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 40 m. Vector velocidad del viento

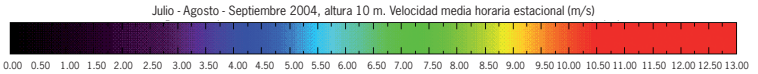


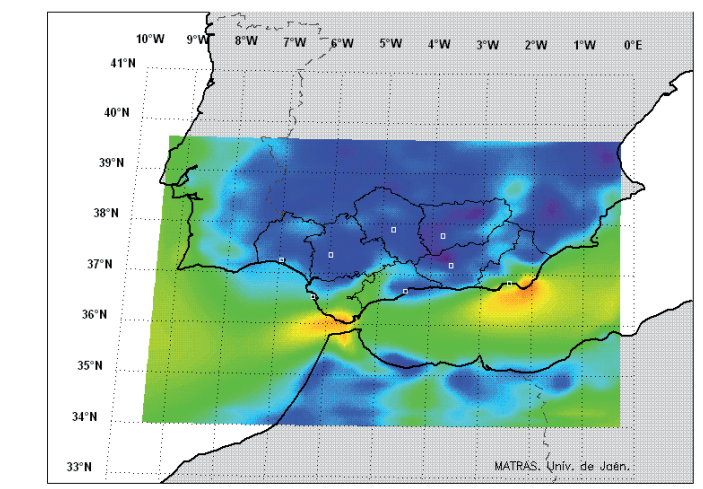
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 80 m. Vector velocidad del viento

Promedio de velocidad

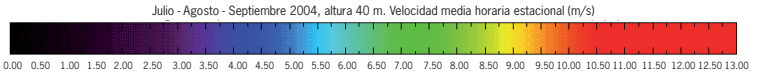


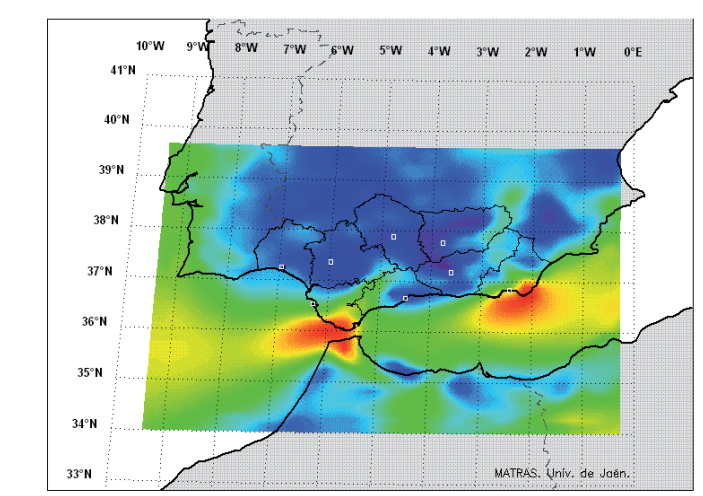
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)



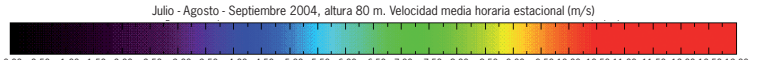


Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

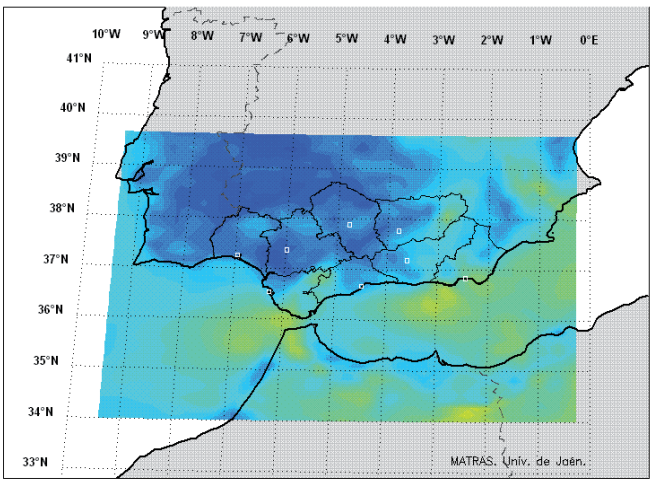




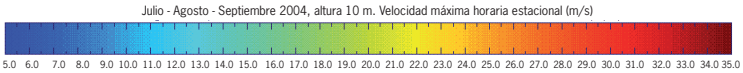
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

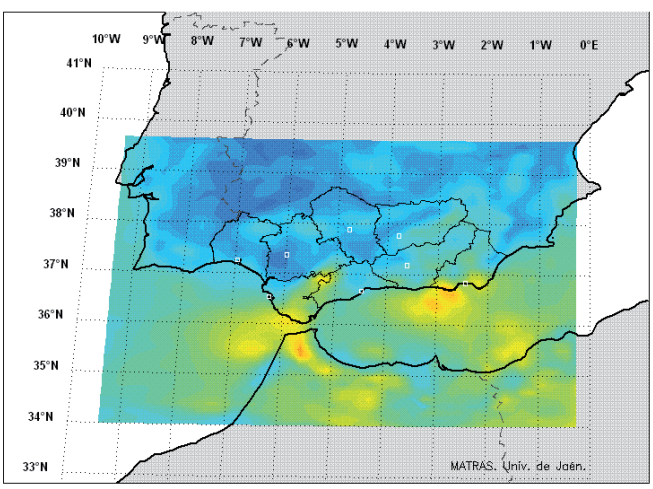


Velocidad máxima

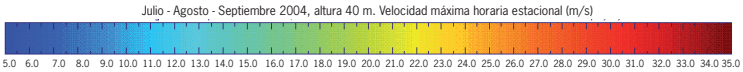


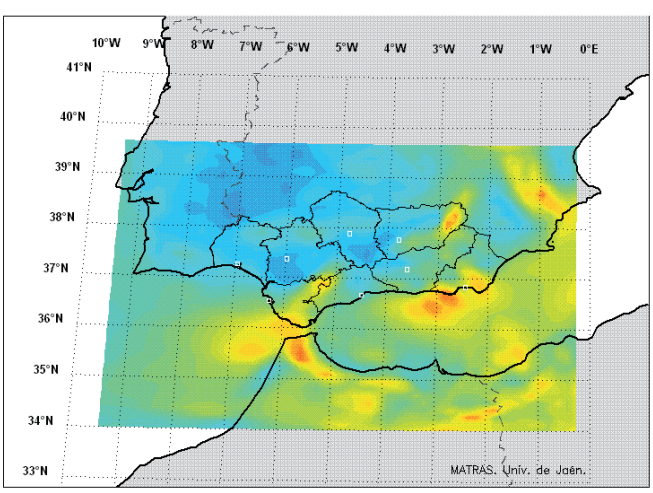
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



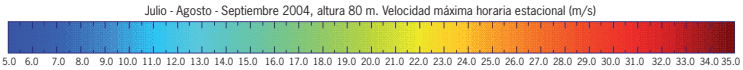


Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

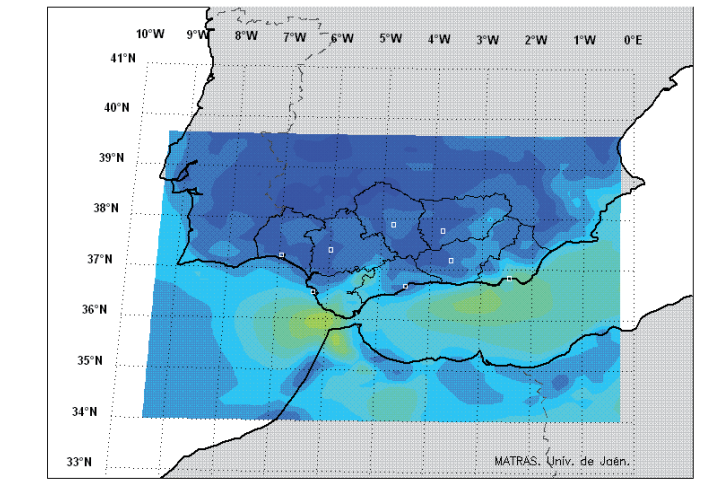




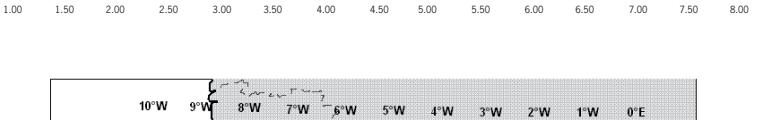
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

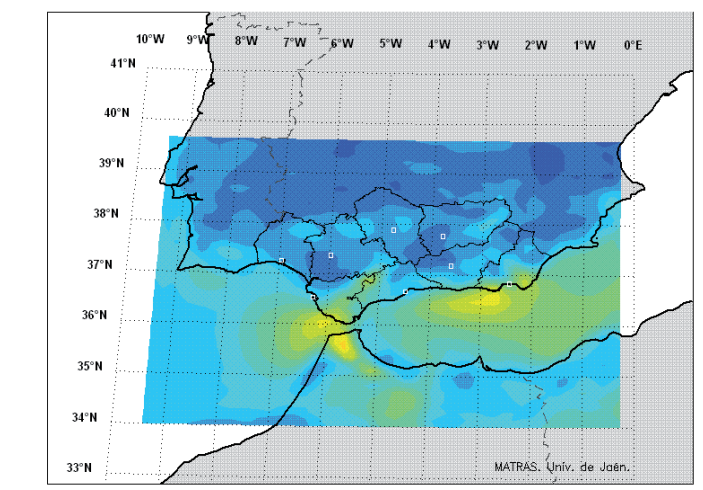


Desviación estándar de la velocidad

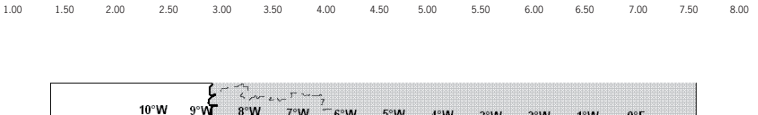


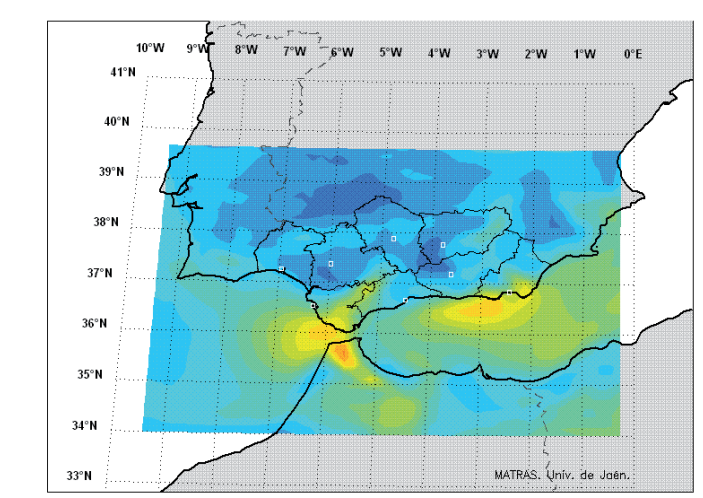
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)



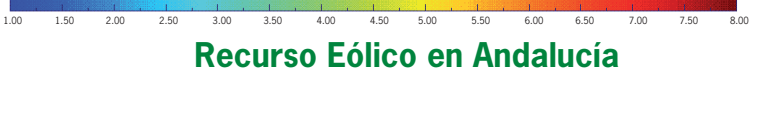


Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

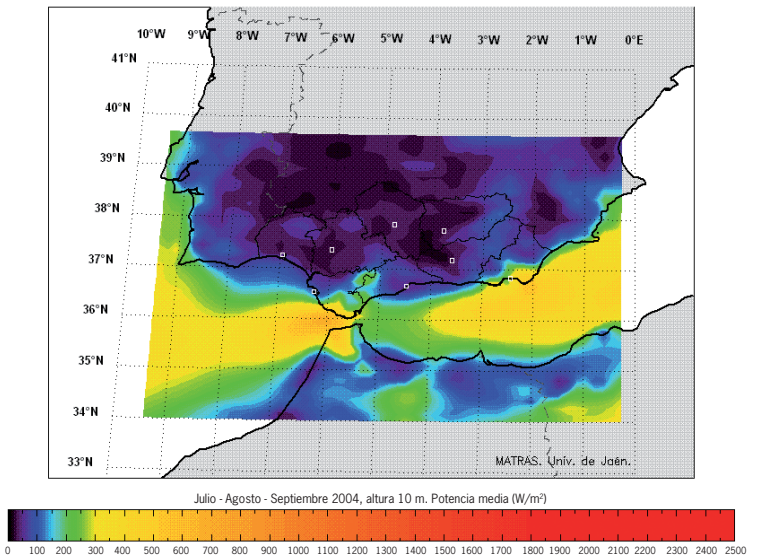


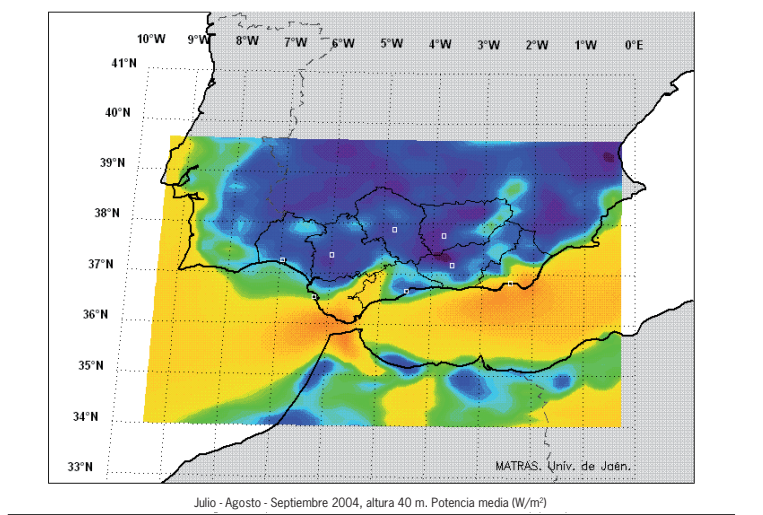


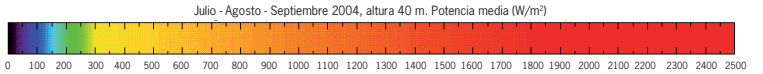
Julio - Agosto - Septiembre 2004, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

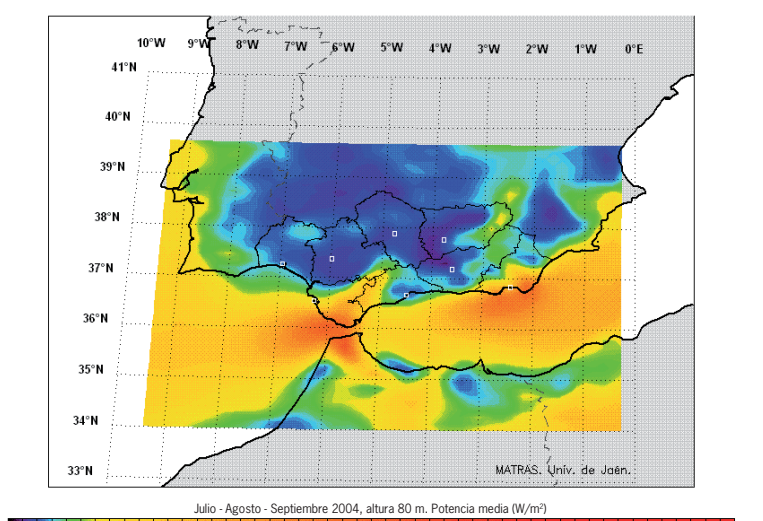


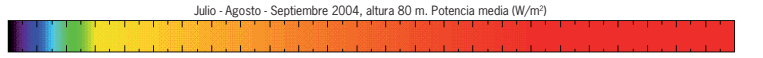
Potencia media por metro cuadrado









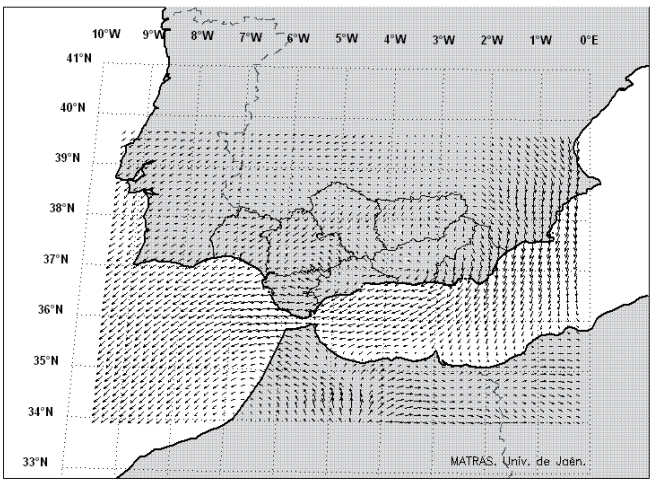


ESTACIONAL 2004
OTOÑO

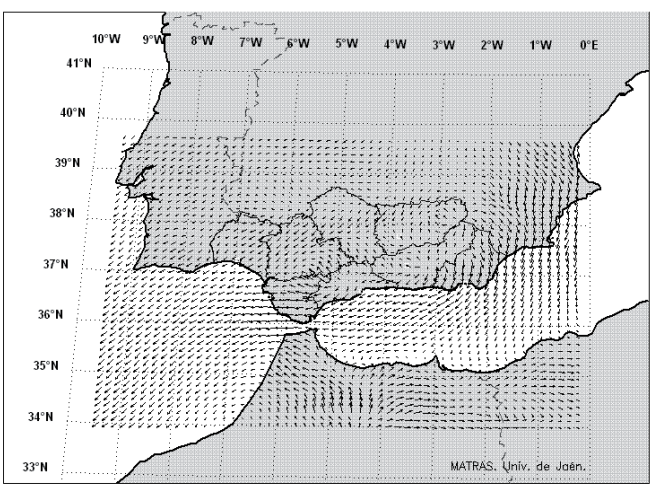
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

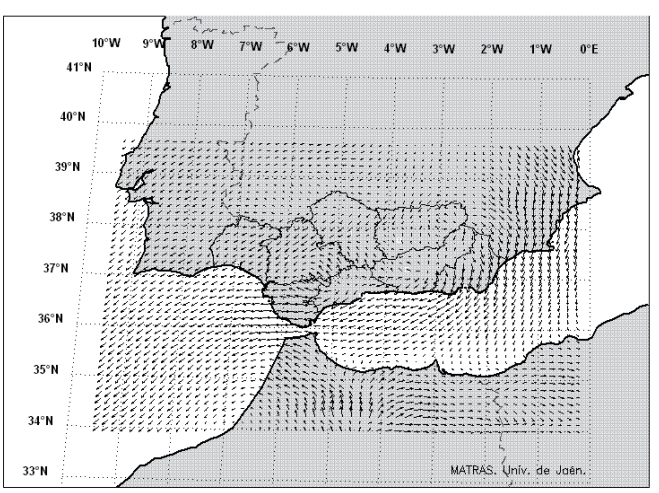
Gráfico Vectorial



Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, 10 m. Vector velocidad del viento

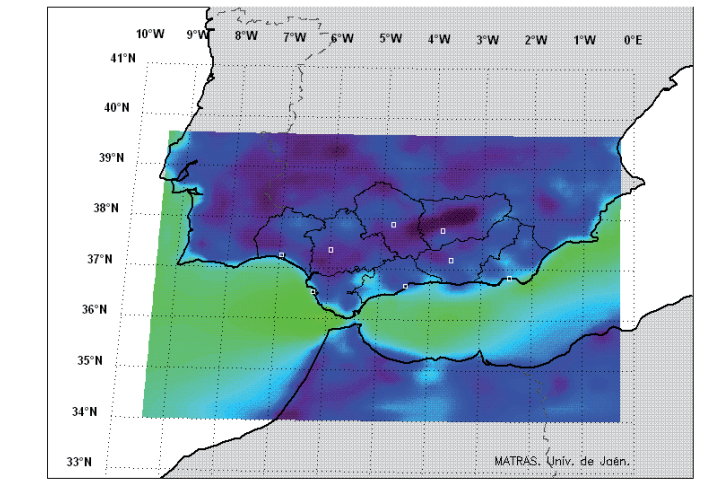


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, 40 m. Vector velocidad del viento

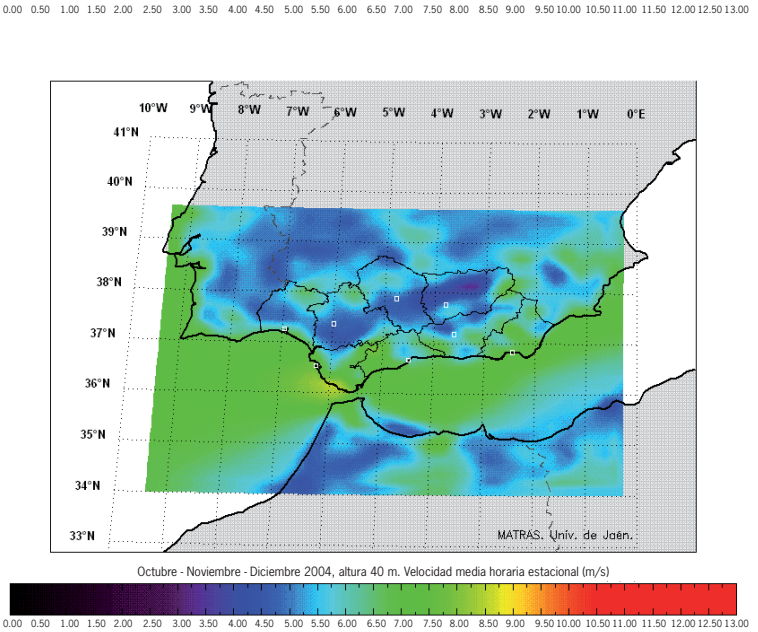


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, 80 m. Vector velocidad del viento

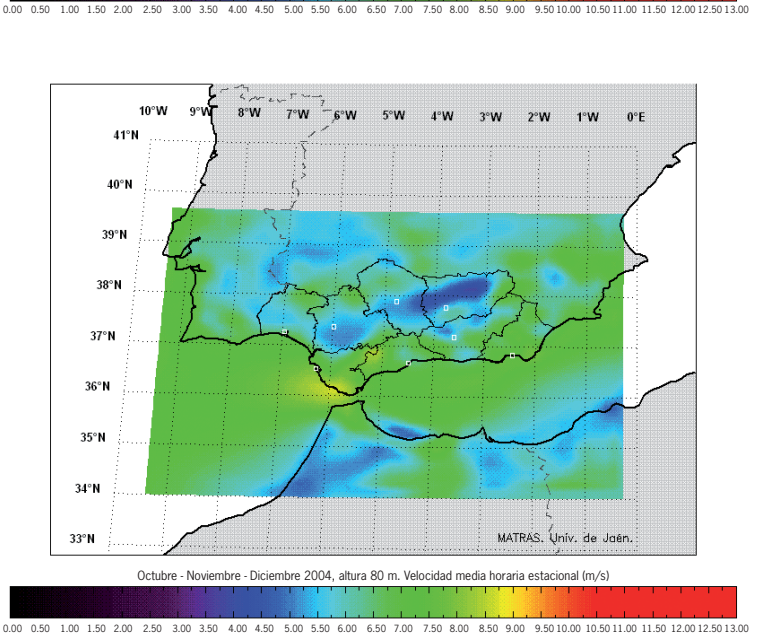
Promedio de velocidad



Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

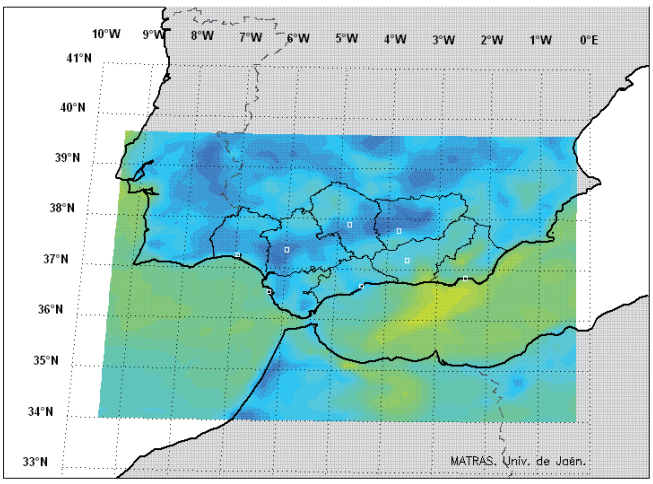


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

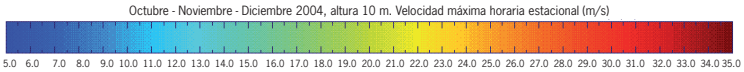


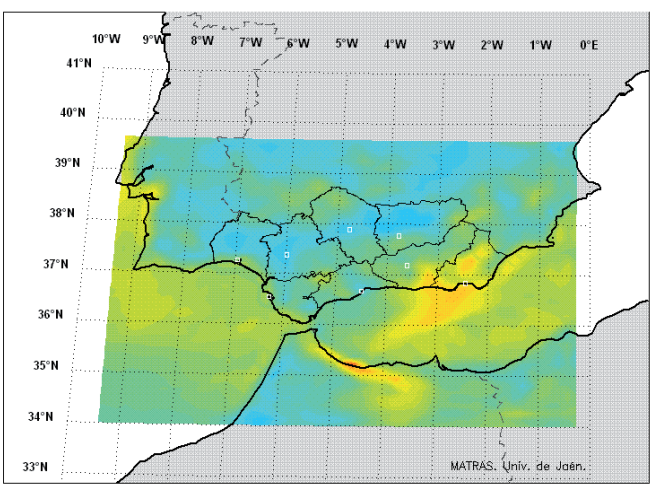
Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

Velocidad máxima

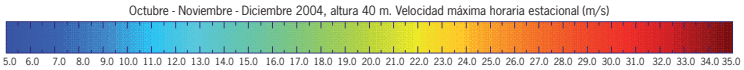


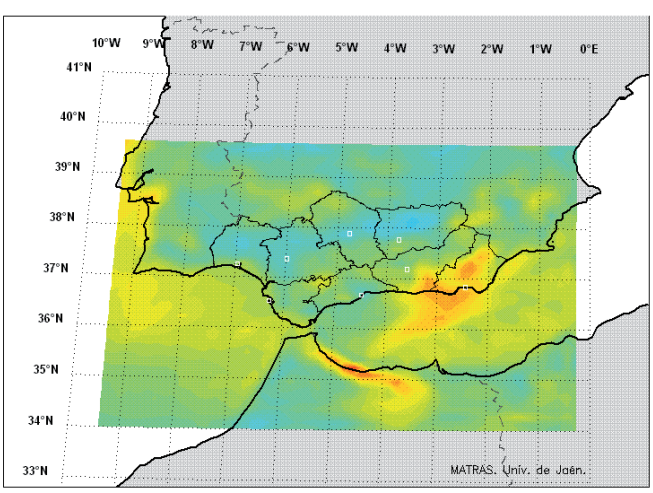
Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



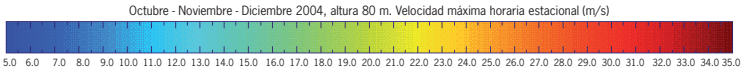


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

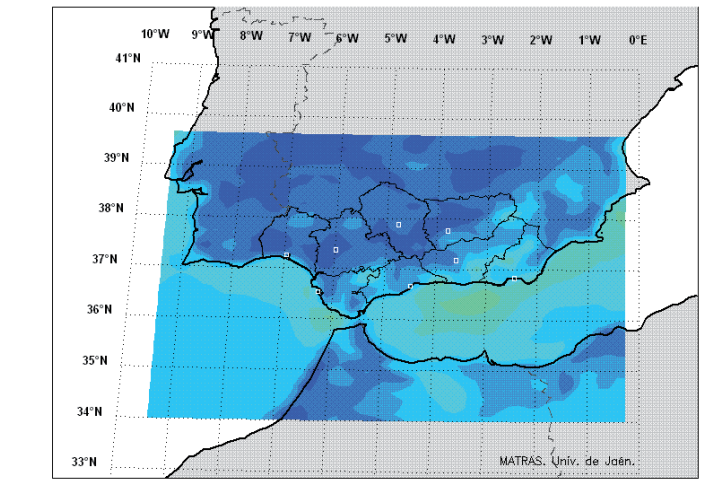




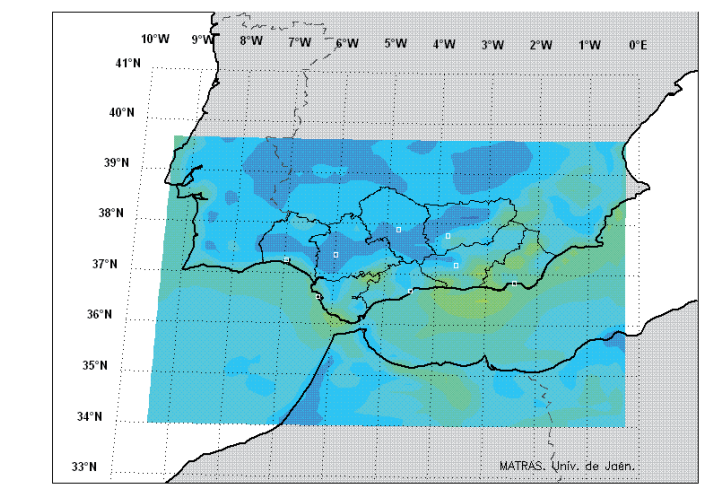
Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



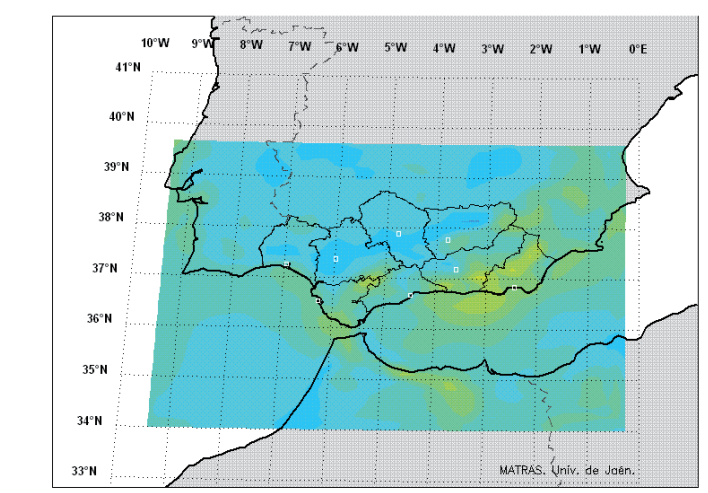
Desviación estándar de la velocidad



Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

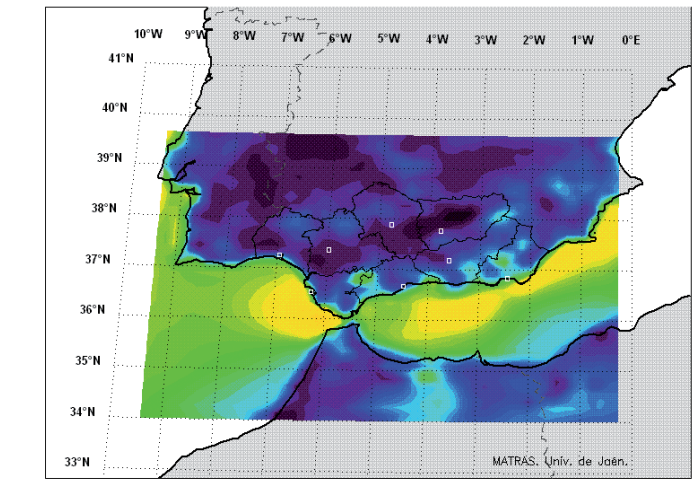


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

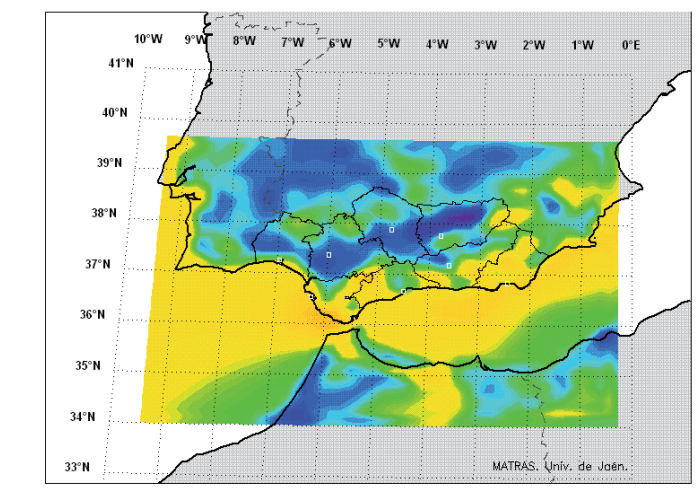


Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

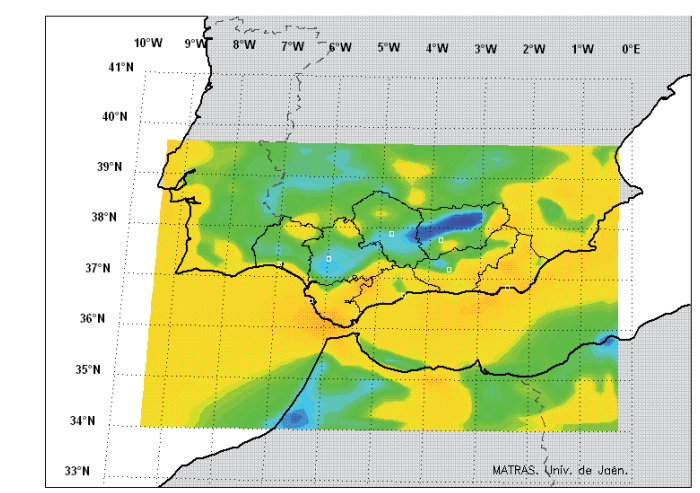
Potencia media por metro cuadrado



Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



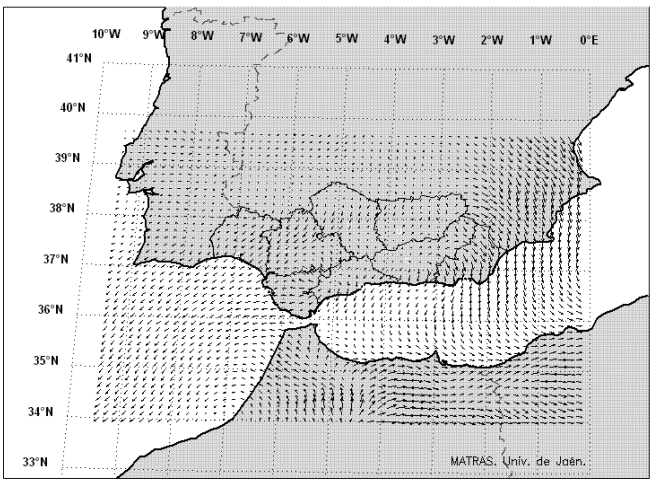
Octubre - Noviembre - Diciembre 2004, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

INVIERNO 2004

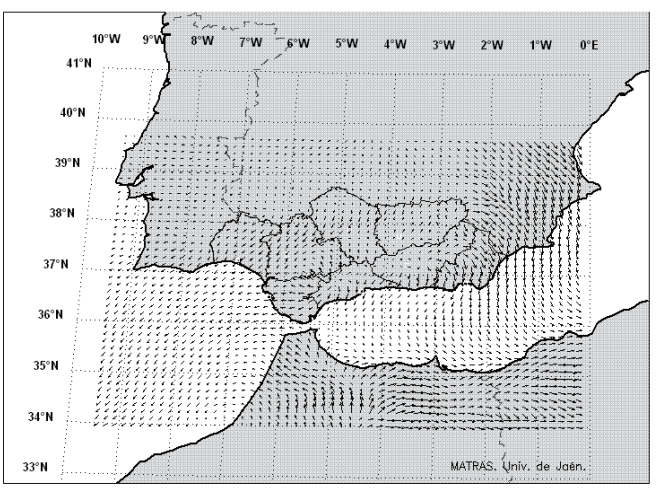
10, 40 y 80 metros de altura

- Gráfico vectorial
- Promedio de la velocidad
- Velocidad máxima
- Desviación estándar de la velocidad
- Potencia media por metro cuadrado

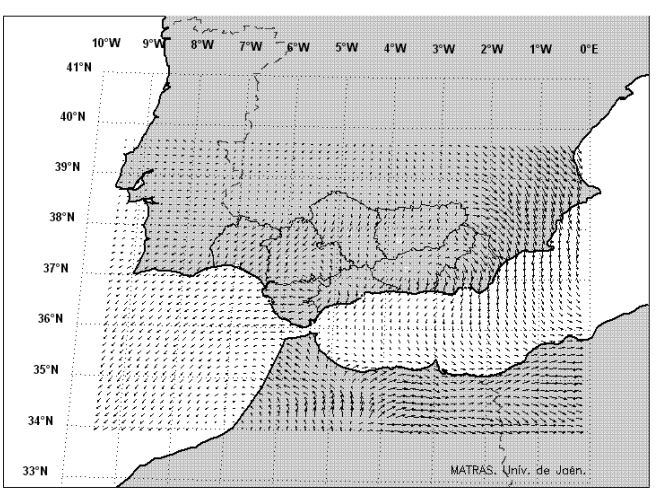
Gráfico Vectorial



Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 10 m. Vector velocidad del viento

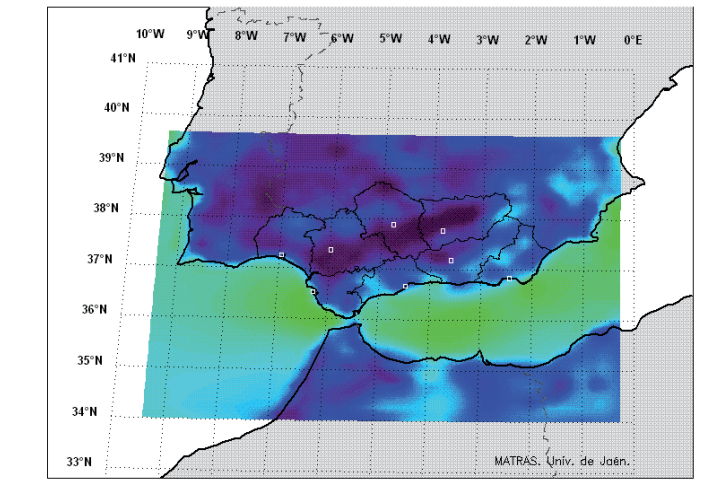


Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 40 m. Vector velocidad del viento

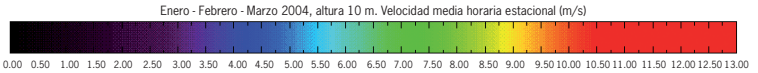


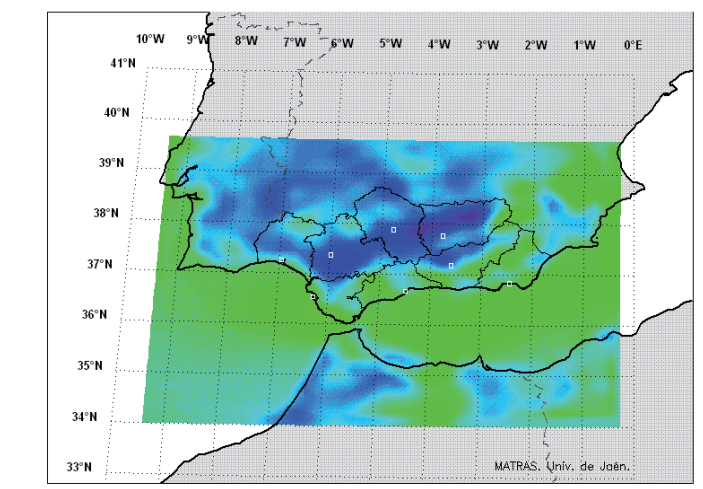
Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 80 m. Vector velocidad del viento

Promedio de velocidad

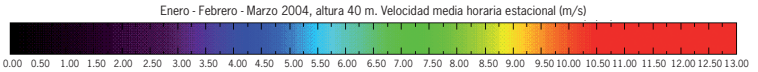


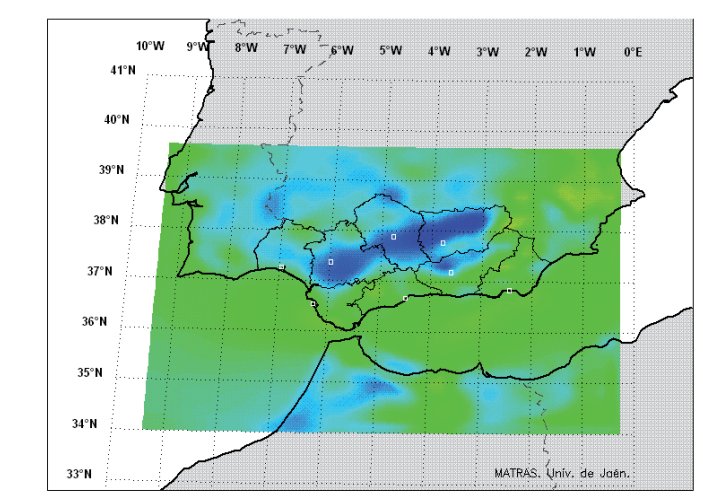
Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 10 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)



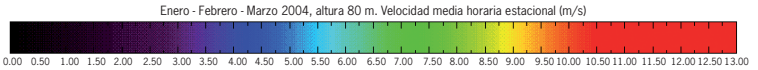


Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 40 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

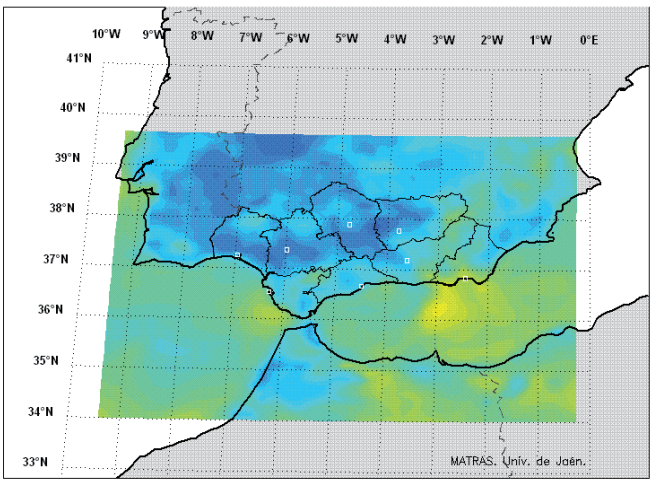




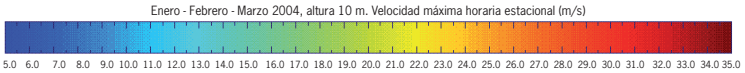
Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 80 m. Velocidad media horaria estacional (m/s)

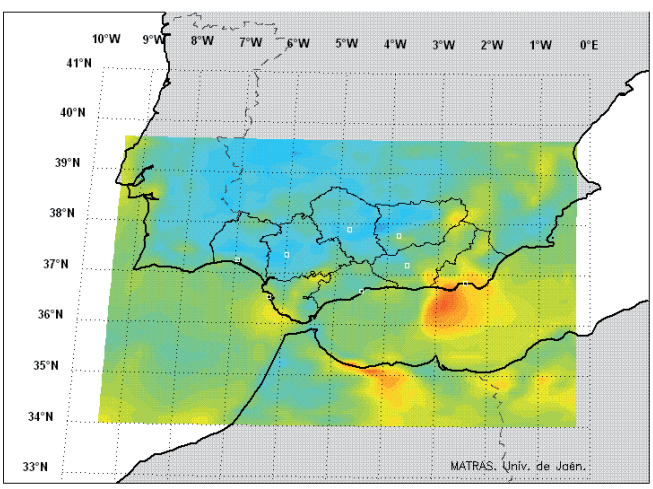


Velocidad máxima

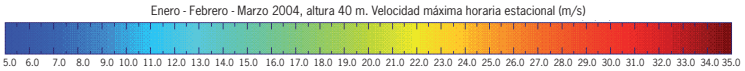


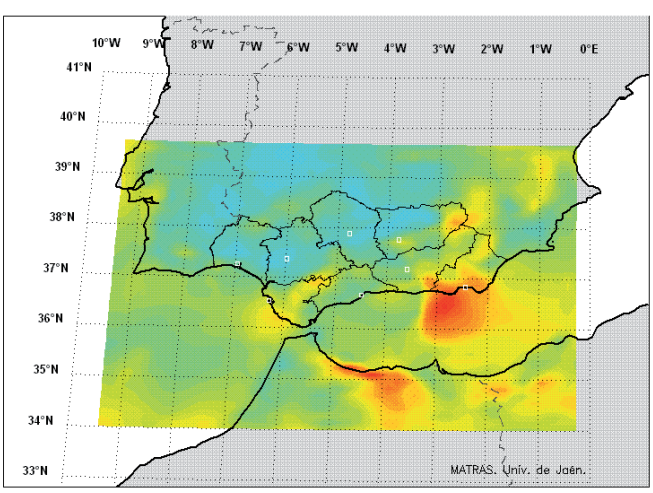
Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 10 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



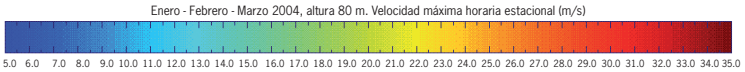


Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 40 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)

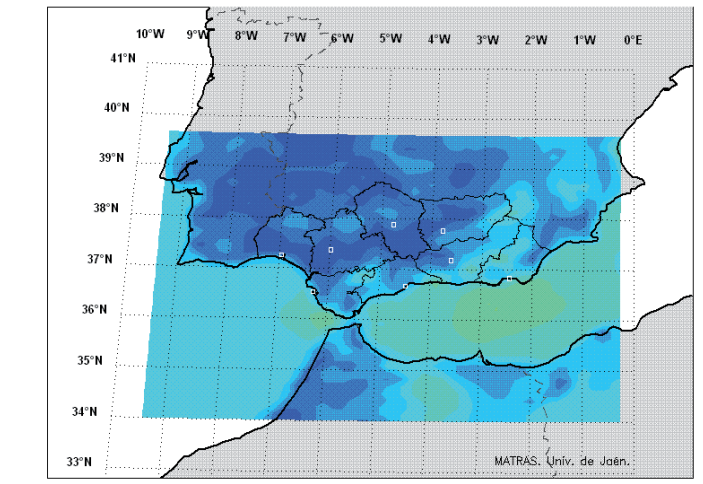




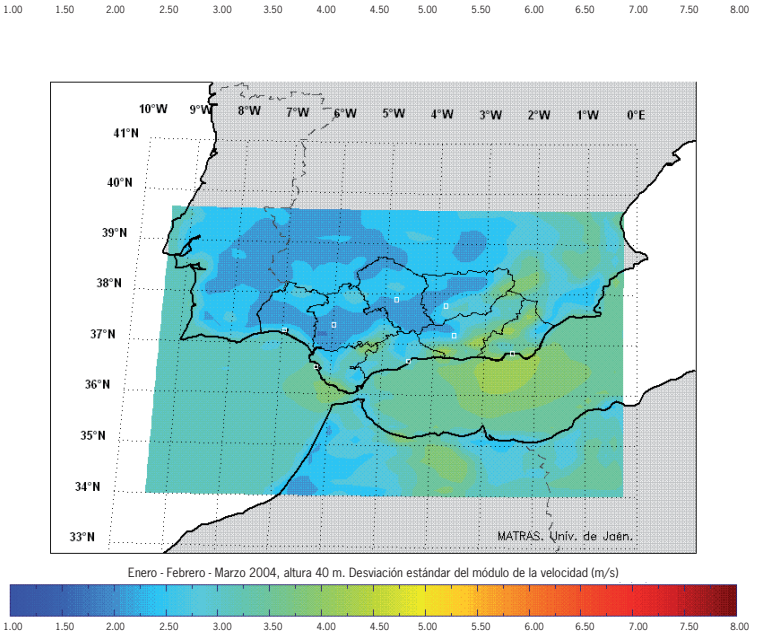
Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 80 m. Velocidad máxima horaria estacional (m/s)



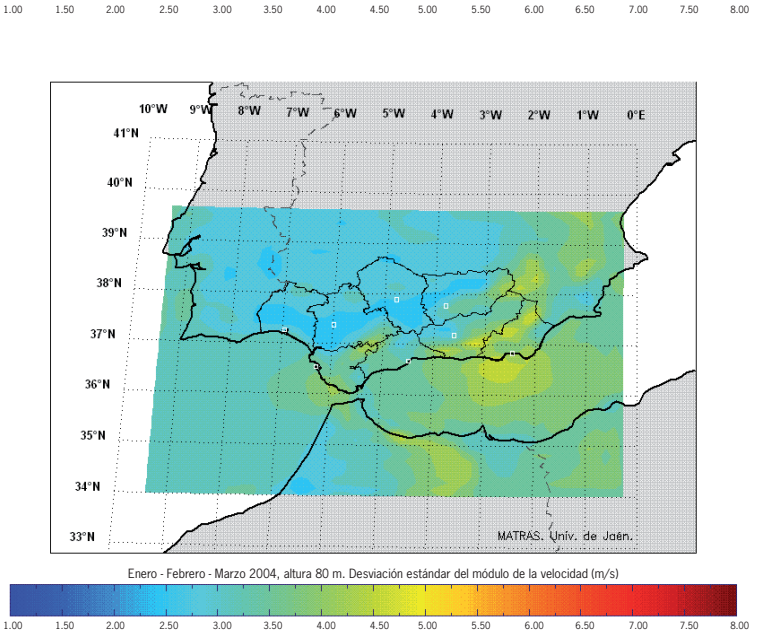
Desviación estándar de la velocidad



Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 10 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

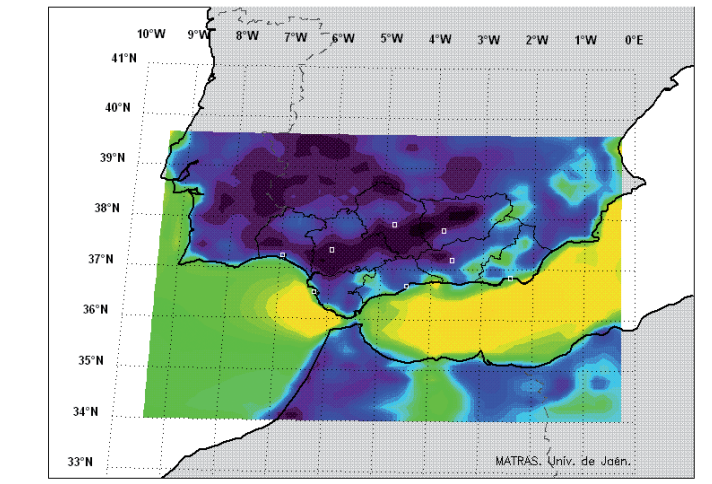


Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 40 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

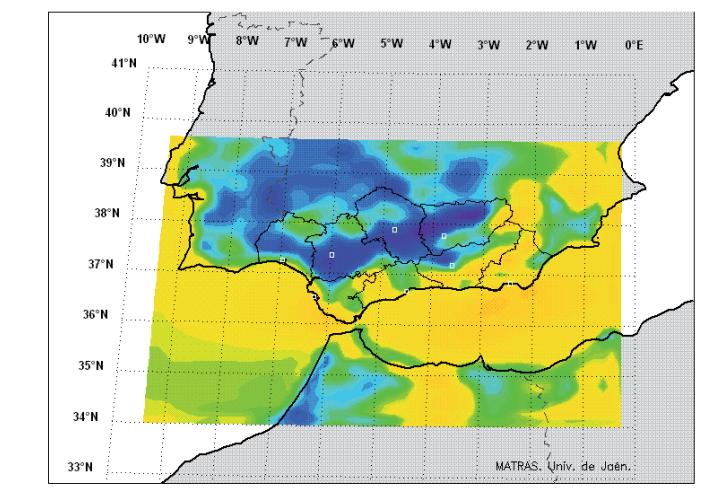


Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 80 m. Desviación estándar del módulo de la velocidad (m/s)

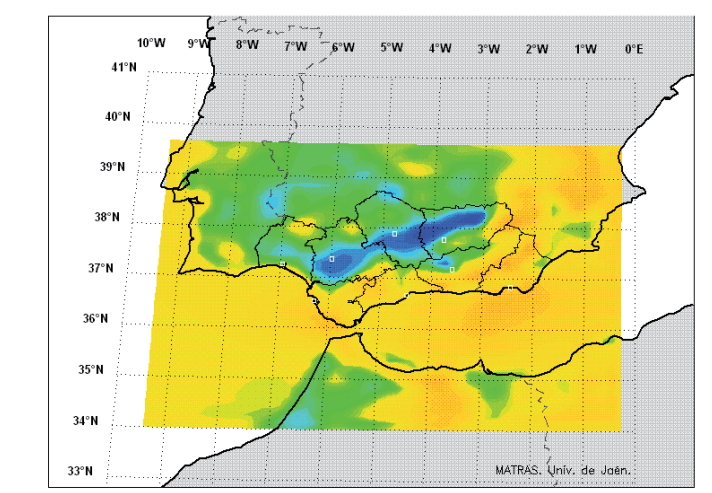
Potencia media por metro cuadrado



Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 10 m. Potencia media (W/m²)



Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 40 m. Potencia media (W/m²)



Enero - Febrero - Marzo 2004, altura 80 m. Potencia media (W/m²)

Glosario

Asociaciones relacionadas con la eólica

INTERNACIONAL

WWEA (World Wind Energy Association)
http://www.wwindea.org/home/index.php

EUROPA

Danish Wind Industry Association (Asociación Danesa de la Industria Eólica)
http://www.windpower.org/composite-188.htm
(página web disponible en Castellano)

EWEA (European Wind Energy Association/ Asociación Europea de Energía Eólica)
http://www.ewea.org/

ESPAÑA

AEE (Asociación Empresarial Eólica)
http://www.aeeolica.es/

APPA (Asociación de Productores de Energías Renovables)
http://www.appa.es

APREAN (Asociación de Promotores y Productores de Energía Eólica en Andalucía)
http://www.aprean.com/

Instituciones, Universidades

EUROPA

IEA (International Energy Agency, Agencia Internacional de la Energía)
http://www.iea.org/

Universität Kassel – Alemania (Universidad de Kassel)
http://reisi.iset.uni-kassel.de/wind/reisi_dw.html
(Inglés y alemán)

Universität Stuttgart (Universidad de Stuttgart) Instituto de Aeronáutica (IFB)
http://www.ifb.uni-stuttgart.de
(Inglés y alemán)

ESPAÑA

IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía)
http://www.idae.es/

CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicos)
http://www.ciemat.es/

Universidad de Madrid – Instituto de Microgravedad
http://www.idr.upm.es/

Universidad de Jaén

http://www.ujaen.es/investiga/tep220

Bibliografía

Estudio del ciemat
"Aerogeneradores de pequeña potencia (<50kW), situación actual de la tecnología"
2002

J.L. Rodríguez, J.C. Burgos, S. Amalte
"Sistemas Eólicos – De Producción de Energía Eléctrica"
Editorial Rueda, S.L. - ISBN: 84-7207-139-1

Albert Betz
"Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen"
Ökobuch, Staufen, unveränderter Nachdruck aus dem Jahre 1926
ISBN 3-922964-11-7