

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería Aeroespacial

Estudio de validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar

Autor: Rocío Asunción Montes Gil

Tutor: Manuel Toscano Jiménez

Tutor: Francisco José Pérez Simón

Dep. Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Estudio de validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar

Autor:

Rocío Asunción Montes Gil

Tutor:

Manuel Toscano Jiménez

Profesor titular

Tutor:

Francisco José Pérez Simón

Analista Predictor del GPVS en AEMET

Dep. Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Grado: Estudio de validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar

Autor: Rocío Asunción Montes Gil

Tutor: Manuel Toscano Jiménez

Tutor: Francisco José Pérez Simón

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

Durante la ejecución de este proyecto han surgido muchas dudas, muchas preguntas y muchos problemas que de no haber sido por la ayuda y el apoyo incondicional de mi magnífico tutor don Manuel Toscano me habrían sido imposibles de solventar. Es por ello por lo que me veo obligada moralmente a nombrarle el primero en este apartado y darle las gracias una vez más por haberme transmitido su pasión por la meteorología.

No puedo tener más que palabras de agradecimiento hacia este hombre, que más que mi tutor ha sido mi compañero y mi guía a lo largo de este trabajo. Como ya he comentado alguna vez, si hay algo que me ha gustado más que el tema del proyecto, es el hecho de haber tenido el privilegio de trabajar mano a mano con quien es, a mi parecer, uno de los científicos técnicos más grandes que tiene este país.

Tampoco puedo dejar de agradecer la ayuda de mi cotutor don Francisco José Pérez Simón. Su colaboración y su experiencia como predictor de AEMET han sido indispensables para el desarrollo de este proyecto.

También tengo mucho que agradecer a mi familia, especialmente a mi hermano Fernando. Porque todo lo bueno que hay en mí, es obra suya.

A mis compañeros de clase, que han soportando a mi lado día tras día esta carrera de fondo que ya está a punto de acabar para la mayoría de nosotros. Y que han hecho más amenas las duras épocas de exámenes interminables y trabajos agotadores.

A Natalia, por echarle a este proyecto casi tantas horas como yo, siempre a mi lado en las tardes de biblioteca. Por calmarme y animarme cuando me agobiaba, y por conocerme mejor que nadie.

Y por último a Julio, porque por mucha distancia que nos separe y por muchos años que pasen; jamás podré imaginarme la vida sin mi mejor amigo.

Rocío Asunción Montes Gil

Sevilla, 2015

Resumen

Cuando pensamos en la zona del Estrecho de Gibraltar lo primero que se nos viene a la cabeza es la palabra “vientos”; y así es, este fenómeno meteorológico es el protagonista de este texto.

Son infinitas las aplicaciones que derivan del conocimiento del viento. Muy numerosos los trabajos que se han realizado sobre el estudio del mismo. Pero si por un momento nos paramos a pensar, ¿cuántos estudios hay sobre la validación de la predicción del viento en esta zona?

AEMET, la agencia estatal de meteorología en España es la encargada de facilitar la predicción meteorológica al ciudadano de a pie; además de ejercer como autoridad aeronáutica nacional. Tareas complejas y de gran importancia. Pero tal volumen de trabajo y la rapidez con la que se reclaman dichos resultados hace que la tarea de verificación y revisión pase a un segundo plano.

Es por ello y por la situación exclusiva del Estrecho de Gibraltar por lo que se ha decidido encauzar este proyecto con el objetivo de revisar el modelo numérico que usa nuestra agencia para predecir los vientos.

No se pretende otra cosa que realizar un humilde y somero análisis de verificación del modelo en esta zona, que *a priori* se conoce como zona de fluctuaciones y características peculiares inducidas por su orografía. Y que suelen ser origen de fallos en el modelo de predicción.

Intentando identificar patrones de comportamiento repetitivos para el modelo en 4 de las estaciones meteorológicas claves en el estrecho, como lo son Barbate, San Roque, Ceuta y Tarifa.

Abstract

When we think about the Strait of Gibraltar area, the first thing that comes up to our minds is the word ‘wind’ and, indeed, this meteorological phenomenon is the focus of this text.

The applications derived from the knowledge of the winds are countless and many works about it have been done previously. But if you stop to think for a second, how many studies have been made about the validation of wind predictability in this area?

AEMET, the national agency for meteorology in Spain, is the responsible for providing meteorological predictions to the public, as well as serving as the national aeronautical authority; both roles being complex and highly relevant. However, such a workload and how urgently those data are needed makes that the verification and revision tasks are left in second place.

Along with the unique situation of the Strait of Gibraltar, that is the reason why this project was undertaken with the goal to review the numerical model that our agency uses in order to predict the winds.

The goal of this study is to come up with a humble verification analysis of the numerical model in this area, which is known to be a fluctuation area with certain peculiarities due to its orography. These tend to be the source of the errors in the prediction model.

In order to do so, this study intends to identify behavioral patterns for this model in 4 of the key meteorological stations in the strait: Barbate, San Roque, Ceuta, and Tarifa.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xviii
Índice de Figuras	xx
1 Introducción	1
2 Estado De La Cuestión	5
3 Metodología	11
3.1 <i>Presentación de las estaciones meteorológicas</i>	17
3.2 <i>Hipótesis de partida</i>	18
3.3 <i>Programación en Matlab</i>	19
3.3.1 Aporte de datos	19
3.3.2 Ejecución y resultados	19
3.3.3 Informatización de las direcciones	19
4 Características Generales De Los Vientos En El Estrecho De Gibraltar	21
4.1 <i>Influencia de la orografía</i>	21
4.2 <i>Influencia de las brisas</i>	25
4.2.1 Brisa nocturna o de tierra	25
4.2.2 Brisa diurna o de mar	26
4.2.3 Efecto general en todas las estaciones	27
4.3 <i>Influencia de la confrontación Atlántico-Mediterráneo</i>	28
4.4 <i>Otras influencias</i>	28
5 Análisis De Resultados	30
5.1 <i>Barbate</i>	31
5.1.1 Dirección principal: Este	31
5.1.2 Dirección principal: Oeste	38
5.1.3 Dirección principal: Otros	41
5.2 <i>Ceuta</i>	44
5.2.1 Dirección principal: Este	44
5.2.2 Dirección principal: Oeste	48
5.2.3 Dirección principal: Otros	50
5.3 <i>San Roque</i>	54
5.3.1 Dirección principal: Este	54
5.3.2 Dirección principal: Oeste	59
5.3.3 Dirección principal: Otros	61
5.4 <i>Tarifa</i>	64

5.4.1	Dirección principal: Este	64
5.4.2	Dirección principal: Oeste	70
5.4.3	Dirección principal: Otros	73
6	Conclusiones	76
6.1	<i>Conclusiones generales</i>	76
6.2	<i>Barbate</i>	77
6.3	<i>Ceuta</i>	81
6.4	<i>San Roque</i>	83
6.5	<i>Tarifa</i>	86
6.6	<i>Resumen de las conclusiones</i>	89
7	Limitaciones Del Proyecto Y Trabajos Futuros	91
7.1	<i>Periodo de muestreo. Recogida de datos.</i>	91
7.2	<i>Zona de muestreo. Estaciones meteorologicas.</i>	92
7.3	<i>Informatizar direcciones</i>	92
7.4	<i>Caso particular de la estacion de Ceuta</i>	92
7.5	<i>Para el análisis de la dirección solo se han tenido en cuenta solo los datos de viento. Prestando mayor atención a las brisas y a la orografía.</i>	93
7.6	<i>Posible filtrado de las observaciones.</i>	93
7.7	<i>Analizar los datos de temperatura los días de brisas importantes.</i>	93
7.8	<i>Estudiar toda la costa mediterránea.</i>	93
8	Bibliografía	95
9	Anexos	98
9.1	<i>Anexo A. Tablas de control de calidad.</i>	98
9.2	<i>Anexo B. Tablas y gráficas elementales.</i>	102
9.3	<i>Anexo C. Tablas resumen.</i>	108
9.4	<i>Anexo D. Código de matlab.</i>	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Tabla ejemplo de todos los casos que pueden darse al comparar predicción y observación.	12
Tabla 3-2. Ejemplo de cálculo de la tasa de aciertos para las tres predicciones en una serie temporal dada.	13
Tabla 3-3. Ejemplos de situaciones que se pueden dar al caracterizar la admisibilidad del modelo en una serie temporal.	14
Tabla 3-4. Ejemplo de todos los patrones de comportamiento que pueden darse.	15
Tabla 3-5. Ejemplo de cálculo de índices de subpredicción y sobrepredicción.	16
Tabla 6-1. Conclusiones de Barbate para vientos de levante.	78
Tabla 6-2. Conclusiones en Barbate para vientos de poniente.	79
Tabla 6-3. Conclusiones en Barbate para vientos con otra dirección.	80
Tabla 6-4. Conclusiones en Ceuta para vientos de levante.	81
Tabla 6-5. Conclusiones en Ceuta para vientos de poniente.	81
Tabla 6-6. Conclusiones en Ceuta para vientos con otras direcciones.	82
Tabla 6-7. Conclusiones en San Roque para los vientos de levante.	83
Tabla 6-8. Conclusiones en San Roque para vientos de poniente.	84
Tabla 6-9. Conclusiones en San Roque para vientos con otras direcciones.	85
Tabla 6-10. Conclusiones en Tarifa para vientos de levante.	87
Tabla 6-11. Conclusiones en Tarifa para vientos de poniente.	88
Tabla 6-12. Conclusiones en Tarifa para vientos con otras direcciones.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Esquema de variación de la dirección del viento en los primeros 1.000 m de la atmósfera por la fuerza de rozamiento. Espiral de Ekman.	6
Figura 3-1. Situación geográfica de las estaciones meteorológicas.	17
Figura 4-1. Cordillera Penibética.	22
Figura 4-2. Cordillera Altas.	22
Figura 4-3. Tubo de Venturi.	23
Figura 4-4. Esquema de direcciones de viento para días con levante.	23
Figura 4-5. Esquema de direcciones de viento para días con poniente.	24
Figura 4-6. Brisa nocturna o de tierra.	26
Figura 4-7. Brisa de día o de mar.	27
Figura 4-8. Efecto de las brisas en todas las estaciones.	27
Figura 5-1. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 19 de junio.	32
Figura 5-2. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 25 de mayo.	32
Figura 5-3. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 20 de junio.	33
Figura 5-4. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 10 de mayo.	33
Figura 5-5. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 18 de junio.	34
Figura 5-6. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 12 de abril.	34
Figura 5-7. Ejemplo de patrón azul. Situación 1. Barbate, 23 de mayo.	35
Figura 5-8. Ejemplo de patrón azul. Situación 2. Barbate, 6 de abril.	35
Figura 5-9. Ejemplo de patrón azul. Barbate, 7 de abril.	36
Figura 5-10. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 14 de abril.	36
Figura 5-11. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 8 de abril.	37
Figura 5-12. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 17 de abril.	38
Figura 5-13. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 20 de mayo.	39
Figura 5-14. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 16 de abril.	39
Figura 5-15. Ejemplo patrón azul. Barbate, 8 de mayo.	40
Figura 5-16. Ejemplo patrón verde. Barbate, 6 de mayo.	40
Figura 5-17. Ejemplo de patrón morado. Barbate, 5 de mayo.	40
Figura 5-18. Ejemplo de patrón azul. Barbate, 1 de mayo.	41
Figura 5-19. Ejemplo de patrón morado. Barbate, 3 de mayo.	41
Figura 5-20. Ejemplo patrón rojo. Barbate, 7 de mayo.	42
Figura 5-21. Ejemplo patrón negro. Barbate, 26 de mayo.	42
Figura 5-22. Ejemplo patrón azul. Barbate, 4 de abril.	43
Figura 5-23. Ejemplo patrón morado. Barbate, 30 de abril.	43
Figura 5-24. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 5 de abril.	44

Figura 5-25. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 17 de junio.	45
Figura 5-26. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 25 de mayo.	45
Figura 5-27. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 17 de mayo.	46
Figura 5-28. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 4 de abril.	46
Figura 5-29. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 12 de abril.	47
Figura 5-30. Ejemplo patrón negro. Ceuta, 11 de abril.	47
Figura 5-31. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 13 de junio.	48
Figura 5-32. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 16 de abril.	48
Figura 5-33. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 18 de abril.	49
Figura 5-34. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 15 de mayo.	49
Figura 5-35. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 19 de mayo.	50
Figura 5-36. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 16 de junio.	51
Figura 5-37. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 17 de abril.	51
Figura 5-38. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 4 de mayo.	52
Figura 5-39. Ejemplo patrón negro. Ceuta, 3 de mayo.	52
Figura 5-40. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 20 de mayo.	53
Figura 5-41. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 19 de junio.	54
Figura 5-42. Ejemplo patrón verde. San Roque, 21 de mayo.	55
Figura 5-43. Ejemplo patrón azul. San Roque, 16 de mayo.	55
Figura 5-44. Ejemplo patrón negro. San Roque, 17 de junio.	56
Figura 5-45. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 17 de mayo.	56
Figura 5-46. Ejemplo patrón azul. San Roque, 10 de abril.	57
Figura 5-47. Ejemplo patrón negro. San Roque, 5 de abril.	57
Figura 5-48. Ejemplo patrón verde. San Roque, 12 de abril.	58
Figura 5-49. Ejemplo patrón azul. San Roque, 8 de abril.	58
Figura 5-50. Ejemplo patrón negro. San Roque, 19 de mayo.	59
Figura 5-51. Ejemplo patrón azul. San Roque, 6 de mayo.	59
Figura 5-52. Ejemplo patrón verde. San Roque, 16 de abril.	60
Figura 5-53. Ejemplo patrón azul. San Roque, 23 de junio.	60
Figura 5-54. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 21 de junio.	61
Figura 5-55. Ejemplo patrón verde. San Roque, 17 de abril.	61
Figura 5-56. Ejemplo patrón azul. San Roque, 4 de abril.	62
Figura 5-57. Ejemplo patrón morado. San Roque, 15 de abril.	62
Figura 5-58. Ejemplo patrón negro. San Roque, 1 de mayo.	63
Figura 5-59. Ejemplo patrón negro. San Roque, 16 de junio.	63
Figura 5-60. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 25 de mayo.	64
Figura 5-61. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 2 de mayo.	65
Figura 5-62. Ejemplo patrón rojo. Tarifa, 26 de mayo.	65
Figura 5-63. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 19 de junio.	66
Figura 5-64. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 27 de mayo.	66

Figura 5-65. Ejemplo patrón rojo. Tarifa, 22 de mayo.	67
Figura 5-66. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 12 de abril.	67
Figura 5-67. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 3 de abril.	68
Figura 5-68. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 8 de abril.	68
Figura 5-69. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 28 de mayo.	69
Figura 5-70. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 7 de abril.	69
Figura 5-71. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 3 de abril.	70
Figura 5-72. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 29 de abril.	71
Figura 5-73. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 4 de mayo.	71
Figura 5-74. Ejemplo patrón verde. Tarifa, 18 de abril.	72
Figura 5-75. Ejemplo patrón morado. Tarifa,	72
Figura 5-76. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 15 de abril.	73
Figura 5-77. Ejemplo patrón morado. Tarifa, 17 de abril.	73
Figura 5-78. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 14 de junio.	74
Figura 6-1. Ejemplo cualitativo de la aproximación de la predicción a la observación en función de la distancia al punto donde se genera el máximo para el que está programado el modelo.	77

1 INTRODUCCIÓN

Desde 390 a.C. cuando Aristóteles escribió el “*Meteorologica*”, la primera publicación conocida sobre fenómenos meteorológicos, hasta nuestros días esta rama de la física no ha hecho más que avanzar.[1]

La gran repercusión que tiene la meteorología en nuestra vida diaria ha hecho que muchos de los científicos más brillantes de la historia se hayan dedicado al estudio de la misma.

Los primeros inventos relevantes para el uso y conocimiento de la meteorología no aparecen hasta el siglo XVII. Cuando Galileo crea el primer termómetro y Torricelli el barómetro; dando la posibilidad de medir por primera vez en la historia, temperatura y presión e iniciando el camino hacia el estudio profundo de algunos parámetros meteorológicos. Ayudados también por otros muchos entre los que destacan Robert Hooke, padre del anemómetro, y Horacio de Saussure que posibilitó realizar medidas de humedad gracias a la invención del higrómetro.

A estos grandes científicos les sucedieron George Hadley y William Ferrel, cuyos trabajos, aunque con un siglo de diferencia definieron realmente la circulación atmosférica general. La cual explica el movimiento del aire a gran escala, que se divide en células de convección que llevan el nombre de sus dos descubridores.

Teoría que queda incompleta sin incluir el efecto de la fuerza de Coriolis, la culpable de que las grandes masas de viento en situaciones de anticiclón o borrasca giren de forma opuesta en los dos hemisferios, debido a su dependencia con la velocidad de rotación terrestre. Por este mismo motivo, esta fuerza sería nula cerca del Ecuador y la dirección del viento vendría condicionada principalmente por el gradiente de presiones.

A pesar de estas primeras teorías y debido a la complejidad y al gran número de variables de las cuales depende el control de los fenómenos meteorológicos, no ha sido hasta el siglo XX cuando han empezado a aparecer estudios más profundos sobre ellos.

El nacimiento de la escuela escandinava, con V. Bjerkness como fundador y la ayuda de los grandes descubridores de la época, impulsó la creación de teorías que hoy resultan indispensables para entender estos fenómenos como lo hacemos ahora. Teorías como la del frente polar de Bjerkness, el efecto de la fuerza de Coriolis sobre las grandes masas fluidas estudiadas posteriormente por Ekman, los avances en cinemática de fluidos a gran escala realizados por Rossby o la primera teoría sobre el origen de la lluvia de Bergeron.

Acompañados por sus compañeros de la universidad de Cambridge. Empezando por Stokes, conocido por continuar los estudios de Newton en mecánica de fluidos, sus observaciones sobre la viscosidad y su repercusión en las ecuaciones de la dinámica de fluidos. Secundado por Osborne Reynolds y la definición del número adimensional que lleva su nombre, empleado para definir el régimen de movimiento del fluido en función de la viscosidad y la velocidad.

Innumerables trabajos que han servido como base y sustento indispensable para los posteriores análisis que se han realizado sobre la meteorología. Aportaciones tan importantes como el conocimiento del acoplamiento entre el océano y la atmósfera y la extrapolación de los modelos oceánicos nos han permitido seguir conociendo la meteorología. Y fundamentando los modelos numéricos de predicción que actualmente utilizamos.

Es en 1.922 cuando Richardson publica su obra “*Predicción del tiempo por procesos numéricos*” explicando como eliminar las variables menos importantes de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento de los fluidos. Aunque no es hasta los años 40 cuando se empieza a ejecutar modelos numéricos de predicción, junto con la aparición de las primeras computadoras.

El aumento de la tecnología y las incorporaciones de grandes estudios, como los de la teoría del caos de Lorentz o el trabajo de Makoto Fujita sobre los huracanes y las tormentas severas, que se han realizado a los primeros modelos numéricos han dado lugar a modelos cada vez más precisos y completos.

Sobra decir la gran importancia que esto supone en nuestro día a día. El conocer la meteorología a la que nos vemos sometidos, nos permite sacar provecho en multitud de aplicaciones. Desde predicciones sobre el tiempo hasta aplicaciones aeronáuticas, podemos encontrarnos con infinitas ventajas con las cuales nuestros antepasados no podrían ni imaginar.

Es por ello por lo cual se continúa en la actualidad con el estudio y desarrollo de estas aplicaciones.

Más apremiantes han sido los avances en esta materia durante la llamada “crisis del petróleo”. El consumo incontrolado de combustibles fósiles y el aumento de la concienciación de la lucha contra la contaminación atmosférica han sido el impulso que le faltaba a este planeta para ser realmente conscientes de la importancia que tiene la madre naturaleza en nuestras vidas.

A pesar de la firma de tratados como el “Protocolo de Kyoto”, sabemos que a día de hoy todo este esfuerzo sigue siendo insuficiente. Y que debemos seguir investigando y mejorando nuestras instalaciones de energías renovables de tal forma que no tengan solo una utilidad de apoyo, sino que algún día sobrepasen en importancia a los combustibles fósiles.

Organizaciones tanto nacionales como internacionales se encargan diariamente de ello, además de otras múltiples tareas relacionadas con la meteorología. Quizá la más destacable entre todas ellas es la Organización Mundial Meteorológica (WMO) [2], la cual ha asentado las bases de la investigación de la rama eólica a nivel mundial. Tampoco podemos dejar atrás el papel de la Agencia Internacional de la Energía [3], la cual se creó a partir de la ya mencionada “crisis del petróleo” en 1.973 y que ha día de hoy continua vigente con 28 países miembros, entre los que también se encuentra el nuestro. Y aunque internacionalmente sea la menos importante no podemos pasar sin mencionar a la Agencia Estatal de Meteorología de España, también conocida por el acrónimo AEMET. Institución pública que se encarga de proporcionar los datos de meteorológicos a la población española ostentado también la condición de autoridad meteorológica aeronáutica. Y la cual va a ser protagonista y respaldo de este proyecto.

Por todo lo que hemos comentado anteriormente es por lo que debemos centrar la atención en el avance de las energías renovables y en los estudios asociados que faciliten estas tareas.

Una de las armas más significativas que tenemos para el estudio del viento son los modelos numéricos de predicción. Bien es sabido, que existen comisiones de científicos que trabajan en la elaboración de estos modelos. Pero tan apremiante es la elaboración de la propia predicción, que la tarea de revisión y verificación del modelo numérico pasa a posicionarse en un segundo plano.

Es por ello por lo que se ha fijado como objetivo de este proyecto la verificación y el estudio de los comportamientos de los modelos numéricos que utiliza AEMET en la zona del Estrecho de Gibraltar.

Dicho estudio consistirá en una comparación entre los datos recogidos por algunas de las estaciones propiedades de AEMET y las predicciones que la misma agencia proporciona como datos públicos.

Realizándose verdaderamente un análisis sobre la respuesta final del modelo numérico pero sin entrar en detalles de programación sobre el modelo en sí.

Comentado esto, es necesario remarcar que el modelo numérico utilizado por AEMET y el cual vamos a estudiar es el modelo HIRLAM. Fruto de una colaboración científica de las agencias nacionales de múltiples países europeos, la cual comparte nombre con el modelo. Cuyo objetivo se trataba de suministrar a los estados miembros de un sistema de análisis y predicción meteorológica a corto plazo. [4]

A día de hoy se ha convertido en una de las mejores herramientas para suministrar datos de predicción y el más utilizado por los países de la Unión Europea junto con el modelo HARMONIE, que aún se encuentra en fase experimental. Este último es ejecutado en el Centro Europeo de Predicciones a Medio Plazo (CEPMP) [5], diferenciándose con el anterior en que la resolución de la convección la realiza de forma implícita. En otras palabras, el modelo HARMONIE modifica los parámetros asociados a los fenómenos de convección; mientras que para HIRLAM es imposible, dejando de ser fiable después de sucederse un fenómeno convectivo considerablemente alto.

Tal como se cita en la página web de AEMET casi literalmente, la descripción del modelo HIRLAM es:

“Este modelo hidrostático de puntos de rejilla se encarga de realizar una parametrización física de los fenómenos meteorológicos y parámetros del aire a nivel de subrejilla. Esta respuesta numérica se combina con observaciones captadas por vía satélite mediante un método variacional tri o tetradimensional. De forma que se obtienen una respuesta del modelo en cada punto de la rejilla, que posteriormente se estudia y se procesa añadiendo datos estadísticos a la respuesta puramente matemática con la intención de obtener lo que nosotros conocemos como predicción.” [6]

Parece intuitivo pensar, que al aumentar la resolución de la rejilla se aumenta también la precisión de la predicción. Como en cualquier otro problema de la física aplicada, el trasfondo está en dividir un problema grande en varios más pequeños que sean más fáciles de resolver y más manejables. Permitiéndonos así obtener predicciones más exactas en situaciones geográficas cada vez más pequeñas. Puesto que la “respuesta media” para una malla de rejilla demasiado grande puede no adecuarse a algunas zonas de su equivalente geográfico por ciertos factores externos que no se hayan tenido en cuenta.

La última versión del modelo HIRLAM utilizada por AEMET es la versión 0.05° de alta resolución, que se ejecuta diariamente sobre el territorio español con una resolución de 2,5 km de resolución horizontal y 65 niveles de resolución vertical. Aunque la resolución vertical no será de interés durante el transcurso de este proyecto, puesto que solo analizaremos los vientos del estrecho en superficie y no en altura.

La exclusiva orografía del estrecho y los agentes externos que influyen en su régimen de vientos convierten este punto geográfico en un gran reto para los programas de predicción más avanzados, incluido el HIRLAM. Pero a su vez representa un punto único y esencial para el estudio de vientos de nuestro país. Es por ello por lo que es de carácter necesario que se dedique el debido tiempo a comprobar la fiabilidad del modelo de predicción en el que tanto confiamos.

2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El gran avance de la meteorología moderna han sido los modelos de predicción. La atmósfera como elemento fluido está gobernada por las leyes de dinámica de fluidos. Estos sistemas de ecuaciones en derivadas parciales no tienen solución exacta, de forma que la mejor manera de obtener buenos resultados es aplicando modelos numéricos.

Es por ello que el avance de estos modelos ha ido estrictamente ligado al avance de la tecnología y el cálculo computacional. Pero al fin y al cabo estos sistemas de ecuaciones, vistos desde un punto de vista únicamente matemático, no son más que un problema de valores iniciales, donde las condiciones de contorno juegan un papel clave. Dichas condiciones de contorno se introducen a día de hoy en los nodos de las rejillas de las parametrizaciones físicas, ponderadas mediante los valores de observación de las variables que han sido medidas mediante estaciones o radares meteorológicos. [7]

Las parametrizaciones físicas y la resolución de las ecuaciones diferenciales que dominan las variables meteorológicas se encuentran intrínsecamente condicionadas por la potencia del ordenador que calcule el modelo numérico. Parece bastante intuitivo pensar que al aumentar la resolución horizontal (o vertical) del modelo, aumentarán el número de nodos de rejilla y en consecuencia las ecuaciones diferenciales y operaciones matemáticas que necesitemos realizar para extraer las predicciones.

Desde los años 40 con la aparición de los primeros ordenadores hasta la actualidad, los modelos numéricos han sufrido fuertes variaciones.

- **Modelos barotrópicos.** Estos fueron los primeros modelos numéricos que se estudiaron. La clave de dichos modelos era suponer que las superficies de presión constante coincidían con las de densidad constante, dando lugar a un gradiente de temperatura nulo y una aproximación del viento geostrófico¹ independiente con la altura. Las fuertes restricciones que se debían imponer al modelo reducían el sistema de ecuaciones diferenciales a una sola ecuación. Algo posible de calcular con la tecnología de la época pero insuficiente para considerar los resultados fiables para realizar una predicción meteorológica fundamentada. Entre otras cosas por la ausencia de estructura vertical que caracterizaba a la atmósfera que podía calcular el modelo.
- **Modelos baroclinos.** Fueron los sucesores de los modelos barotrópicos, la diferencia con estos fue que las superficies isobáricas ya no eran coincidentes con las superficies de densidad constante. Lo

¹ **Viento geostrófico.** Si obviamos el efecto de la fuerza de rozamiento, o lo analizamos en atmósfera libre, podemos observar que el gradiente de presión equilibra totalmente a la fuerza de Coriolis dando lugar a un viento rectilíneo con dirección perpendicular a las dos fuerzas anteriores.

Para consultar más información sobre la dinámica de las masas de aire:
http://fferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/1_dinamica_de_las_masas_de_aire.html

que se traducía en un gradiente de temperaturas que ya no era nulo y en un viento geostrófico que variaba con la altura en módulo pero no en sentido. Lo que sabemos que no es cierto, después de que Ekman demostrara la variación de la dirección del viento dentro de la capa límite atmósfera y de conocer las desviaciones que produce la fuerza de Coriolis. A pesar de seguir siendo una aproximación un poco burda, el modelo comenzaba a adquirir una estructura vertical, aunque esta fuese limitada, suponiendo un gran avance con respecto a los modelos anteriores pero resultando aún insuficiente para la realización de una predicción meteorológica diaria.

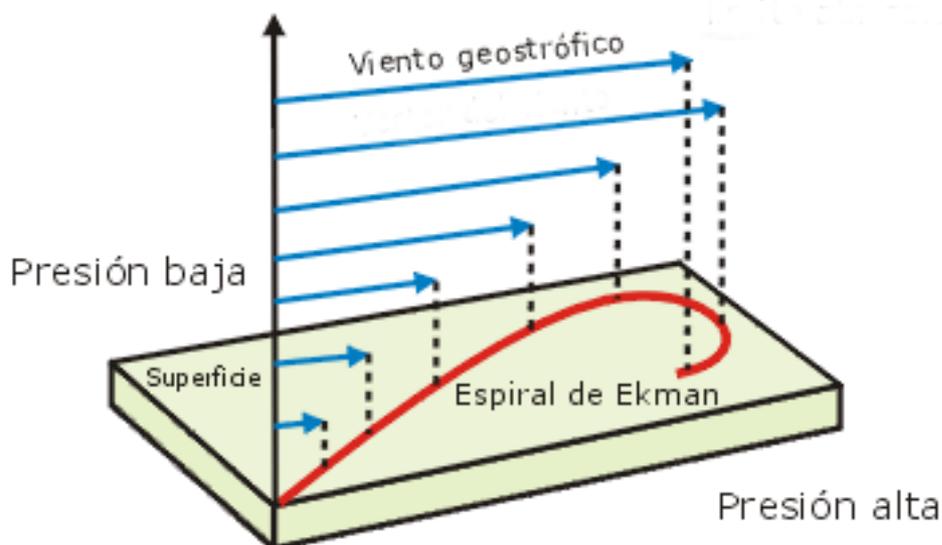


Figura 2-1. Esquema de variación de la dirección del viento en los primeros 1.000 m de la atmósfera por la fuerza de rozamiento. Espiral de Ekman.

- **Modelos de ecuaciones primitivas.** Con el avance de la tecnología y la capacidad de cálculo computacional los científicos iban suavizando las restricciones del sistema de ecuaciones. Intentando mantener las variables que eran directamente observables. A partir de este momento el modelo ya resultaba mucho más robusto y se consideraba que el problema ya no se centraba en las limitaciones que se imponían a las ecuaciones. Aparecían dos nuevos problemas: la necesidad de aumentar la resolución horizontal y vertical (puesto que estos modelos ya poseían una estructura vertical completa) y el hecho de que no podían tenerse en cuenta fenómenos cuya escala temporal y espacial fuera claramente mayor a la resolución del modelo en sí. Incluso con estos inconvenientes, estos modelos ya comenzaron a ser lo suficientemente completos y fiables como para aportar una predicción meteorológica diaria.
- **Modelos de mesoscala.** Conforme aumenta la resolución del modelo, mejor se adapta este a la superficie real. En otras palabras, se adecua mejor a las variaciones introducidas por la orografía en regiones más concretas. Pero existe un punto de inflexión en esta relación, ya que para resoluciones menores a 10 km algunas de las hipótesis básicas que hemos establecido para la ejecución de los anteriores modelos dejan de tener validez. Necesitándose parametrizaciones mucho más complejas y una incorporación de hipótesis de partida mucho más refinadas. En la actualidad la mayoría de los modelos de este estilo se encuentran en fase experimental, encabezando la lista de desafíos de la meteorología moderna. En este grupo se incluye el modelo no hidrostático HARMONIE, que ya ha sido mencionado en el apartado de introducción.

Y a su vez todos estos modelos pueden utilizarse para realizar distintos tipos de predicción. Según el tiempo de duración de la predicción: a corto plazo (periodo máximo de 72 horas), a medio plazo (entre 3 y 15 días) o a largo plazo). Y según la extensión de la localización geográfica donde vayamos a hacer la predicción: a escala sinóptica (o gran escala), donde se llegan a abarcar regiones de 1.000-2.000 km, o a nivel de mesoscala para zonas mucho más restringidas espacialmente. Obviamente el tipo de predicción que meteorológica que necesitemos condicionará la elección de un modelo u otro.

Después de realizar este breve repaso sobre los distintos tipos de modelos de predicción meteorológica, estamos obligados a mencionar el **modelo HIRLAM**. Este modelo que va a actuar como foco de nuestra investigación pertenece al grupo LAM (**Modelo de Área Limitada**). Dichos modelos se centran en predecir el tiempo en zonas muy delimitadas, reduciendo así gran número de las operaciones y permitiendo aumentar mucho la resolución espacial con respecto a los modelos de predicción global. Suelen utilizarse en para predicciones a corto plazo (48-72 horas).

El modelo HIRLAM de alta resolución (5 km) de predicción a corto plazo, es el que está utilizando AEMET en la actualidad para las predicciones diarias en nuestro país. Pero la primera versión de este modelo que se implanta por primera vez en España se realiza en 1.995, tres años después de la incorporación del país al Consorcio HIRLAM.

El verdadero objetivo de nuestra investigación se centra en la verificación de las respuestas de este modelo en la predicción del viento en la zona del Estrecho de Gibraltar.

El papel que juega el Estrecho como frontera intercontinental, entre Europa y África, y como frontera interoceánica, entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, sumando la particular orografía que lo caracteriza lo convierte en un punto de vital importancia para un estudio de verificación como este.

Las posibilidades de extraer la gran cantidad de energía eólica que alberga esta zona, nos ha impulsado a estudiar con detenimiento las respuestas del modelo numérico. El cual se encuentra condicionado por esta multitud de singularidades.

Anteriormente se han realizado otros estudios de verificación del modelo HIRLAM en España, gran referente es J.A. García-Moya [8] [9] [10] cuyo trabajo se ha centrado principalmente en el análisis del comportamiento del modelo frente a fenómenos de convección. También destacan otras publicaciones como el boletín mensual del Instituto Nacional de Meteorología [11] (que pasó a llamarse AEMET, a partir de 2.006), o las obras de Javier Calvo o J. José Ayuso [12] [13].

Pero la mayoría de ellas no se centran en el análisis de viento, o datan de una fecha posterior a 1.998. A excepción del trabajo de mi compañero José Miguel del Pino [14]. Por lo que se considera que es necesario un estudio más actual y centralizado en la zona del estrecho. Abriendo la posibilidad de realizar trabajos futuros más específicos y profundos sobre las fluctuaciones del modelo numérico en este punto tan esencial de la Península Ibérica.

3 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la realización del trabajo de campo de este estudio ha consistido en comparar los datos horarios de viento de cuatro estaciones meteorológicas, propiedad de AEMET, con las predicciones horarias de viento de la misma agencia.

Para ello se han tomado los datos públicos, accesibles desde la página web (www.aemet.es), correspondientes a los datos horarios de observación, predicción del día “D+1” (la realizada el día anterior a la recogida de datos de observación) y la predicción del día “D+2” (la realizada con dos días de anterioridad a la observación). Con intención de complementar esta información se ha introducido una tercera predicción, la llamada “D 3/2”, dicha predicción no es más que una media aritmética horaria entre los datos horarios de la predicción “D+1” y la “D+2”.

Una vez obtenido los datos de predicción y observación, el procedimiento comparativo se ha realizado mediante la herramienta de cálculo matemático *Matlab*. Estudiándose la discrepancia de valores de intensidad de viento entre la observación y la predicción, para cada una de las estación en los tres meses de muestreo (abril, mayo y junio).

Para entender con claridad la estadística de la comparación sería adecuado definir una serie de conceptos que a su vez juegan el papel de *índices de calidad*.

Tolerancia instantánea.

Cuando la diferencia, en valor absoluto, entre el valor de la observación y el valor de la predicción en un instante horario se encuentre dentro del rango de tolerancia marcado consideraremos que para ese punto horario que el modelo ha *acertado* en la predicción.

Estos rangos de tolerancia son función de la intensidad instantánea del viento:

- Para vientos con una intensidad instantánea menor o igual a 20 km/h consideraremos que el modelo no es lo suficientemente preciso cuando los puntos correspondientes a la observación y a la predicción difieran más de 5 km/h.
- Sin embargo, para permitir un poco más de holgura y no ser tan restrictivos para vientos más intensos, tomaremos como rango de tolerancia el 25% del valor instantáneo.

	$V_{observación}$	$V_{predicción}$	<i>Tolerancia instantánea</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Acierto del modelo</i>
Ejemplo 1	50 km/h	40 km/h	25 % de 50 km/h = 12.5 km/h	$ 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} $ = 10 km/h	¿"10" ≤ "12.5"? SI
Ejemplo 2	50 km/h	30 km/h	25 % de 50 km/h = 12.5 km/h	$ 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} $ = 20 km/h	¿"20" ≤ "12.5"? NO
Ejemplo 3	15km/h	20 km/h	5 km/h	$ 15 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 20 \frac{\text{km}}{\text{h}} $ = 5 km/h	¿"5" ≤ "5"? SI
Ejemplo 4	15km/h	26 km/h	5 km/h	$ 15 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 21 \frac{\text{km}}{\text{h}} $ = 6 km/h	¿"6" ≤ "5"? NO

Tabla 3-1. Tabla ejemplo de todos los casos que pueden darse al comparar predicción y observación.

Tolerancia de una serie temporal: tasa de aciertos.

Las series temporales se dividen por días, el mismo tramo horario que se ha utilizado para la extracción de datos.

Cada serie temporal, o cada día, comprende los datos horarios de la observación (24 horas), la predicción "D+1" (24 horas), la predicción de "D+2" (habitualmente 18 horas) y la predicción "D+3/2" (mismo número de datos horarios que la "D+2"). Esta tabla de datos horarios viene condicionada por la sistemática que se ha llevado para la toma de los mismos, debido a que estos han sido los máximos datos horarios de los que ha dispuesto AEMET en cada momento de extracción.

Es por ello, por lo que inevitablemente, se tienen menos datos para las predicciones de "D+2" y "D+3/2" que para la de de "D+1".

La *tolerancia de una serie temporal* la definiremos como un valor de tanto por ciento, resultante de comprobar los puntos horarios en los que el modelo de vientos ha acertado, con los puntos horarios totales de muestra.

$$T_{\text{Acierto}_{\text{Serie (Predicción)}}} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de puntos horarios en los que el modelo ha acertado}}{\text{N}^{\circ} \text{ de datos horarios totales que se han comparado}} \cdot 100$$

Debemos comprender que la tasa de aciertos de la predicción del “D+1” no es directamente comparable a la del “D+2” o a la del “D+3/2”, puesto que en la mayoría de los casos el número de datos horarios totales tenidos en cuenta en una predicción o en otra no coincidirán. Obteniéndose porcentajes mayores en las tasas de aciertos “D+2” y “D+3/2” que en “D+1” aún en los casos en los que el número de aciertos en las tres predicciones sea el mismo.

Hay que comentar que aunque esta discrepancia no se tenga en cuenta para valorar la admisibilidad del modelo, sí que se tendrá en cuenta a la hora en la que se comparen las tasas de aciertos de las predicciones entre sí. Es posible que en las tablas del anexo C, donde se resumen el análisis del trabajo completo durante los tres meses, encontremos algún día marcado con un color distinto al patrón de comportamiento del viento que se corresponde con las tasas que obtenemos. Estas correcciones serán fruto del análisis detallado de las tablas y gráficas elementales (anexo B), ya que no debemos olvidar que las tablas del anexo C, a pesar de ser muy útiles no dejan de ser un resumen de nuestro trabajo de campo y como en todo resumen existe cierta pérdida de información.

Trataremos el concepto de “tasa de aciertos” como análogo al término “precisión” de una predicción a lo largo de este trabajo.

	"D + 1"	"D + 2"	"D + 3/2"
<i>Nº de aciertos</i>	10	10	10
<i>Nº de datos totales</i>	24	18	18
T_{A_s}	42 %	55 %	55 %

Tabla 3-1. Ejemplo de cálculo de la tasa de aciertos para las tres predicciones en una serie temporal dada.

Admisibilidad del modelo.

Esto ocurrirá cuando en la comparativa de las tres predicciones con la observación, al menos una de las tres predicciones analizadas obtenga una tolerancia de aciertos de la serie temporal mayor o igual al 40% del total. Este valor puede parecer poco restrictivo, pero se considera que está justificado debido a que la verdadera restricción ya está impuesta en el parámetro de tolerancia instantánea. De forma que consideraremos que el modelo es **aceptable** o **admisible** para una serie temporal cuando $T_{A_s} \geq 40\%$.

	$T_{A_s(D+1)}$	$T_{A_s(D+2)}$	$T_{A_s(D+3/2)}$	<i>Aceptable</i>	<i>Justificación</i>
<i>Ejemplo 1</i>	80 %	30 %	35 %	<i>SI</i>	<i>La tasa de acierto de la predicción D+1 es mayor al 40% aunque las de las otras dos predicciones no lo sean.</i>
<i>Ejemplo 2</i>	30 %	30 %	35 %	<i>NO</i>	<i>Ninguna de las tres predicciones alcanza una tasa de acierto superior o igual al 40%.</i>

Tabla 3-2. Ejemplos de situaciones que se pueden dar al caracterizar la admisibilidad del modelo en una serie temporal.

Patrones de comportamiento del modelo (Código de colores)

Debido a que se ha trabajado con gran cantidad de datos, se ha establecido un código de colores asociado a ciertos patrones de comportamiento del modelo que se han dado de forma repetitiva, con la intención de hacer la información más manejable.

En el anexo C se incluyen unas tablas resumen de todos los días de muestra marcados con el color del patrón correspondiente asociado a los valores las tasas de acierto de cada una de las predicciones. Como ya se ha comentado, es posible que el color con el que se marque un día concreto no sea coherente con los valores de las tasas de acierto, esto es debido a una corrección surgida de un análisis más detallado usando las tablas y gráficas elementales.

- **Patrón rojo.** Se marcarán con este patrón todos aquellos días en los que el modelo no se considere admisible. Es decir, que la tasa de acierto de ninguna de las tres predicciones analizadas supere el 40 %.

Para el resto de días de muestra que no estén marcados como patrón rojo se considerará que el modelo es admisible o aceptable, y el análisis se centrará ahora en la búsqueda de la predicción que mejor se ajuste a la observación. Con el objetivo de focalizar nuestras conclusiones en evitar respuestas redundantes del modelo. Por esta misma razón solo consideraremos la predominancia de la predicción “D+3/2” cuando supere a las dos predicciones que el modelo calcula por defecto. Para esta tarea solo consideraremos que una predicción domina sobre otra cuando su *tasa de acierto* para la misma serie temporal supere a la de la otra predicción en al menos, un 10 %.

- **Patrón azul.** Se señalarán con este patrón los días en los que la tasa de acierto de la predicción “D+1” sea superior a la de “D+2” en al menos un 10 %.
- **Patrón verde.** Se señalarán con este patrón los días en los que la tasa de acierto de la predicción “D+2” sea superior a la de “D+1” en al menos un 10 %.
- **Patrón morado.** Se señalarán con este patrón los días en los que la tasa de acierto de la predicción “D+3/2” sea superior a la de “D+1” y la del “D+2” en al menos un 10 %.
- **Patrón negro.** Cuando las tasas de acierto de las predicciones de “D+1” y “D+2” difieran menos de un 10 % y la tasa de la de “D+3/2” sea inferior a las dos anteriores en un 10 %, la serie temporal se marcará con este patrón.

	$T_{A_s(D+1)}$	$T_{A_s(D+2)}$	$T_{A_s(D+3/2)}$	<i>Color del patrón</i>
<i>Ejemplo 1</i>	20 %	30 %	35 %	<i>ROJO</i>
<i>Ejemplo 2</i>	80 %	30 %	75 %	<i>AZUL</i>
<i>Ejemplo 3</i>	50 %	70 %	65 %	<i>VERDE</i>
<i>Ejemplo 4</i>	50 %	60 %	70 %	<i>MORADO</i>
<i>Ejemplo 5</i>	80 %	75 %	70 %	<i>NEGRO</i>

Tabla 3-3. Ejemplo de todos los patrones de comportamiento que pueden darse.

Sobrepredicción/Subpredicción

Además de determinar la admisibilidad del modelo y la tasa de aciertos de cada una de las predicciones (lo que resultaría análogo a hablar la de precisión de la predicción). También ha resultado interesante introducir dos índices de calidad más para examinar si los fallos (opuesto a los aciertos) se producen porque el modelo calcula por exceso o por defecto los valores de de intensidad instantánea del viento.

En otras palabras, lo que se pretende con la definición de estos es índices es especificar si la mayoría de los errores del modelo se producen porque la gráfica de la observación se encuentra por encima de la predicción o viceversa.

Definiremos como *índice de sobrepredicción* al tanto por ciento que compara los puntos en los que la diferencia de entre la intensidad instantánea de la predicción y la de la observación sea positiva y superior al valor correspondiente de tolerancia instantánea. Con los puntos totales en los que el modelo falla.

$$IC_{\text{Sobrepredicción}} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de datos en los que el modelo falla y } (V_{\text{pred}} - V_{\text{obs}} > 0)}{\text{N}^{\circ} \text{ de datos horarios en los que el modelo falla}} \cdot 100\%$$

Definiremos como *índice de subpredicción* al tanto por ciento que compara los puntos en los que la diferencia de entre la intensidad instantánea de la predicción y la de la observación sea negativa y superior (en valor absoluto) al valor correspondiente de tolerancia instantánea. Con los puntos totales en los que el modelo falla.

$$IC_{\text{Subpredicción}} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de datos en los que el modelo falla y } (V_{\text{pred}} - V_{\text{obs}} < 0)}{\text{N}^{\circ} \text{ de datos horarios en los que el modelo falla}} \cdot 100\%$$

La suma de ambos índices debe resultar un total del 100%.

Calcularemos ambos índices para el siguiente ejemplo:

<i>N</i> ^o de datos totales	<i>N</i> ^o de aciertos	<i>N</i> ^o de errores	<i>N</i> ^o de errores con ($V_{\text{pre}} - V_{\text{obs}} > 0$)	<i>N</i> ^o de errores con ($V_{\text{pre}} - V_{\text{obs}} < 0$)
24	14	24 - 14 = 10	7 (= 10 - 3)	3 (= 10 - 7)

Tabla 3-4. Ejemplo de cálculo de índices de subpredicción y sobrepredicción.

$$IC_{\text{Sobrepredicción}} = \frac{7}{10} \cdot 100\% = 70\%$$

$$IC_{\text{Subpredicción}} = \frac{3}{10} \cdot 100\% = 30\%$$

3.1 Presentación de las estaciones meteorológicas

Para poder hacernos con una visión global del comportamiento del viento en la zona del Estrecho, se ha decidido hacer una selección de las estaciones meteorológicas que posee AEMET en dicha localización. Esta pequeña selección nos permitirá analizar las peculiaridades de cada una de estas estaciones.

La disposición de las estaciones será la siguiente:

- **Barbate.** Situado en la zona oeste del litoral gaditano. Los vientos que presenta esta localidad suelen tener intensidades con un valor medio-bajo. Es una estación que permite, además de analizar la influencia de la orografía en la dirección del viento, el estudio de las brisas.
- **Tarifa.** Estación esencial en cualquier estudio de vientos. Situada justo en el estrecho, presenta los vientos más intensos de todas las estaciones de la zona. Puesto que muestra vientos muy intensos en el caso de levante, esta estación nos resulta muy útil para analizar vientos fuertes y sin apenas variaciones en la dirección. No se espera que la influencia de las brisas y otros factores externos tengan demasiada relevancia en esta estación.
- **San Roque.** Situación simétrica a Barbate con respecto a Tarifa, pero con vientos algo más intensos que la primera. Además de ayudar a completar la visión global de la influencia de la orografía también sirve de apoyo en el estudio de brisas.
- **Ceuta.** Emplazada al otro lado del estrecho. Su elección se ha considerado necesaria y fundamental para completar este conjunto. La intensidad de los vientos esta localidad son de índole baja, más parecidos a los de Barbate que a los de cualquier otra estación.

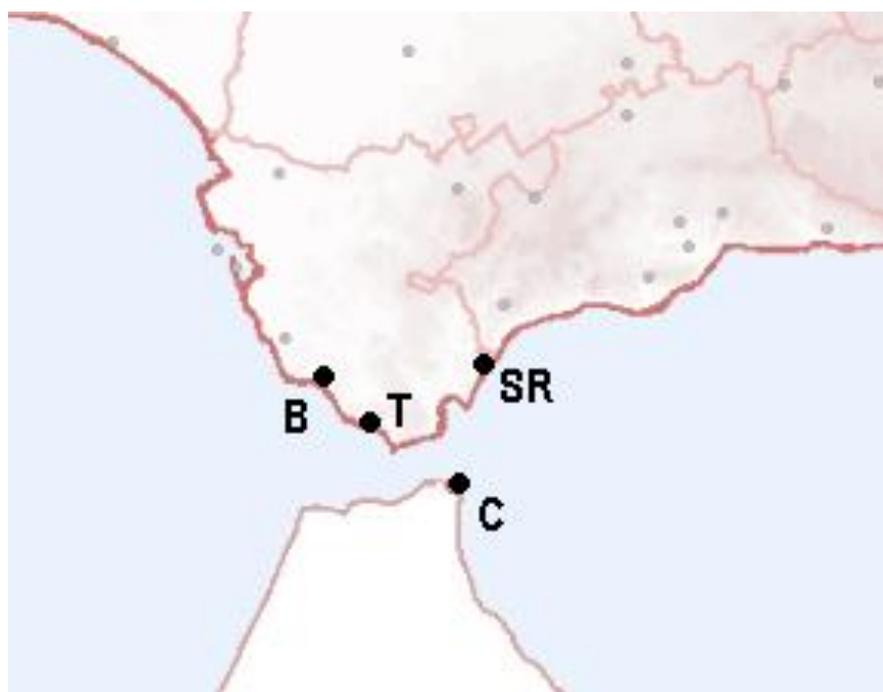


Figura 3-1. Situación geográfica de las estaciones meteorológicas.

Entre las infinitas combinaciones que podrían hacerse usando las estaciones meteorológicas de AEMET, finalmente se ha considerado elegir únicamente estas cuatro. Cubriendo así las zonas Norte, Sur, Este y Oeste con respecto al eje del Estrecho. Se estima que serán suficientes para satisfacer los requisitos exigibles en este proyecto sin necesidad de introducir datos redundantes o situaciones ineficientes y carentes de información.

3.2 Hipótesis de partida

Después de visualizar los primeros datos y con el objetivo de facilitar el análisis, se ha decidido crear un sistema de clasificación de vientos personalizado. Dicho sistema nos permitirá identificar patrones repetitivos de comportamiento de viento dentro de cada una de las tipologías.

Se dividirán los vientos atendiendo a principalmente a dos criterios: intensidad y dirección.

La clasificación por intensidades se realizará de una manera muy sencilla, simplemente realizando la media aritmética de los valores de intensidad que presenta la estación a estudiar en cada una de las horas recogidas en los datos a lo largo de un día. Dicha operación se hará a través del programa en *Matlab* y se presentará en las tablas junto con los otros parámetros del análisis.

Dando lugar a las siguientes tipologías:

- **Muy flojo.** Para vientos con una intensidad de valor entre 0 y 10 km/h.
- **Flojo.** Con intensidades entre 11 y 20 km/h.
- **Flojo-Moderado.** Intensidades entre 21 y 30 km/h.
- **Moderado.** Intensidades entre 31 y 40 km/h.
- **Moderado-Fuerte.** Para intensidades entre 41 y 50 km/h
- **Fuerte.** Valores de intensidad entre 51 y 60 km/h.
- **Muy fuerte.** Valores superiores a 61 km/h.

La clasificación anteriormente descrita no se corresponde con las típicas que pueden encontrarse en la bibliografía tradicional meteorológica. Por lo que cabe aclarar y recalcar este hecho, puesto que puede ser motivo de confusión. Estos criterios de clasificación se crearon con la intención de detallar con más precisión los patrones. Es por ello, por lo que se han elegido rangos de intensidad relativamente pequeños comparados con los rangos que solemos encontrarnos de forma más asidua.

En segundo lugar, además de la clasificación por intensidades, también ha sido necesaria una segunda clasificación, cuyo criterio es la dirección del viento.

- **Levante.** Se define como viento de levante aquel en el que la componente más significativa en su cuadro de direcciones es la que se origina en el este
- **Poniente.** En este caso, se nombrará como poniente al viento cuya componente de dirección predominante sea de origen Oeste.
- **Otros.** Serán todos estos vientos cuyos cuadros de direcciones no tengan cabida en las dos subtipologías anteriores. Dejando aquí las observaciones correspondientes a los días en los que son predominantes las componentes de brisas, días de transición entre levante y poniente u otros cambios de dirección provocados por otros factores externos que deban de ser analizados más detenidamente.

3.3 Programación en Matlab

3.3.1 Aporte de datos

Para poder ejecutar la herramienta informática de la que nos hemos servido para realizar este proyecto, lo primero que se debe hacer es introducir los datos en el programa.

Habiendo extraído previamente los datos de observación y de predicción (tanto del “D+1” como del “D+2”). Esta tarea se ha hecho descargando estos archivos en formato *Excel* diariamente, para cada una de las cuatro estaciones elegidas de la página web de AEMET.

En estos archivos se reflejan los valores de intensidad y dirección de viento en cada una de las 24 horas anteriores a su extracción en el caso de los ficheros de “Observación”, es decir, lo que ha sido medido por las estaciones meteorológicas. Mientras que en los ficheros de “Predicción” se muestran los valores de intensidad y dirección resultado del modelo numérico, para las 40 horas próxima al momento de la extracción de datos.

Con intención de reducir la cantidad de datos redundantes o la escasez los mismos, se ha intentado realizar la extracción de datos a la misma hora diariamente. Habiéndose extraído una muestra más escasa en datos pero representativa, en los casos en los que lo primero no ha sido posible.

Una vez recopilados los datos, la transferencia de estos al programa se ha realizado seleccionando las columnas correspondientes a la intensidad de viento (puesto que los archivos que nosotros poseemos contienen muchos más parámetros que no nos serán de utilidad) y se han copiado en los vectores designados para dicha tarea.

3.3.2 Ejecución y resultados

Tras introducir los datos requeridos en cada uno de los vectores correspondientes y ejecutar el programa lo que se obtienen como resultados son las gráficas de comparativas entre las predicciones “D+1”, “D+2” y “D+3/2” en las que se representa el valor de la intensidad de viento instantánea frente a la hora en la que se da dicho valor. La comparativa con el “D+3/2” se realiza previo cálculo de la misma.

Además de algunos de los índices de calidad que hemos definido anteriormente, como són la *tasa de aciertos* de una serie temporal, índice de calidad de *subpredicción* y el índice de calidad de *sobrepredicción*, para cada una de las estaciones a lo largo de todos los días en los que se ha realizado el muestreo.

El índice de *tolerancia instantánea* no se obtiene como una respuesta del programa, sino que se introduce en el mismo como condición para el correcto cálculo de la *tasa de aciertos*.

Con estas respuestas y gráficas directas construiremos lo que hemos nombrado *gráficas y tablas elementales* (anexo B), las cuales no debemos confundir con las tablas resumen del anexo C.

3.3.3 Informatización de las direcciones

En principio no se ha informatizado la comparativa entre la dirección de vientos de la observación y de la predicción. Pero si que se ha incluido una serie de gráficas proporcionadas por AEMET en las que se puede visualizar fácilmente la dirección de cada uno de los días que se han recogido como muestra.

Dichas gráficas representan la dirección y la intensidad de la observación a lo largo de las 24 horas del día. Lo cual resultará muy útil para observar de forma localizada brisas nocturnas o diurnas, o el efecto de las rachas. Datos esenciales para completar esta tarea y verificar el comportamiento del modelo frente a cambios bruscos de dirección.

4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VIENTOS EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Como ya sabemos, la causa que origina el viento en la mayoría de las ocasiones es un gradiente horizontal de presiones. Que a su vez se ve promovido por un gradiente de temperaturas.

Las masas de aire frío, puesto que es más denso que el aire cálido, descienden sobre la superficie por efecto de la gravedad creando altas presiones en la superficie. El desplazamiento de estas masas de aire da lugar al viento. Durante este desplazamiento el aire va adquiriendo temperatura hasta que finalmente es lo suficientemente cálido para ascender y dejar una baja presión en la superficie.

Si cerrásemos este ciclo de masas de aire, lo que obtendríamos finalmente sería el esquema de la circulación general atmosférica, que a su vez estaría afectado por la fuerza de Coriolis y el efecto de la fuerza de rozamiento.

Pero no es la circulación general del viento lo que queremos tratar, sino los vientos localizados en superficie. Y para ello lo que necesitamos controlar con exactitud son todos los parámetros que alteran la dirección y la intensidad del viento adecuándolos a la zona que vamos a estudiar.

4.1 Influencia de la orografía

El Estrecho de Gibraltar, además de ser el punto de conexión entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, también tiene el papel de frontera intercontinental, separando Europa de África por un tramo de al menos unos 14,5 km.

Se convierte en un punto geográfico aún más importante cuando analizamos la peculiar orografía que lo rodea. Con la cordillera Penibética al este de Tarifa, en la zona sur de la península Ibérica y con los montes Atlas en el norte de África, el efecto canalizador del viento se potencia mucho más. Obteniéndose un perfil de velocidades creciente que alcanza su máximo en el punto más estrecho. Y generando vientos de gran importancia y potencia eólica en esta zona, útiles en multitud de aplicaciones.

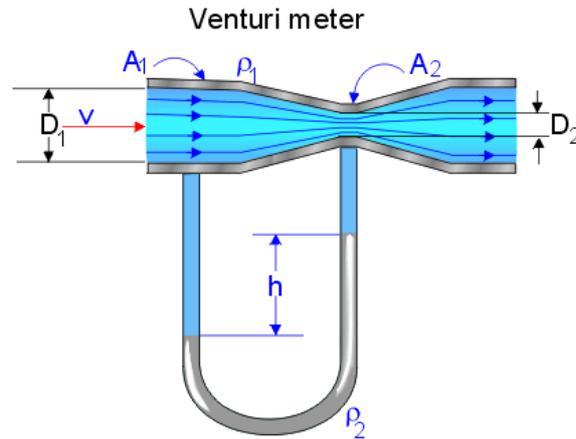


Figura 4-3. Tubo de Venturi.

Si intentásemos analizar la influencia de la orografía en cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas para este proyecto según la dirección del viento dominante obtendríamos unos esquemas muy sencillos y claros.

- Con vientos del **este**, o **levante**:

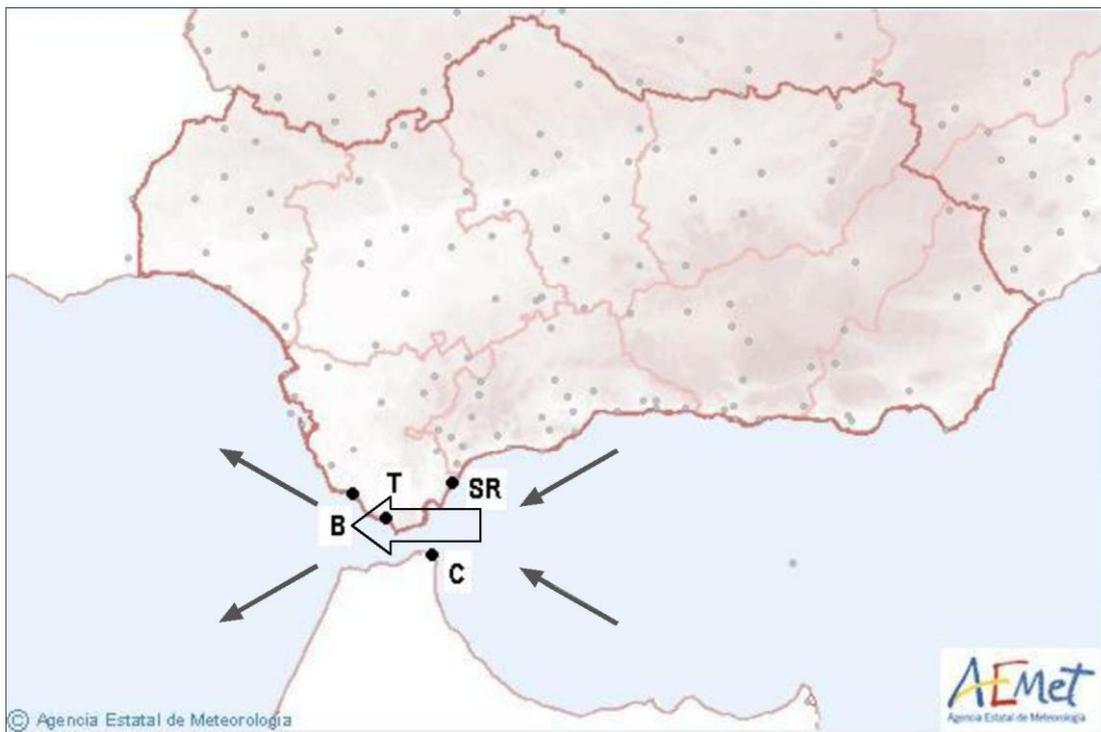


Figura 4-4. Esquema de direcciones de viento para días con levante.

El esquema general para días en los que soplara vientos con una componente principalmente este sería el especificado en la figura.

De forma que encontraríamos vientos intensos con componente este en Tarifa. Mientras que en Barbate observaríamos una disminución de la intensidad y una ligera desviación hacia el norte. Teniendo en Barbate

unos vientos de origen Sureste.

Al otro lado del embudo aparecerían los vientos de San Roque con componentes noroeste y con una intensidad intermedia a la de los vientos de Tarifa y Barbate. Este hecho es debido a que la influencia de la orografía es mucho más importante al este de Tarifa. Puesto que la orografía a este lado del estrecho adquiere más relevancia que al oeste del eje y favorece el efecto canalizador, generando vientos más intensos que los observados a la salida del embudo. Generalmente se producen vientos más intensos en todo el estrecho cuando se produce levante que cuando sopla poniente.

Finalmente, en Ceuta, podríamos ver vientos con componente suroeste y con una intensidad, generalmente, más baja que en San Roque. Puesto que la influencia de la cordillera del Atlas a efectos canalizadores es menos eficiente que la de la Cordillera Penibética, debido a que esta primera está más alejada del litoral.

- Con vientos del **oeste** o **poniente**:

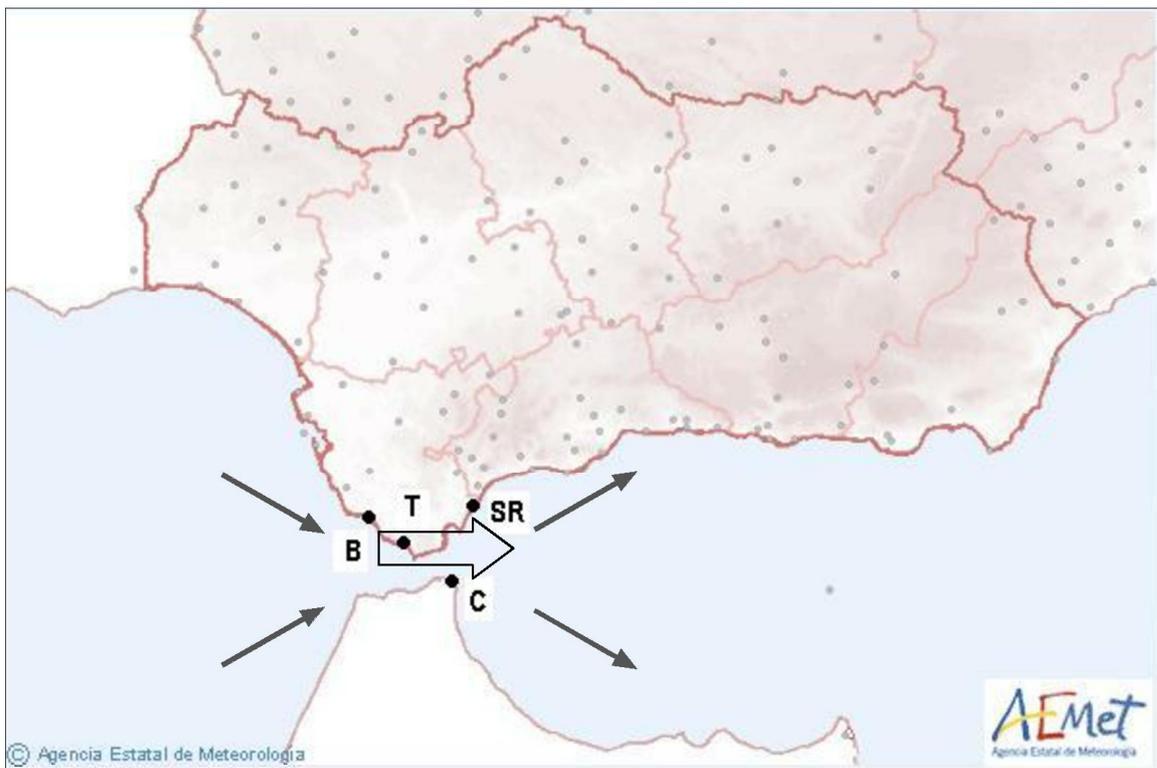


Figura 4-5. Esquema de direcciones de viento para días con poniente.

De forma generalizada, para todas las estaciones se deduce un viento menos intenso en los días que sopla viento de poniente que en los días en los que sopla viento de levante. Esto es debido a que el efecto de la orografía es menos significativo cuando el viento nace en el oeste. La ausencia de la cordillera Penibética en esta zona del estrecho provoca que el efecto de canalización sea menos intenso en este caso.

Y en consecuencia, al ser vientos de baja intensidad, se ven más fácilmente afectados por otras características, como las brisas, las inestabilidades atmosféricas, etc. Por lo que suele observarse muy a menudo grandes cambios de dirección en los análisis de poniente.

Obviando esta última afirmación, si el viento de poniente estuviera afectado únicamente por la orografía, las direcciones principales que debería tener el viento en cada estación serían aproximadamente las especificadas

en la figura.

De forma que Barbate y Ceuta se verían afectados por vientos del noroeste, y San Roque del suroeste. Mientras que en Tarifa debería de visualizarse un viento con componentes puramente oeste.

4.2 Influencia de las brisas

Como ya hemos comentado anteriormente, el origen principal del movimiento de las masas de aire se sucede por un gradiente térmico que se asocia a un gradiente de presión. Cuando en una misma localización encontramos distintas superficies con calores específicos muy distintos, la generación de este gradiente térmico es más favorable.

La costa, donde se encuentran tierra y mar es uno de los ejemplos más claros para que se produzca un gradiente térmico lo suficientemente notable como para producir un movimiento de aire. Estos vientos concretos son llamados, como todos sabemos, brisas.

A su vez, dependiendo de la hora solar durante el transcurso de la jornada se favorecerá el enfriamiento o el calentamiento de las distintas superficies. Dando lugar a dos casos muy claros.

4.2.1 Brisa nocturna o de tierra

Debido a que la capacidad del agua de transmitir el calor es muy alta y que además se encuentra potenciada por el efecto de las mareas, cuando el Sol desaparece la tierra se enfría mucho más rápidamente que el mar. Es por ello por lo que se genera una alta presión en la zona tierra asociada a este enfriamiento, en contraposición a la baja presión y a la alta temperatura que adquiere el mar.

Este gradiente es el causante de una brisa que nace en el continente y que se desplaza hacia el mar, adentrándose hasta unos 20 kilómetros y alcanzando unas intensidades entre los 5 y los 20 km/h. [15]

En nuestro estudio, las estaciones en las que están más presentes las situaciones de brisas son Barbate, San Roque y Ceuta, en Tarifa apenas influye. Aunque en el apartado de análisis de los resultados comprobaremos que aún es más acusado en el caso de Barbate, debido a que los vientos en esta localidad son menos intensos de forma general y por tanto más fácilmente desviados por temas relacionados con brisas.

Tanto en San Roque como en Barbate la brisa de noche se vería traducida en una variación de la dirección de origen norte, al contrario que en Ceuta, que la brisa presentaría una componente sur, influyendo de forma distinta en cada caso.

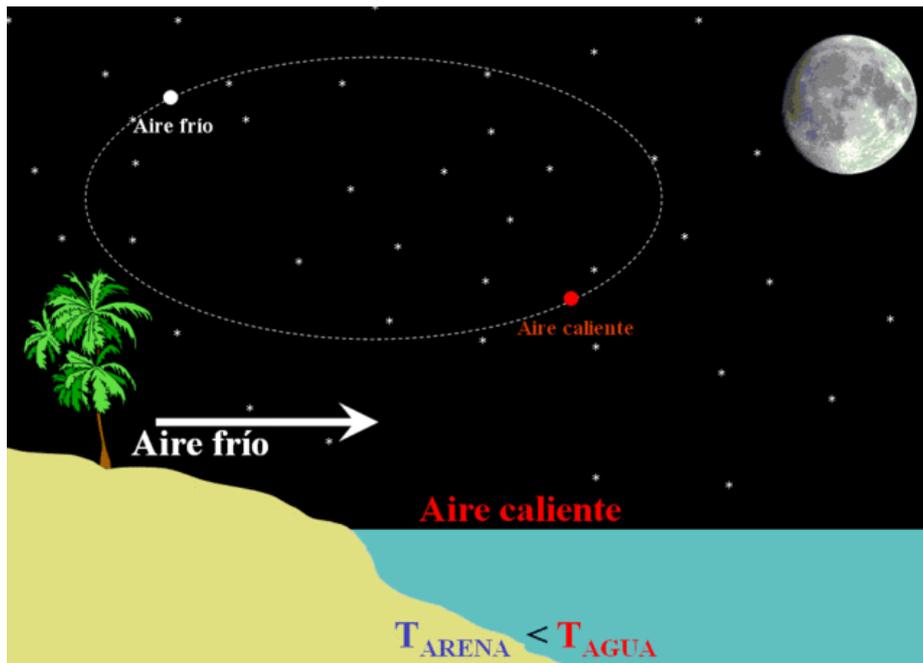


Figura 4-6. Brisa nocturna o de tierra.

No debemos olvidar que la dirección de la brisa es perpendicular a la línea de costa, por ello, a pesar de que se hable de componente norte o componente sur, la dirección real de la brisa de noche en Barbate sería Noreste, en San Roque Noroeste y Ceuta Sureste.

A su vez el efecto de estas brisas en combinación con vientos de levante y poniente sería completamente distinto. En el caso de Barbate con vientos de levante, las brisas incorporarían un leve aumento de intensidad además de introducir una ligera variación en la dirección paralela a la dirección de la brisa. Para San Roque y Ceuta, la influencia de la brisa sería opuesta y contrarrestaría la dirección principal del viento generando una disminución de la intensidad.

Para los días con viento de poniente, la situación se invertiría, siendo las brisas de San Roque y Ceuta las que aumenten la intensidad del viento principal y la brisa de Barbate la que lo contrarreste.

4.2.2 Brisa diurna o de mar

Durante el día la tierra se calienta mucho más rápidamente que el mar, por las mismas razones que hemos comentado en el apartado anterior. Creándose bajas presiones asociado a altas temperaturas esta vez en la zona de tierra, y dejando las altas presiones y las temperaturas más bajas en el mar.

De forma que este segundo gradiente favorece una brisa que nace en el mar y se adentra en el continente hasta unos 30 o 40 kilómetros, y tomando una velocidades entre 10 y 40 km/h. En otras palabras, teóricamente la brisa de día podría llegar a duplicar el efecto que tendría la brisa de noche pero es algo que aún debemos estudiar con detenimiento. [15]

A pesar de ello si podemos saber con certeza que la orientación de estas brisas en Barbate serán suroestes, en San Roque surestes, y en Ceuta norestes.

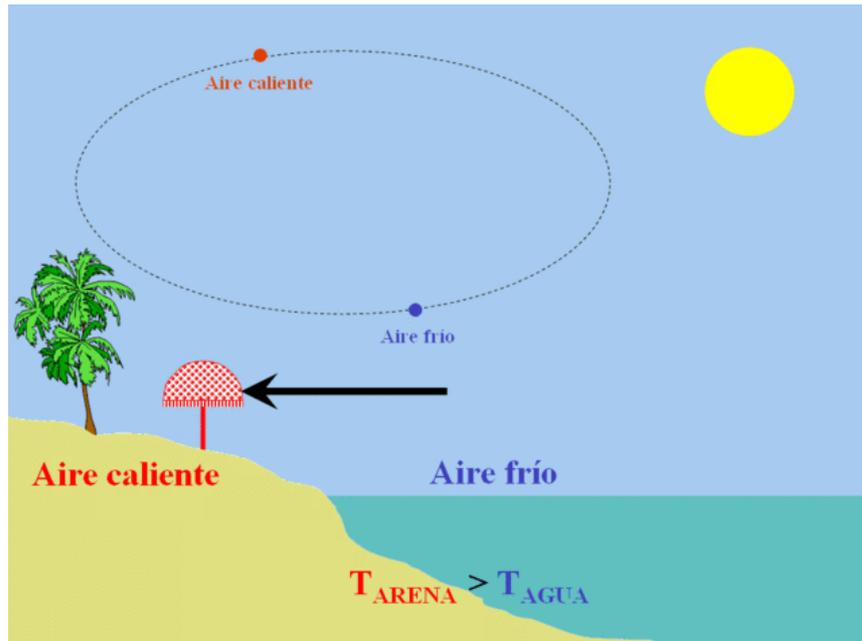


Figura 4-7. Brisa de día o de mar.

4.2.3 Efecto general en todas las estaciones

Con el fin de facilitar la visualización de la direccionalidad de las brisas en cada una de las estaciones, se incluye la siguiente figura. Este esquema puede resultar muy útil y aclaratorio, pero no olvidemos que para analizar adecuadamente el efecto de las predicciones lo que de verdad debemos tener en cuenta es su combinación con las desviaciones causadas por la orografía en los casos de poniente o levante.

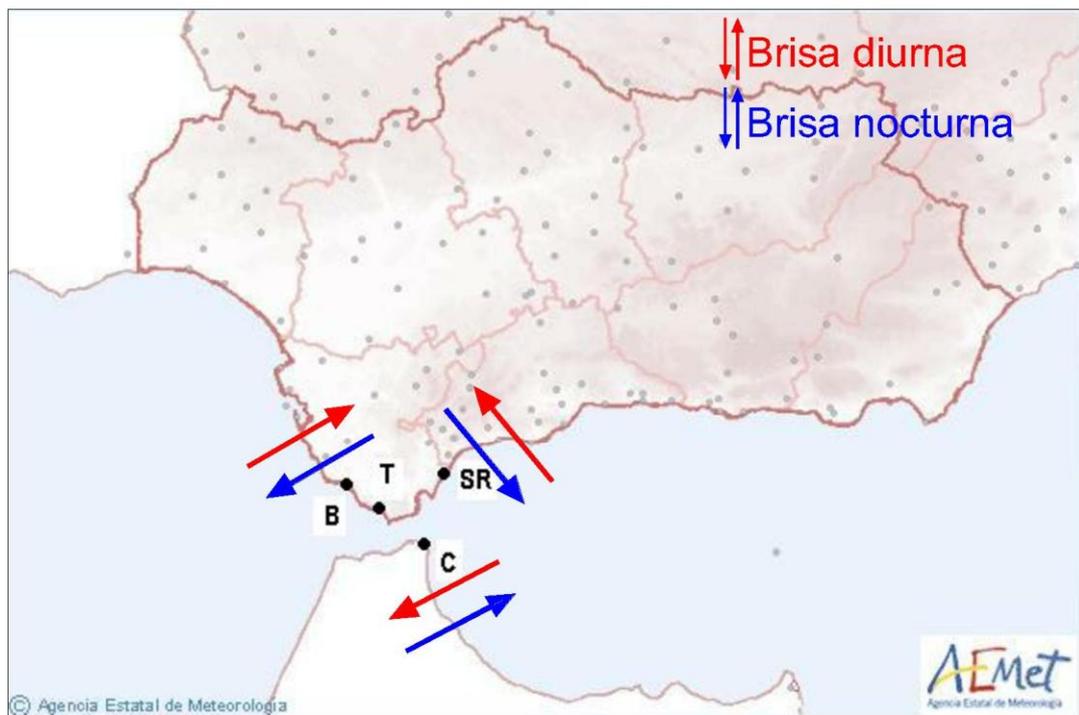


Figura 4-8. Efecto de las brisas en todas las estaciones.

4.3 Influencia de la confrontación Atlántico-Mediterráneo

Además de poseer una topografía muy característica en el lado tierra, el Estrecho de Gibraltar también coincide con el punto geográfico en que se unen las aguas del océano Atlántico y el mar Mediterráneo.

Generalmente las aguas superficiales del Mediterráneo suelen estar unos grados más caliente que las del Atlántico, situación que se acentúa aún más durante los meses de verano. Un hecho que aunque en principio parezca irrelevante, en los meses en los que este gradiente térmico se hace más notable genera a su vez un gradiente de presión. Originando vientos que soplan de oeste a este y que en algunos casos pueden desviar la dirección principal.

A pesar de conocer la influencia de este fenómeno, no vamos a darle demasiada importancia durante la ejecución de este trabajo. Debido a que los meses de recogida de muestras están fuera del rango en los que este suceso se considera verdaderamente notable.

Pero si que se debería de tener en cuenta en las posibles ampliaciones de este trabajo que puedan darse en el futuro. Especialmente en las categorías de vientos con intensidades más suaves. [16]

4.4 Otras influencias

En este proyecto se ha estudiado el viento usando solo los datos del mismo proporcionados por AEMET, pero sabemos que el viento no es un meteoro que se de de forma aislada. Es decir, las situaciones meteorológicas externas pueden modificar su módulo y dirección de forma distinta a la esperada.

De esta forma, días con precipitación, tormentas, frentes y otras situaciones meteorológicas y climáticas pueden hacer variar el viento. La única forma que tendríamos de estudiar su influencia sería analizando día a día los otros parámetros recogidos por AEMET, como son el caso de la humedad, la precipitación, la temperatura, efecto de las rachas...

E incluso el efecto de las situaciones de anticiclón y borrasca a escala sinóptica.

La situación concreta del Anticiclón de las Azores y la Borrasca de Islandia, al igual que la posición relativa entre ellos, afecta directamente a la climatología de la Península Ibérica al completo, incluyendo obviamente al régimen de vientos encontrados en el Estrecho.

Todos estos parámetros deberían estimarse en un estudio exhaustivo del modelo HIRLAM, pero consideramos que para esta tarea de verificación y dentro de los límites del alcance de este proyecto esto excedería nuestras necesidades.

No obstante, es necesario que se mencionen la existencia de dichas influencias a la vez que se asume las posibles desviaciones que pueden sufrir nuestras conclusiones.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha comentado anteriormente, para facilitar el apartado de análisis de datos se ha establecido una clasificación de vientos según su dirección e intensidad media.

Una vez realizado este paso, se ha observado que se producen ciertas repeticiones de patrones de comportamiento del modelo. Por lo tanto, ha parecido razonable estudiar la relación entre las repeticiones con las que se producen estos comportamientos en cada una de las subtipologías de viento que anteriormente hemos descrito.

En consecuencia se han añadido unas nuevas tablas separadas por estación y por fecha donde se establecen de forma resumida estos vínculos, dichas tablas se añadirán a este proyecto con el nombre de *ANEXO C* para su posterior revisión.

Para evitar datos redundantes y esclarecer lo máximo posible la deducción de las conclusiones, se ha asociado cada uno de los patrones con un color al azar, cuya utilidad se restringe únicamente a facilitar la visualización de la tarea en estas tablas. Estos patrones se corresponden a los especificados en el apartado 3.

La búsqueda se centrará en la identificación de los patrones más repetitivos para cada una de las estaciones en cada subtipología de viento estudiada. Pretendiendo siempre la máxima sobriedad y efectividad, se procurará utilizar las predicciones que ya realiza el programa HIRLAM. De esta manera se desecharán las conclusiones sobre la predicción “D+3/2”, generada por nosotros mismos, cuando esta aporte información redundante sobre las dos anteriores. Entendiéndose como redundante que las predicciones de “D+3/2” sean menos precisas que las predicciones de “D+1” y/o “D+2”, convirtiéndose en una predicción relevante solo en los casos en los que esta sea estrictamente más precisa que las anteriores.

Siguiendo este procedimiento, para analizar el estudio recopilaremos el grupo de días de muestra que se corresponda con cada uno de los patrones, y adjuntaremos una gráfica elemental de comparación entre las predicciones y la observación en cada uno de los casos a modo de ejemplo. Esto lo repetiremos para cada uno de los criterios de clasificación de vientos para los que tengamos datos de muestreo. Hasta asociar un tipo de patrón a cada una de las tipologías de vientos para las que se tienen datos.

De forma que finalmente podamos valorar la bondad del modelo en cada una de las estaciones y en que medida, en función de la intensidad media y la dirección del viento.

Puede darse el caso, de que no haya suficientes días de muestra para asociar un patrón de comportamiento del modelo a cada una de las tipologías de viento definidas. Quedando incompletas algunas de estas tipologías, pero este es un riesgo que siempre hay que correr en un trabajo de investigación. Aún así se prevé, que si habrá datos suficientes para las situaciones de vientos más habituales en cada una de las estaciones.

5.1 Barbate

Aunque ya se ha nombrado en con anterioridad en el apartado de características generales de los vientos, es conveniente recordar el tipo de viento que tiene mayor influencia en esta localidad.

De forma que si soplaran vientos del este en Barbate encontraremos vientos principalmente suaves con una componente Sureste consecuencia de su orografía.

Sin embargo, si el viento predominante procediera del oeste observaríamos una clara componente noroeste que se presentaría acompañada de una intensidad aún más suave que en el caso de vientos de levante.

A su vez dichas componentes pueden verse afectadas en varios casos por la brisa nocturna, que aparece con dirección noreste a altas horas de la noche o a primeras horas de la mañana. Mientras que a media tarde, la brisa diurna puede introducir componentes de origen suroeste acompañadas de un aumento en la intensidad llegando a velocidades de 30-40 km/h puntualmente.

A pesar de que el objetivo de este estudio es intentar extraer una conclusión sobre el comportamiento del modelo y las posibles modificaciones que lo mejorarían para el mayor número de casos, es natural que alguna vez no tengamos los suficientes datos como para respaldar ciertas modificaciones con un buen criterio.

Encontraremos ciertas limitaciones, puesto que no tendremos datos suficientes como para sacar conclusiones de todas las subtipologías que hemos definido en los apartados iniciales.

Una vez realizado este breve recordatorio, procederemos a estudiar las respuestas del modelo durante los días de análisis y comprobaremos además si concuerdan con nuestras suposiciones anteriores.

5.1.1 Dirección principal: Este

5.1.1.1 Viento flojo

Para los vientos de carácter flojo en el caso de Barbate contamos con una muestra de 12 días de estudio. De los cuales, en tres de ellos se obtienen tasas de acierto menores al 40 % en la mejor de sus predicciones, motivo por el cual las vamos a desechar.

Estos días cuyas predicciones son muy inferiores a las especificadas como “aceptables” son el **9 de abril**, el **11 de mayo** y el **19 de junio**. Encontrándose la precisión máxima en torno al 20 %.

Aunque la dirección es estable en los tres casos, observándose una clara componente Este o la Sureste típica orográfica; la predicción de la intensidad es insuficiente.

Visualizando como ejemplo las gráficas del 19 de junio, podemos ver que el modelo no previene los cambios bruscos en la intensidad, sino que mantiene una predicción con una media continua superior en la mayoría de los casos en la observación real.

Situación que se repite en los otros dos casos, en los que el 100 % de los puntos de predicción que discrepan de la observación lo hacen por exceso.

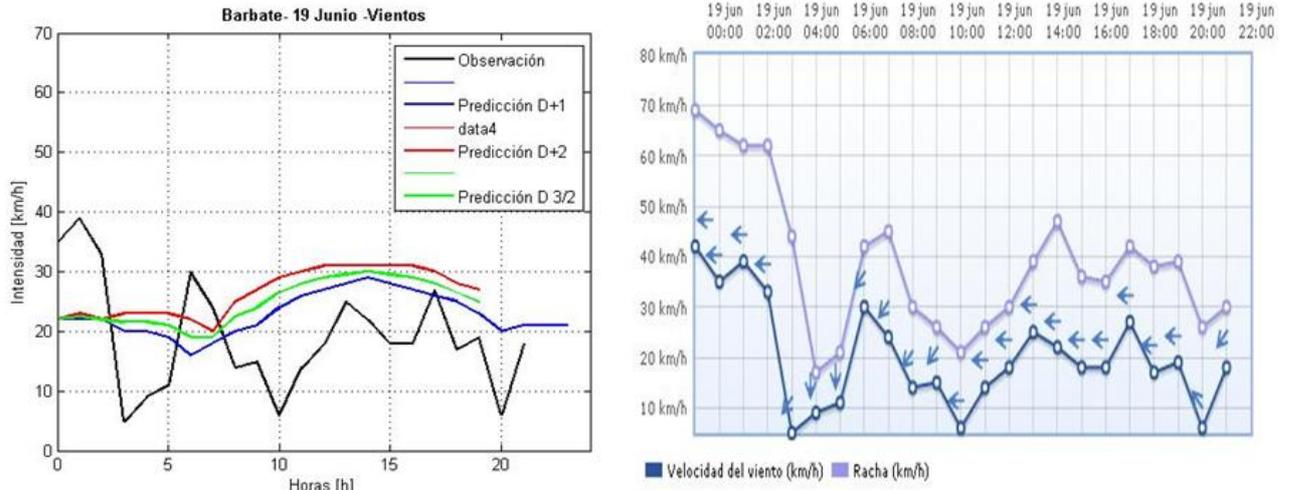


Figura 5-1. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 19 de junio.

En contraposición a los días mencionados anteriormente, encontramos los días **11 de abril, 20 de abril, 21 de mayo, 25 de mayo y 27 de mayo**. En los cuales se observan predicciones mucho más precisas que las anteriores, llegando al 60 %-70 %. Y en las cuales la importancia de la predicción de “D+1” y de “D+2” es muy similar.

Cabe señalar la presencia de las brisas, tanto la nocturna, como la diurna. Que se presentan variando la dirección hacia el norte en las primeras horas de la madrugada y hacia el sur al empezar la tarde, aumentando bastante la intensidad del viento durante este tramo horario. Fenómeno que se hace presente en estos tres días, no solo en el expuesto como ejemplo y los cuales coincide que la mayoría de los errores se producen porque la predicción no se ajusta bien a la brisa diurna, produciéndose errores de subpredicción durante este tramo horario.

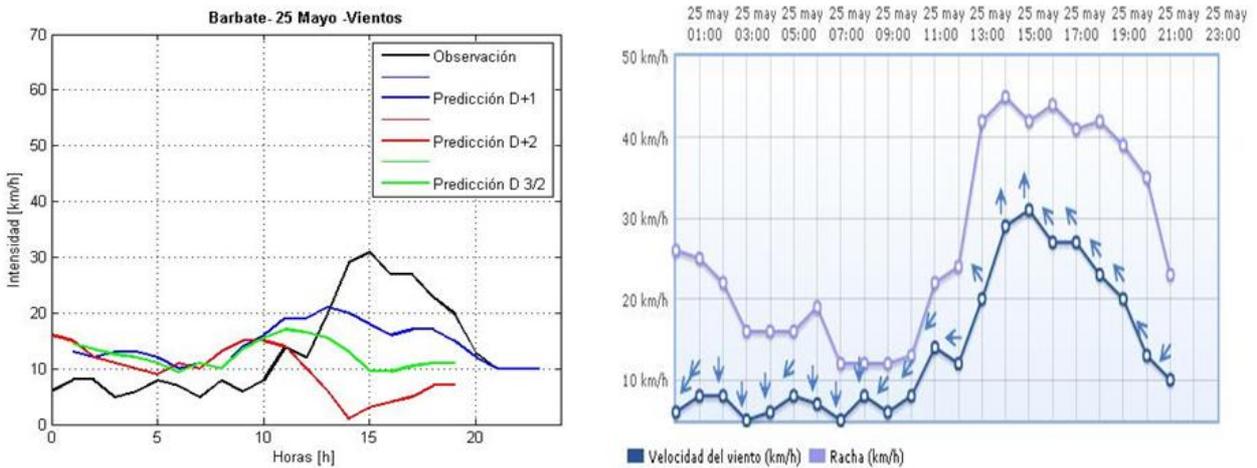


Figura 5-2. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 25 de mayo.

En los días **10 de abril, 24 de mayo y 20 de junio** se aprecia la predominancia de la tasa de acierto del “D+2” con valores del 50 %-60 %. En estos días, a pesar de haberse caracterizado como levante hay una fuerte presencia de viento del norte el 10 de abril, a primeras horas de la mañana. Y de viento del sur por la tarde del 20 de junio. Consecuencia de que las predicciones se adapten mejor a la brisa de tarde, pero que la el ajuste general sea más pobre que en el caso contrario. Se observa también que en estos casos la mayoría de los errores del modelo se producen por sobrepredicción.

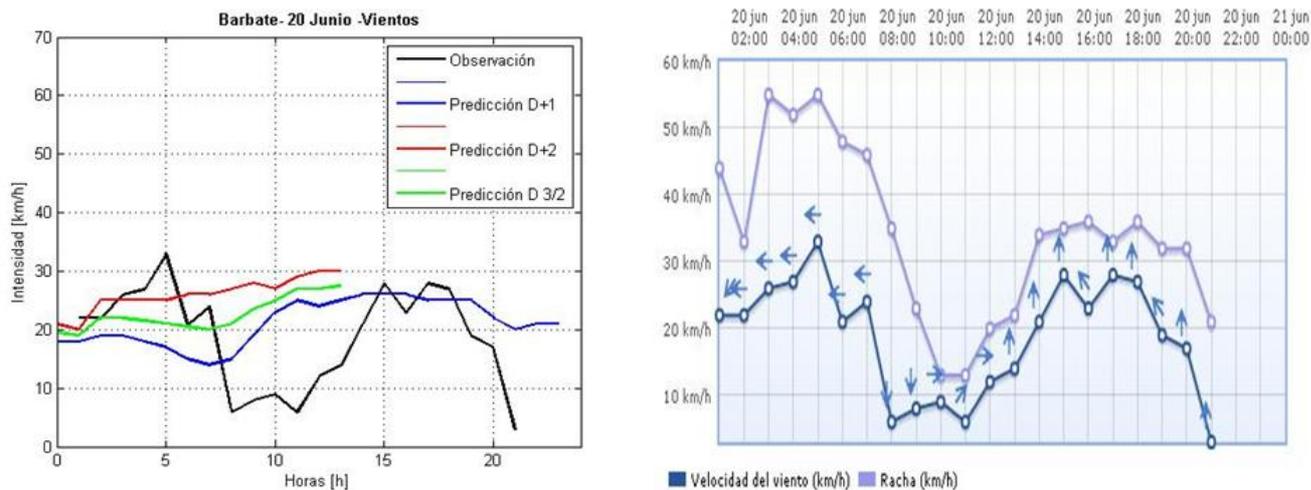


Figura 5-3. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 20 de junio.

5.1.1.2 Viento flojo-moderado

Del conjunto de 11 días que componen esta clasificación solo dos de ellos: el **10 de mayo** y el **17 de mayo** no cumplen los requisitos para considerar sus predicciones como aceptables. En ambos casos el modelo no consigue adaptarse a las variaciones de intensidad inducidas por las brisas, quedándose por encima de la observación durante el tramo correspondiente a la brisa nocturna y por debajo en la brisa diurna. Lo que da lugar a una tasa de aciertos muy baja, alcanzado apenas el 20 %-30 %.

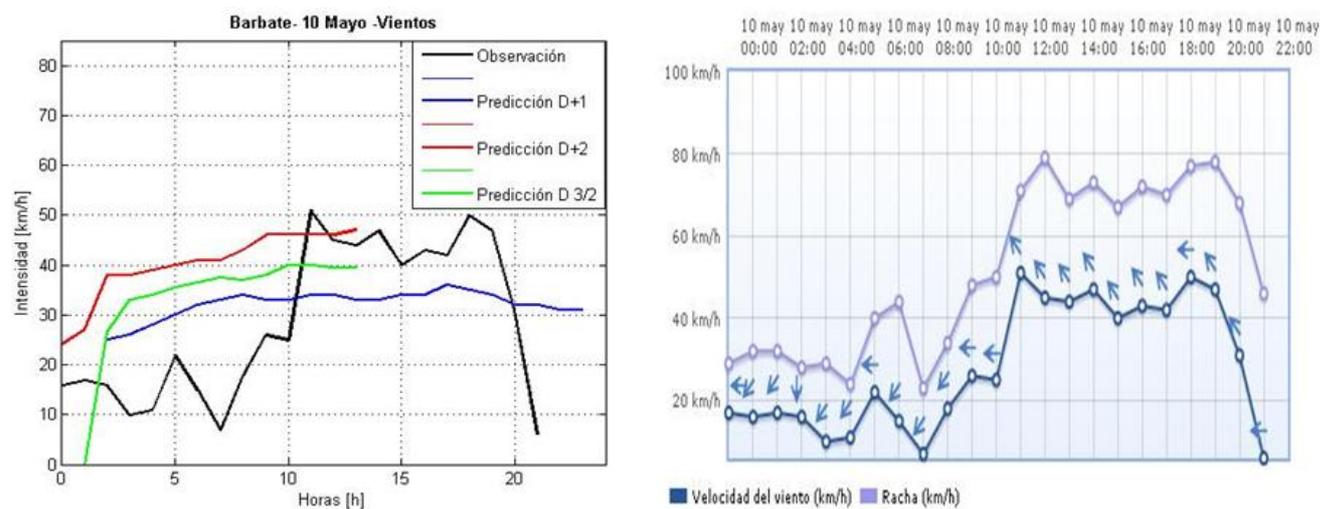


Figura 5-4. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 10 de mayo.

Para los días **16 de mayo**, **17 de junio** y **18 de junio**, en los que se visualizan ciertos cambios bruscos en los valores de intensidad no hay ninguna predicción que despunte con respecto a las otras. Siendo las tres predicciones muy similares entre sí, con un valor medio en las tasas de aciertos del 50 %, produciéndose la mayoría de errores del modelo por efectos de subpredicción.

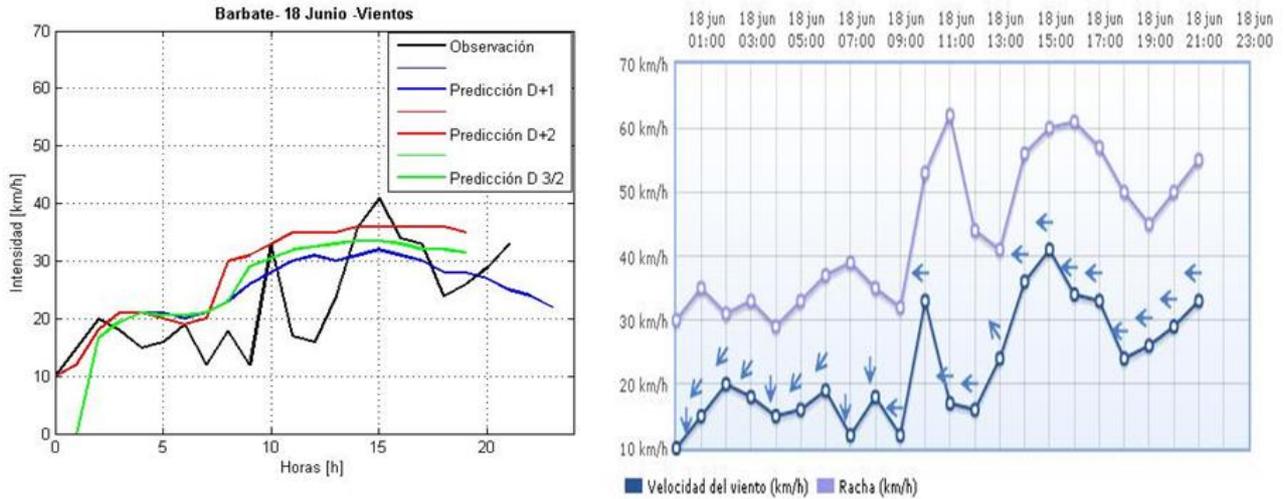


Figura 5-5. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 18 de junio.

Solo en el **12 de abril** vemos como la predicción del “D+2” es ligeramente superior al resto. Produciéndose errores por sobrepredicción en el tramo correspondiente a la brisa nocturna y subpredicción en el correspondiente a la brisa diurna. La tasa de aciertos es del 65 %.

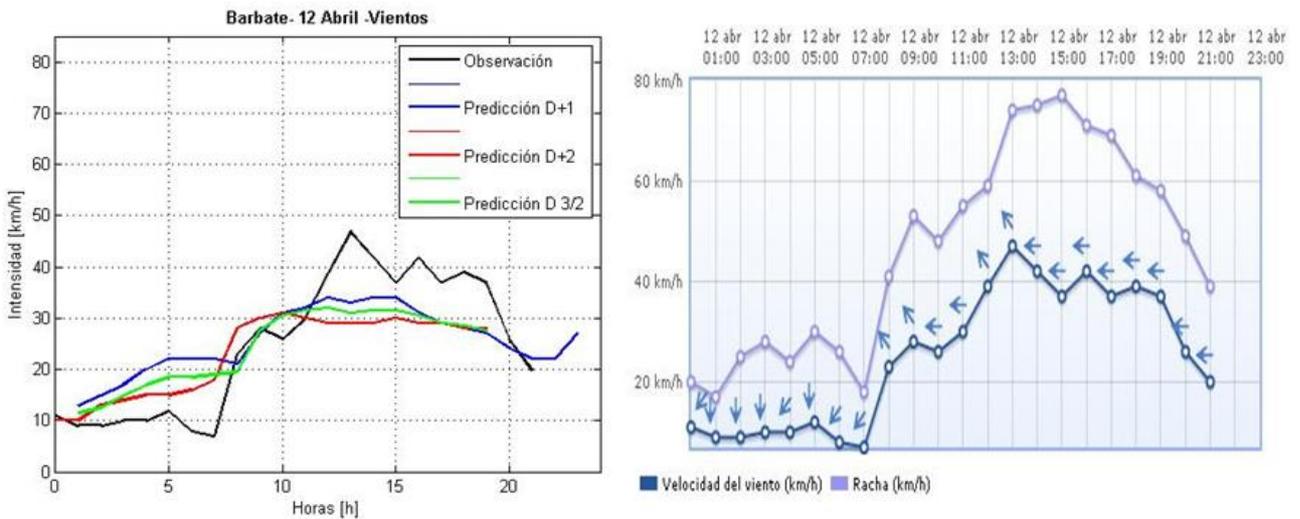


Figura 5-6. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 12 de abril.

A pesar de todo lo descrito anteriormente, existe un patrón predominante para este caso y ese es el azul. Puesto que en los días **2 de abril**, **6 de abril**, **18 de mayo**, **22 de mayo** y **23 de mayo** las predicciones del “D+1” son las más precisas. Con una tasa de acierto media del 50 %.

A su vez nos encontramos con dos situaciones distintas. La primera y similar a la que hemos visto en otros apartados, el modelo mantiene un valor medio a lo largo del día entero sobreprediciendo la observación a primeras horas de la mañana y sobreprediciendo por la tarde. Situación que se repite los 3 primeros días.

Sin embargo, se da una peculiaridad en los días 22 y 23 de mayo, en los que el modelo sobrepredice a la observación durante toda la serie temporal.

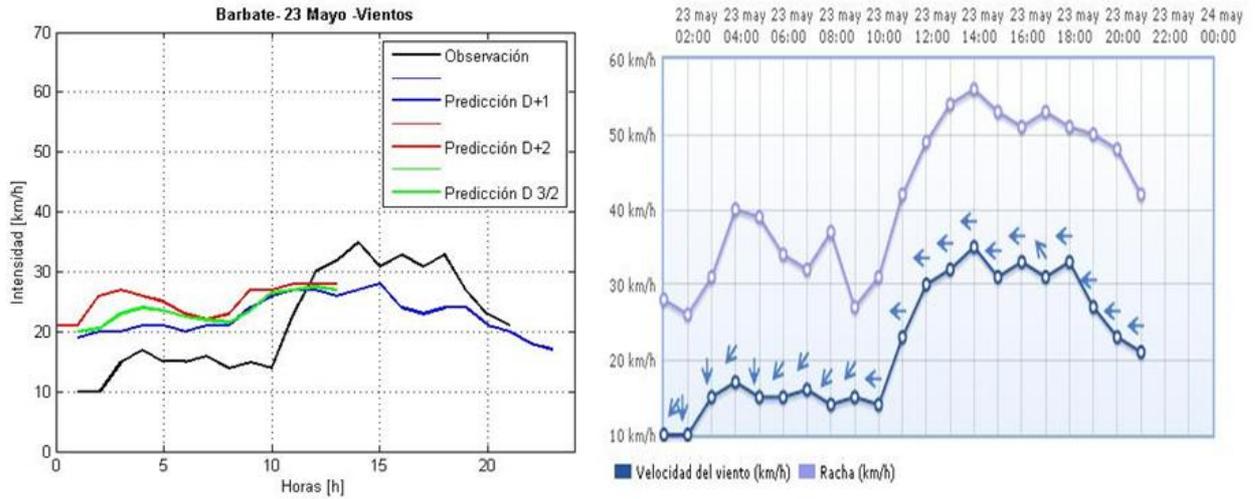


Figura 5-7. Ejemplo de patrón azul. Situación 1. Barbate, 23 de mayo.

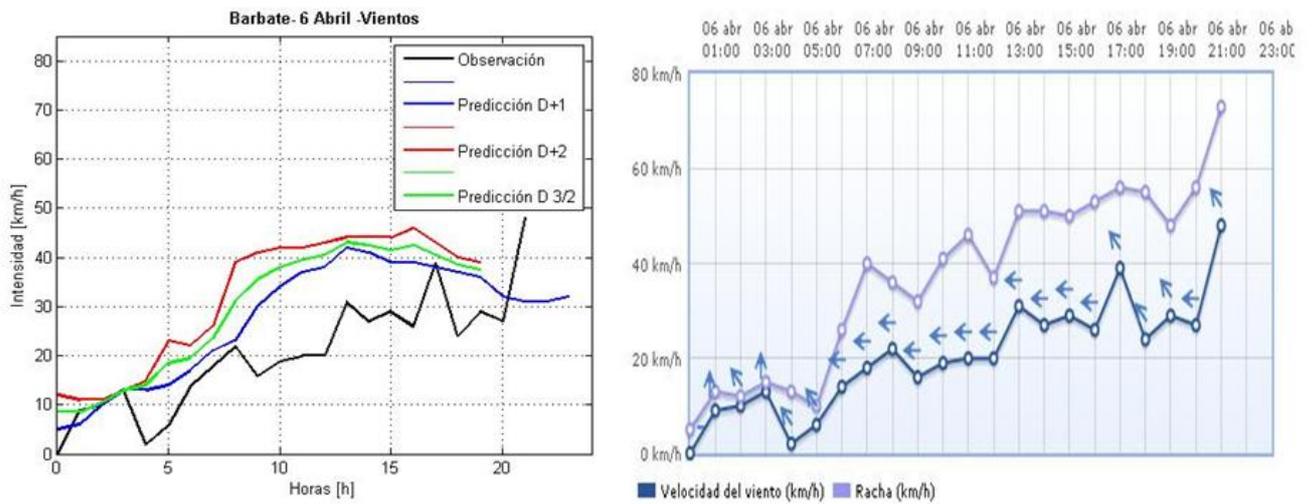


Figura 5-8. Ejemplo de patrón azul. Situación 2. Barbate, 6 de abril.

5.1.1.3 Viento moderado

El **7 de abril** y el **28 de mayo** la predicción “D+1” resulta ser más precisa que el resto, alcanzando el 80 % y el 65% de aciertos en cada caso. Sin embargo esta vez, los errores no se producen en los tramos en los que típicamente encontramos las brisas, sino en las transiciones como podemos ver en el siguiente ejemplo, donde generalmente se produce una sobrepredicción.

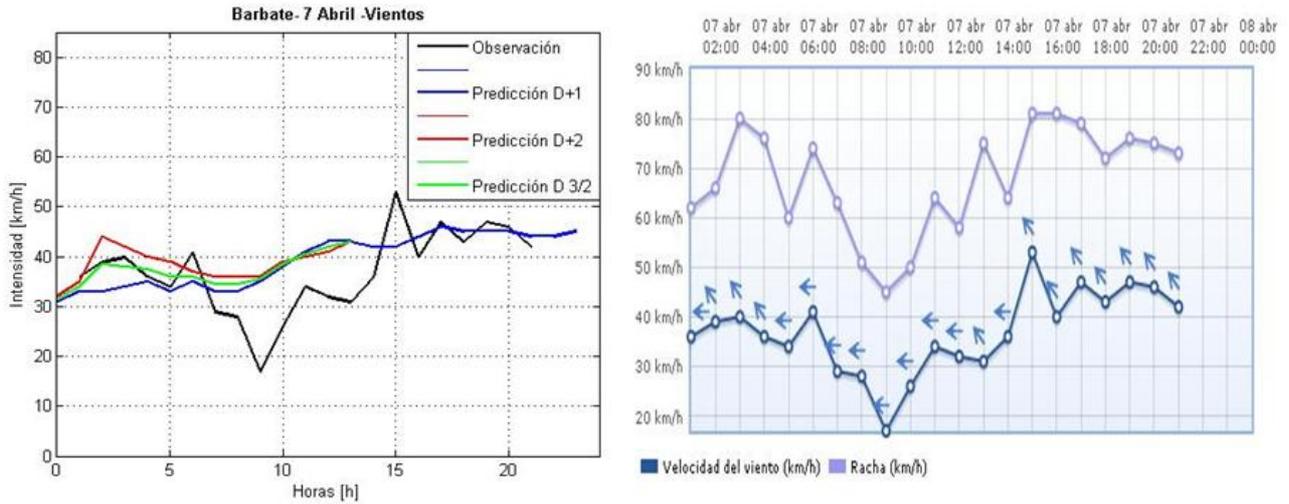


Figura 5-9. Ejemplo de patrón azul. Barbate, 7 de abril.

Encontramos que la predicción “D+2” es superior los días **13 de abril** y el **14 de abril** con un 60 %-70 % de acierto. En los que ambos presentan varios picos de intensidad a lo largo del día y la mayoría de los errores producidos por una subpredicción de la intensidad.

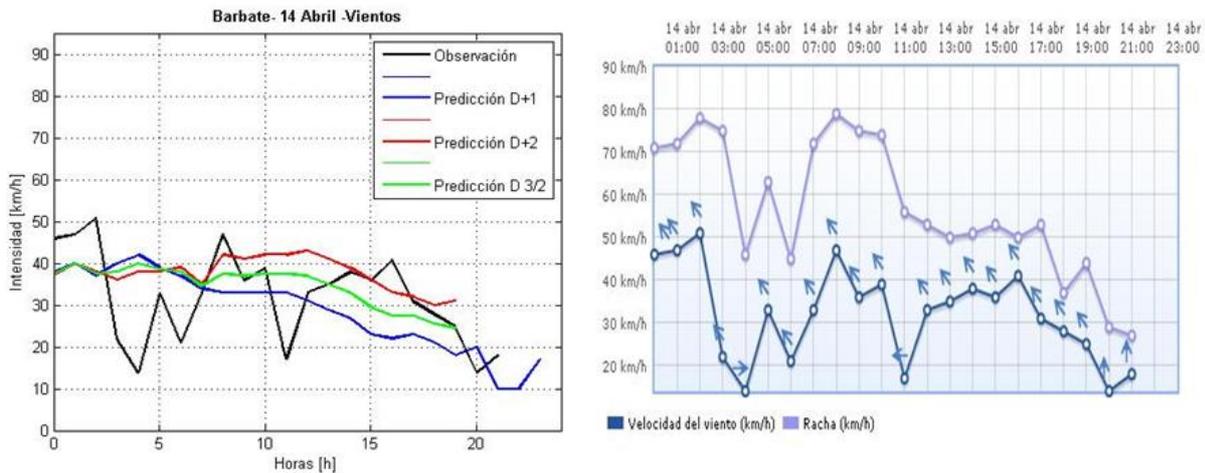


Figura 5-10. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 14 de abril.

5.1.1.4 Viento moderado-fuerte

Los vientos muy intensos no suelen encontrarse en Barbate, es por ello que solo tenemos un día de estudio en el que se produce este fenómeno. El día **8 de abril**, donde el modelo se comporta excepcionalmente bien, acertando en un 100 % en las tres predicciones estudiadas.

Se debe mencionar, que para este día los datos de observación eran muy escasos, por lo cual puede considerarse la idea de que la muestra no fuera lo suficientemente significativa como para tenerla en cuenta. Y al no tener más muestras de otros días, por tratarse de una situación muy inusual no hay forma de contrastar esta teoría.

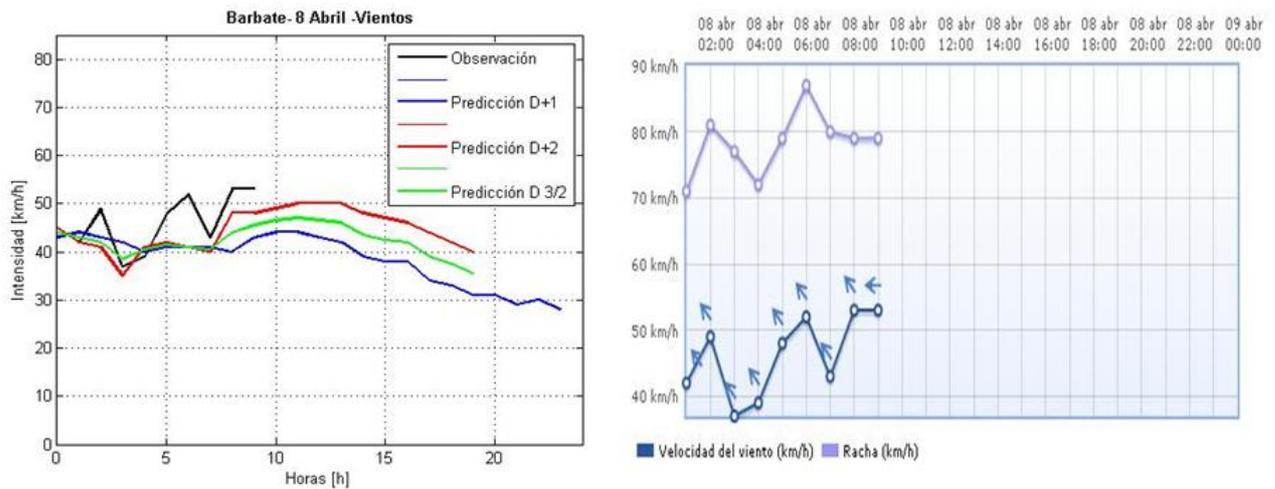


Figura 5-11. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 8 abril.

5.1.2 Dirección principal: Oeste

5.1.2.1 Viento muy flojo

Solo poseemos un día que registre los vientos muy flojos con origen oeste: el **17 de abril**. Donde podemos observar la perfecta adaptación del modelo durante las primeras horas de la mañana, las correspondientes a la brisa de noche. Mientras se produce una subpredicción a partir del aumento de intensidad potenciado por la brisa día. A pesar de ello, la predicción del “D+2” despunta con una tasa de aciertos de un 95 %.

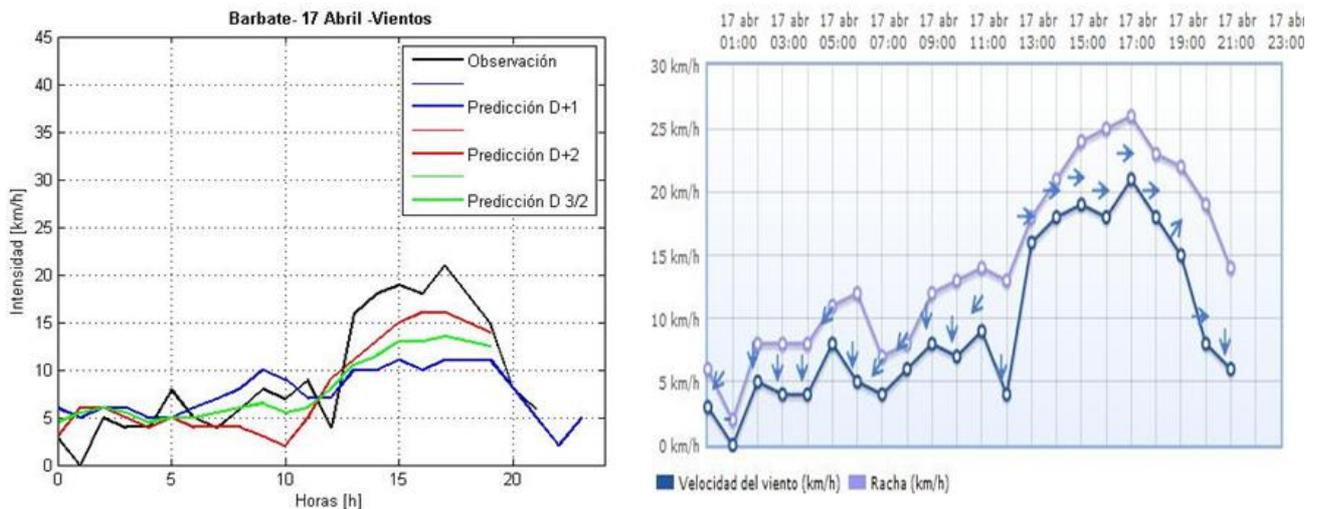


Figura 5-12. Ejemplo de patrón verde. Barbate, 17 de abril.

5.1.2.2 Viento flojo

Recordando la analogía del tubo de Venturi en la zona del estrecho, sabemos que la situación geográfica de Barbate es coincidente con el punto donde el perfil de velocidades es más débil, tanto para levante como para poniente. Es lógico, por tanto, que dentro de esta clasificación sea este apartado el que más días de estudio dispone. Llegando a los 19 días de estudio de vientos de poniente con intensidad floja.

Solo uno de esos 19 días no entra de los límites tolerables para considerar válida la predicción, el día **20 mayo**. Ciertamente es que este día es un poco inusual, teniendo en cuenta que no nos encontramos con un aumento creciente de la intensidad asociado a la suavidad de la brisa de noche, que luego potencia la brisa de tarde. Sino que nos encontramos con un comportamiento opuesto, donde vemos que el día comienza con vientos intensos para luego ir decreciendo.

Ni que decir tiene que el comportamiento del modelo deja bastante que desear, llegando en el mejor de los casos al 30 % de precisión.

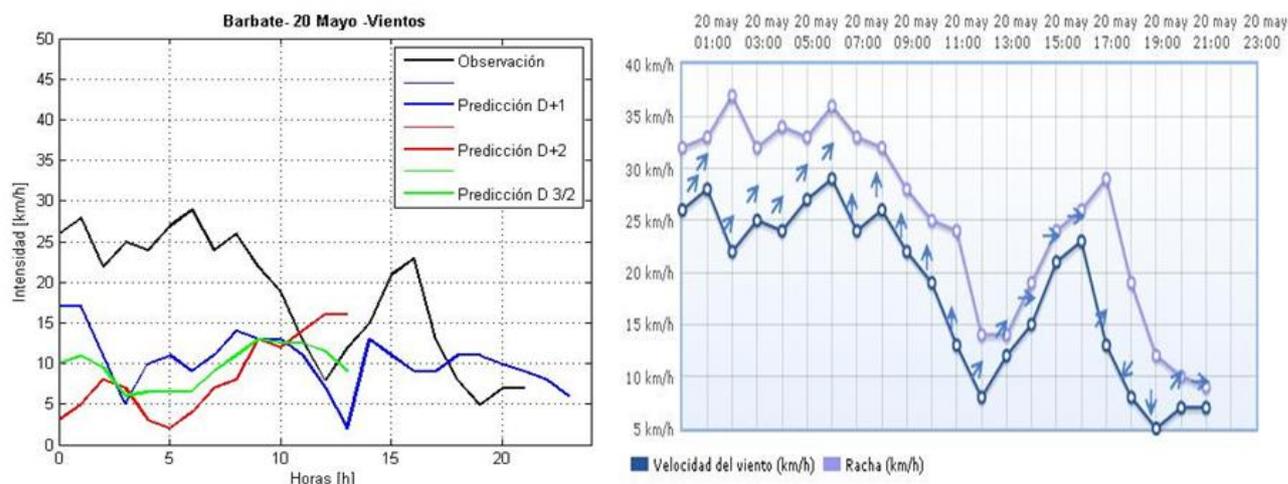


Figura 5-13. Ejemplo de patrón rojo. Barbate, 20 de mayo.

El patrón predominante, sin embargo es el negro, con tasas de acierto similares para la predicción “D+1” y la “D+2” con valores cercanos al 70 %. Los días **16 de abril, 18 de abril, 19 de mayo, 13 de junio, 14 de junio, 23 de junio y 24 de junio**, el modelo se adapta muy bien en la mayoría de los casos, ya que los picos de intensidad asociados a las brisas no suelen ser muy acentuados. A excepción de un par de casos puntuales donde los errores suelen producirse por sobrepredicción de la brisa de noche y subpredicción de la brisa de día, como es habitual en esta estación.

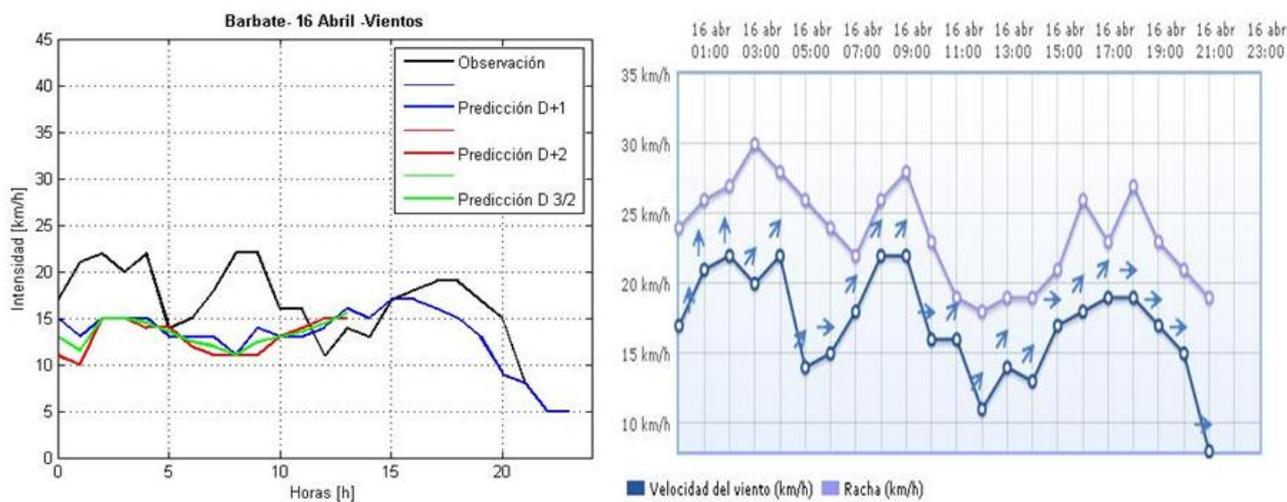


Figura 5-14. Ejemplo de patrón negro. Barbate, 16 de abril.

En los días **19 de abril, 29 de abril, 8 de mayo, 15 de mayo y 16 de junio**, la tasa de acierto del “D+1” es superior al resto con una media del 60 %. Generándose el mayor número de fallos en los tramos horarios en los que actúan las brisas.

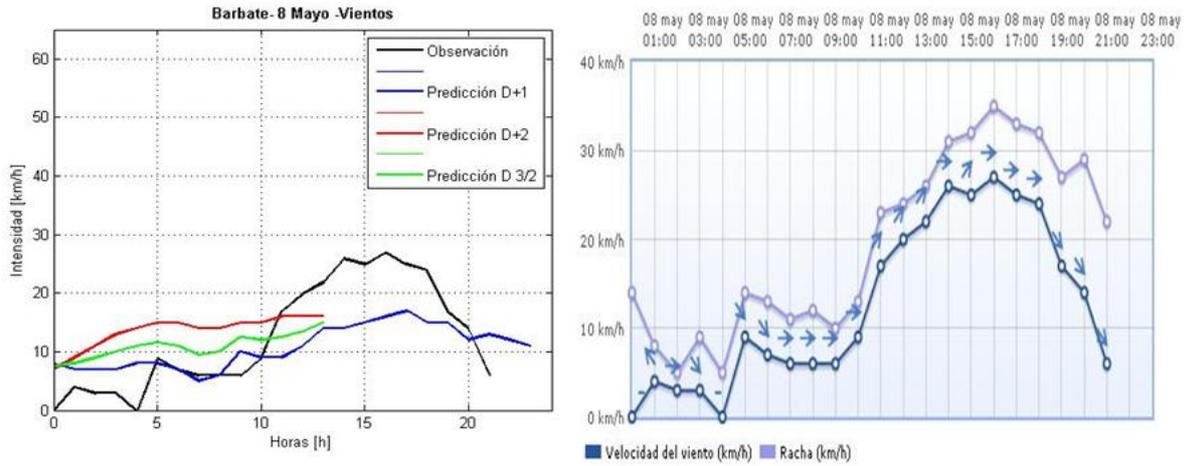


Figura 5-15. Ejemplo patrón azul. Barbate, 8 de mayo.

Durante los días **28 de abril, 6 de mayo, 15 de junio y 22 de junio**, la predicción más acertada es la del “D+2”. Con una tasa de acierto del 65 %.

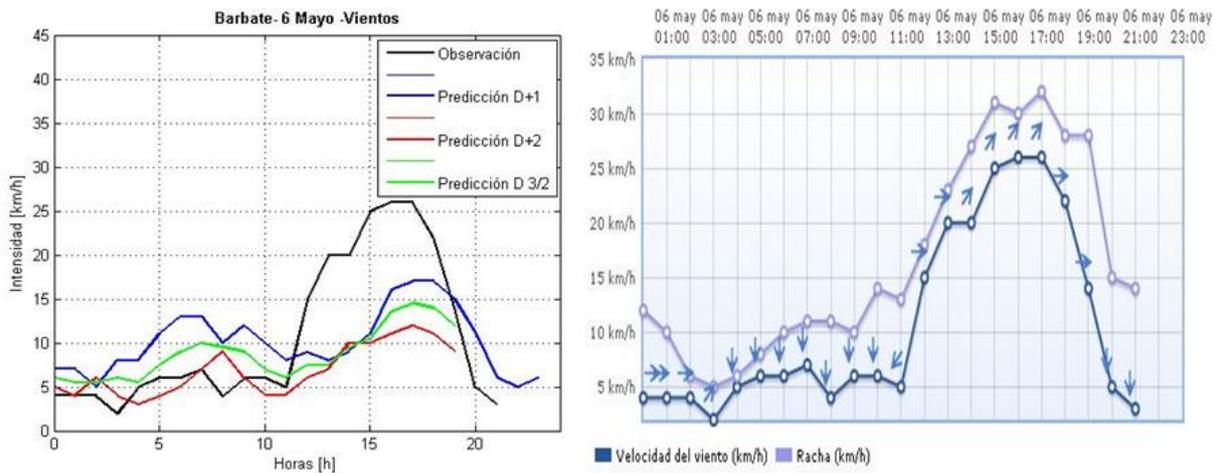


Figura 5-16. Ejemplo patrón verde. Barbate, 6 de mayo.

En menor medida, pero también digno de mención, por primera vez aparece de forma significativa el patrón morado. El cual indica que la predicción más acertada es el “D+3/2” en el día **5 de mayo**.

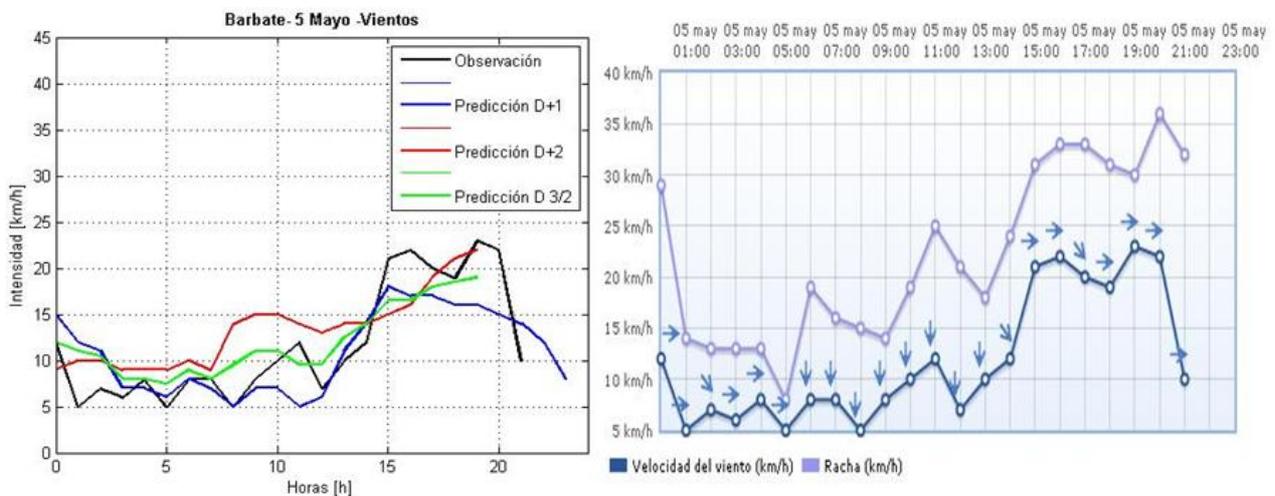


Figura 5-17. Ejemplo de patrón morado. Barbate, 5 mayo.

5.1.3 Dirección principal: Otros

En esta categoría se incluyen principalmente aquellos vientos con cambios bruscos de dirección que en principio no puedan asociarse a fenómenos conocidos, como brisas o influencia orográfica. Es por ello, que suelen asociarse a intensidades bajas o muy bajas, ya que la ausencia del levante o del poniente hace que se pierda el efecto orográfico que genera el estrecho al aumentar el perfil de velocidades.

La aleatoriedad de la dirección y la baja intensidad del viento generan el mismo efecto en las predicciones de nuestro modelo numérico. Lo que no nos deja otra opción que utilizar la estadística y elegir los patrones de comportamiento más repetitivos en cada uno de los casos, sin dar lugar a comentarios sobre la influencia orográfica o de brisas, que si permitían los dos puntos anteriores.

5.1.3.1 Viento muy flojo

En los días **15 de abril**, **1 de mayo** y **21 de junio** encontramos un comportamiento magnífico de la predicción “D+1”, con una tasa de aciertos mayor o igual al 70 %.

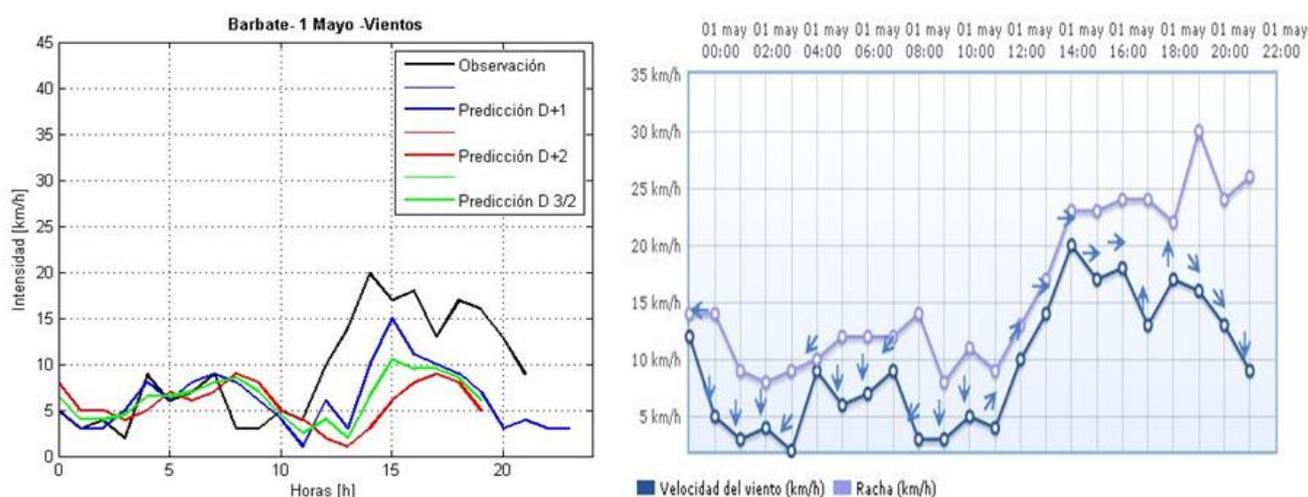


Figura 5-18. Ejemplo de patrón azul. Barbate, 1 de mayo.

Si analizamos los días **3 de mayo** y **4 de mayo** el porcentaje de precisión que sobresale es el correspondiente a la predicción del “D+3/2” que alcanza el 85 %. Aunque si lo estudiamos detenidamente, podemos observar que la adaptación de las tres predicciones entre las 0:00 y las 13:00 horas es muy similar. Lo cual quiere decir, que quizá sería más útil quedarnos con la predicción de “D+1”, porque no pierde información acerca de las primeras horas y nos aporta cierto respaldo, a pesar de que este no sea de todo acertado del resto de las horas.

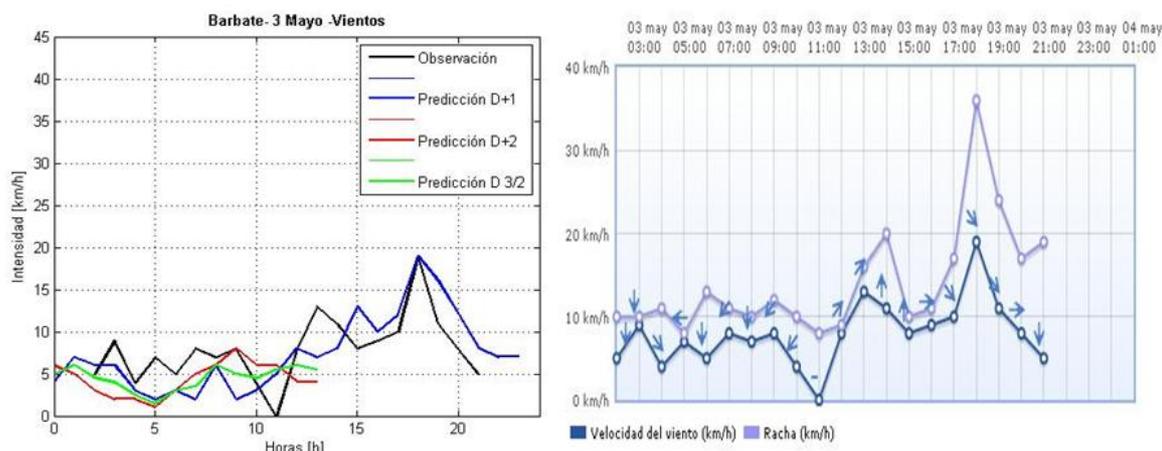


Figura 5-19. Ejemplo de patrón morado. Barbate, 3 de mayo.

5.1.3.2 Viento flojo

Encontramos que el modelo de viento no es suficientemente bueno en los días **3 de abril** y **7 de mayo**, donde ninguna de las predicciones supera el 40 % de de aciertos.

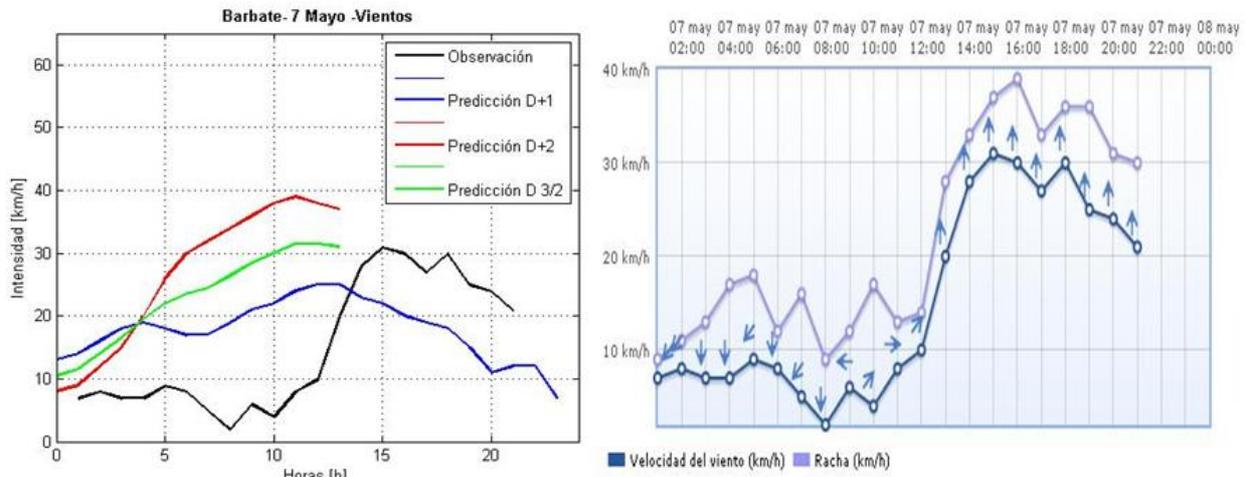


Figura 5-20. Ejemplo patrón rojo. Barbate, 7 de mayo.

El **9 de mayo** y el **26 de mayo**, podemos observar como las tres predicciones se asemejan mucho entre sí. Aportando resultados muy similares y con unas tasas de acierto medias en torno al 60 %. Observando bien la representación gráfica podemos percatarnos de que es común que los puntos discrepantes de la predicción se encuentren por debajo de la observación en la mayoría de los casos, es decir porque se produce una subpredicción.

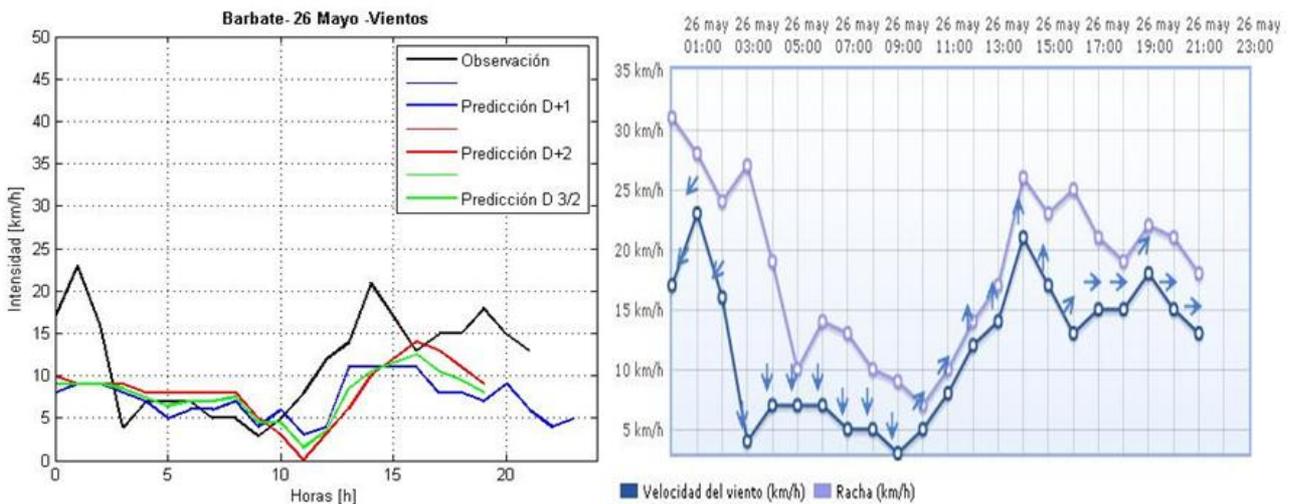


Figura 5-21. Ejemplo patrón negro. Barbate, 26 de mayo.

Finalmente y como más repetitivo encontramos el patrón azul, el cual indica la predominancia de la fiabilidad de la predicción del “D+1” en los días **4 de abril**, **5 de abril** y **2 de mayo**, con tasas de acierto que comprenden valores desde el 50 % hasta el 80 %. Para esta situación es más complicado determinar la posición de los puntos discrepantes, ya que no se produce una repetición clara. Necesitaríamos tomar más días de muestra o asumir esta aleatoriedad.

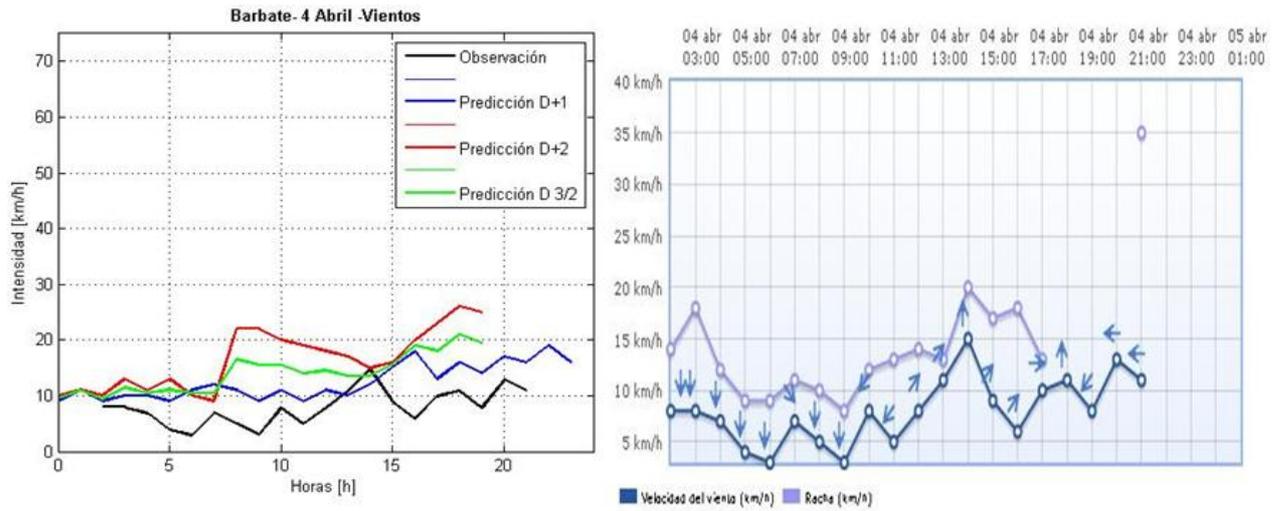


Figura 5-22. Ejemplo patrón azul. Barbate, 4 de abril.

Excepcionalmente tenemos el día **30 de abril**, donde predomina la importancia de la predicción “D+3/2”, con una tasa de acierto del 85 %.

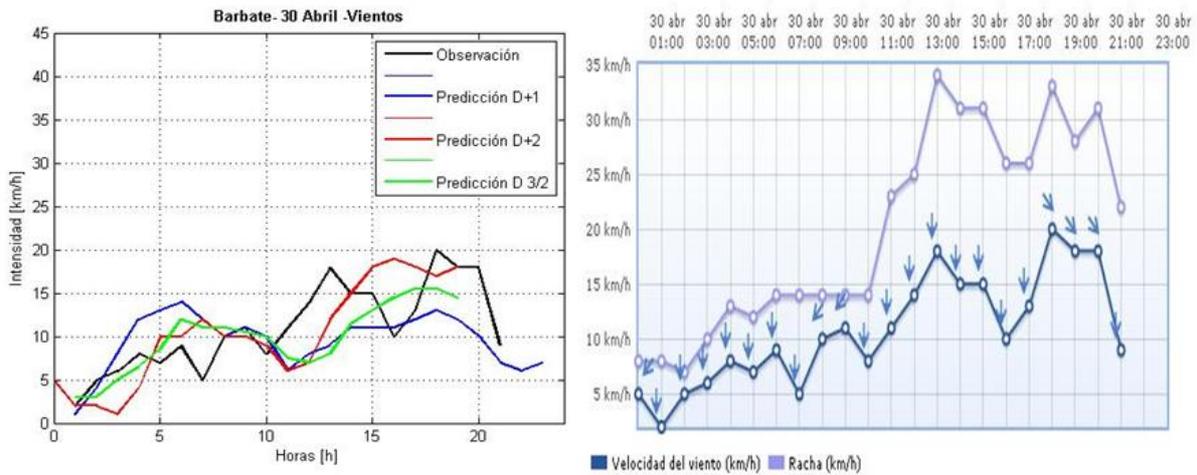


Figura 2-23. Ejemplo patrón morado. Barbate, 30 de abril.

5.2 Ceuta

Al igual que hemos hecho en el apartado anterior, sería conveniente recordar las características principales que suelen tener los vientos en la ciudad de Ceuta.

Debido a su orografía predominarán los vientos de componente sureste cuando soplen vientos de levante y soroeste cuando sean de poniente.

Dichas componentes principales pueden verse afectadas, al igual que en los otros casos por la influencia de las brisas nocturna y diurna. Introduciendo una componente sureste en el tramo horario en el que sopla la brisa de noche y una noroeste en el tramo correspondiente a la brisa de día.

En cuanto a intensidad, los vientos en esta localidad no suelen superar los 20 km/h, exceptuando los picos de intensidad asociados a las brisas. Esto es debido a que la localización de Ceuta la sitúa lejos de la zona más estrecha, donde el perfil de velocidades alcanza su máximo. Formando parte de las paredes del “cono” que genera el relieve y que es el causante de la aceleración del viento en su interior; pero encontrándose alejada de la zona donde las intensidades son más altas.

5.2.1 Dirección principal: Este

5.2.1.1 Viento muy flojo

Para el día **5 de abril** el modelo no se comporta muy bien, dando predicciones que rondan el 30 % de la precisión, o lo que es lo mismo, aportando unas predicciones insuficientes para clasificarlas como tolerables.

En todos los casos vemos que como se produce una sobrepredicción a lo largo de toda la serie temporal.

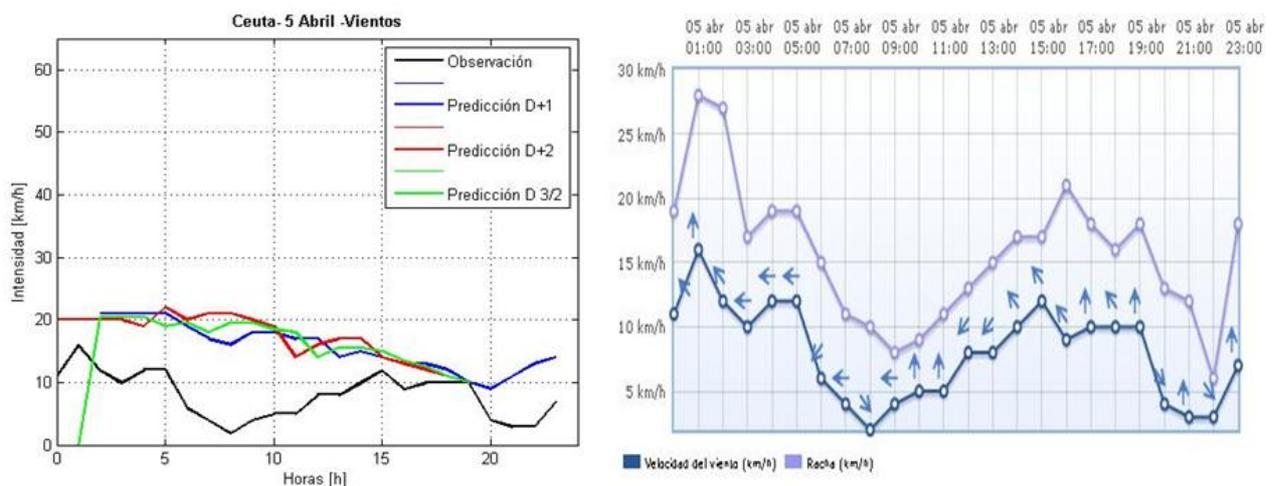


Figura 5-24. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 5 de abril.

Para los días **20 de abril**, **7 de mayo**, **9 de mayo** y **17 de junio**, el comportamiento es bien distinto. Siendo la predicción del “D+1” muy precisa, con unas tasas de acierto que alcanzan valores muy diversos desde el 50 % hasta el 95 %.

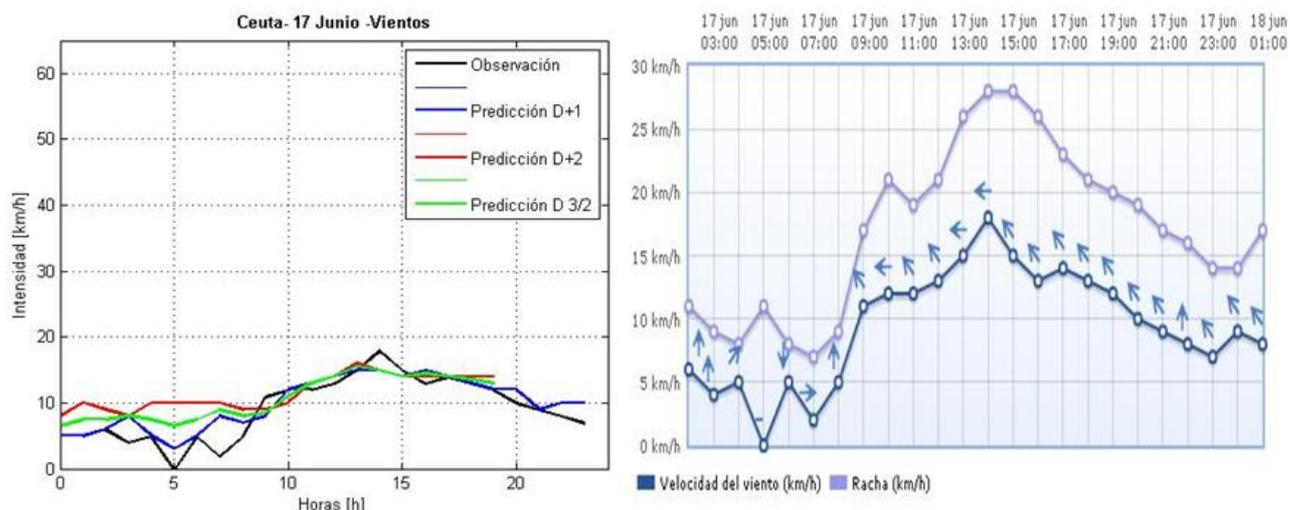


Figura 5-25. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 17 de junio.

Como caso excepcional tenemos el día **25 de mayo**, donde la importancia de la predicción del “D+2” predomina sobre la del “D+1”, con una precisión bastante alta, rondando el 75 %.

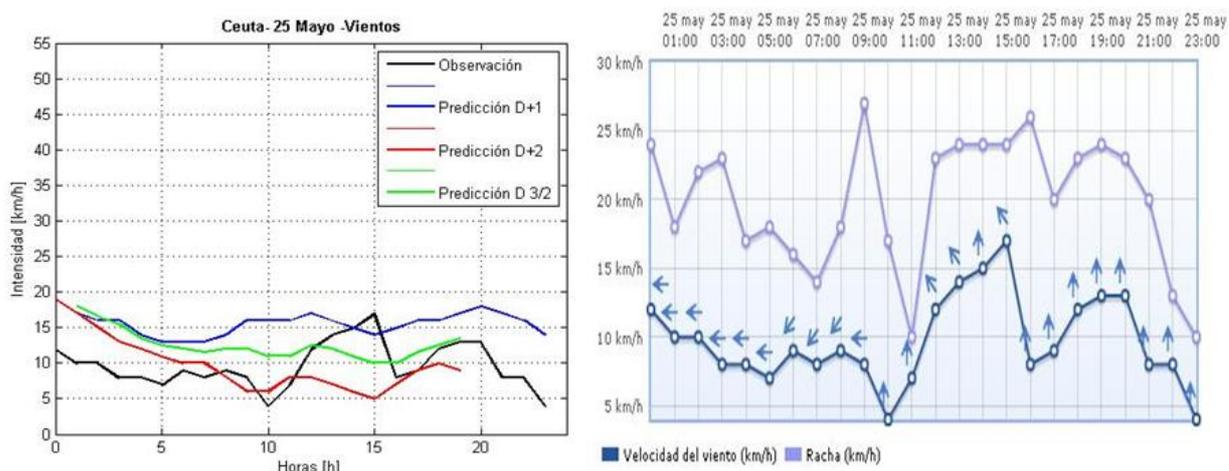


Figura 5-26. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 25 de mayo.

5.2.1.2 Viento flojo

La gran cantidad de días de muestra que poseemos para esta categoría nos permite respaldar nuestras conclusiones de una manera más firme. Y aún más interesante resulta cuando al realizar nuestro estudio descubrimos el siguiente comportamiento del modelo.

Sorprendentemente la respuesta de las tres predicciones del modelo es verdaderamente mala durante la inmensa mayoría de la muestra. Obteniéndose precisiones por muy debajo de los umbrales que hemos determinado como “admisibles”, llegando en algunos casos a encontrarnos con un acierto del 0 %.

Este comportamiento del modelo se repite en los días **2 de abril, 3 de abril, 6 de abril, 7 de abril, 8 de abril, 9 de abril, 13 de abril, 14 de abril, 10 de mayo, 11 de mayo, 17 de mayo, 22 de mayo, 23 de mayo, 24 de mayo y 28 de mayo.**

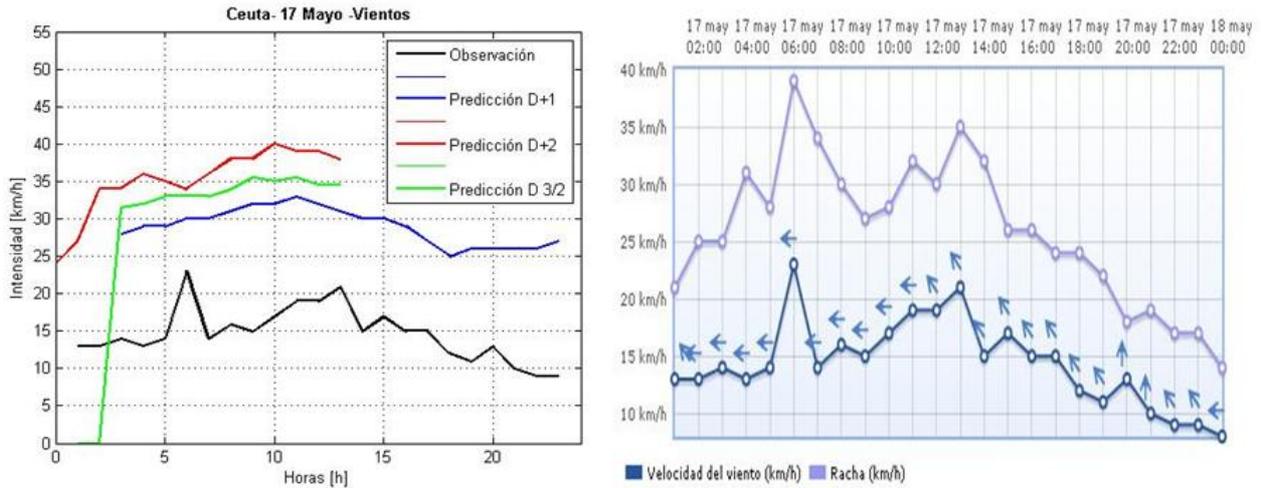


Figura 5-27. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 17 de mayo.

También tenemos los días **4 de abril**, **16 de mayo**, **18 de junio**, **19 de junio** y **20 de junio**, donde afortunadamente el modelo tiene un comportamiento bastante mejor. La predicción del “D+1”, con un acierto 50% de precisión, vuelve a cometer fallos por sobrepredecir la observación.

La diferencia con el caso anterior radica en que en este caso la componente de dirección dominante es la sureste consecuencia de la orografía y no puramente este como pasaba en los casos en los que el modelo falla con tanta asiduidad.

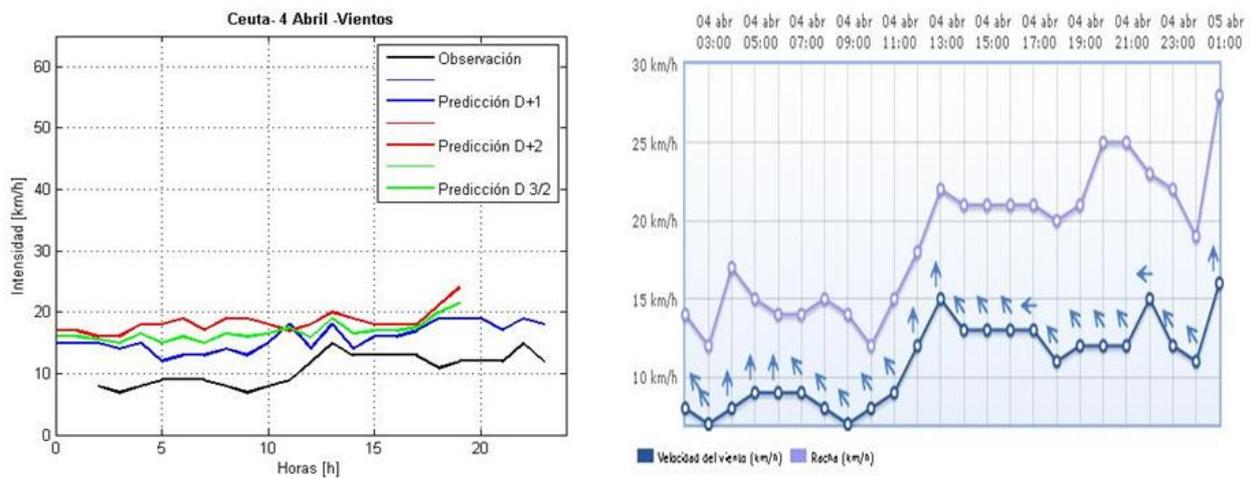


Figura 5-28. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 4 de abril.

Por otro lado tenemos los días **10 de abril**, **12 de abril** y **21 de mayo**, donde la predicción del “D+2” mejora a la del “D+1” con una media de 50 % en la precisión. Al contrario de lo que cabría pensar, la componente más notable cuando valoramos la dirección del viento es puramente este.

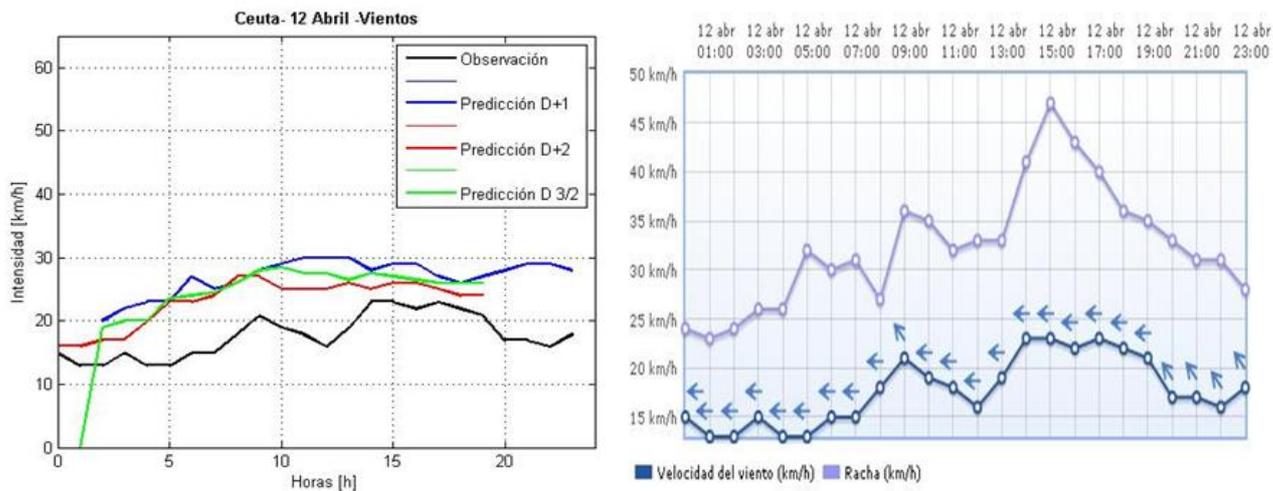


Figura 5-29. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 12 de abril.

Y finalmente el día **11 de abril**, el comportamiento del modelo es ejemplar, llegando a una precisión del 100 % con el “D+1”.

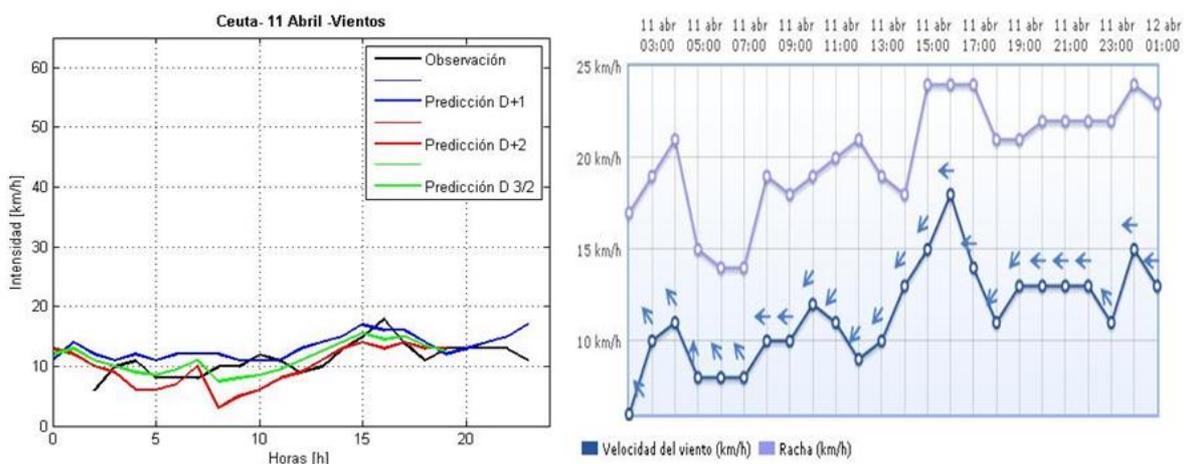


Figura 5-30. Ejemplo patrón negro. Ceuta, 11 de abril.

5.2.2 Dirección principal: Oeste

5.2.2.1 Viento muy flojo

El modelo falla con precisiones inferiores al 40 % en los días **29 de abril, 8 de mayo, 13 de junio, 14 de junio y 15 de junio**. En la mayoría de los casos cometiendo errores por sobrepredicción.

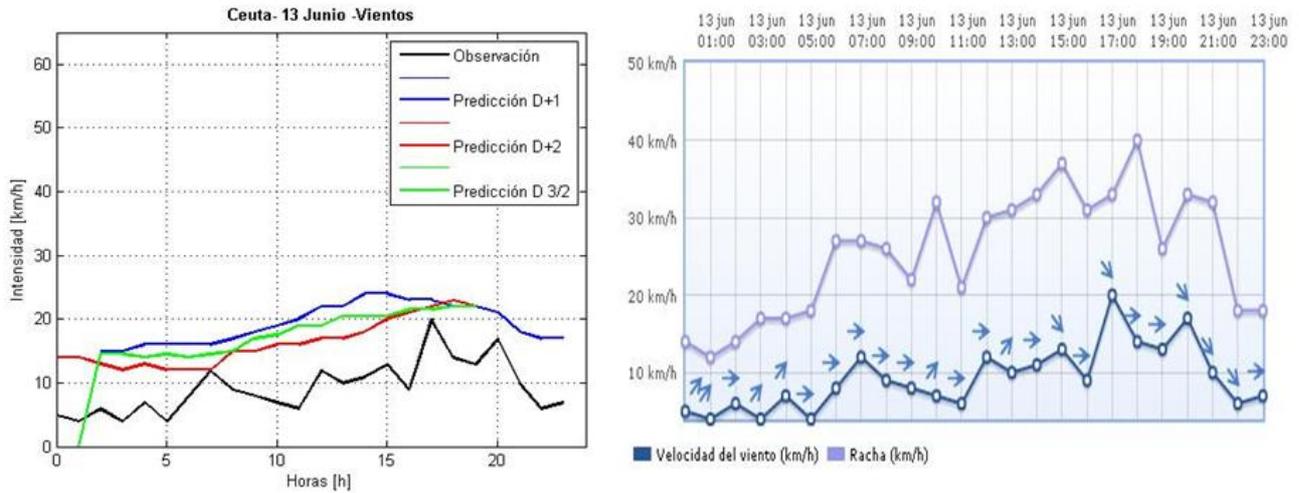


Figura 5-31. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 13 de junio.

Con unas precisiones un poco superiores, abarcando desde el 55 % hasta el 70 % de acierto, tenemos los días **16 de abril, 18 de abril, 19 de abril y 28 de abril**. En cada uno de los días el comportamiento del modelo más óptimo se alcanza con una predicción distinta, lo cual no nos permite establecer la dominancia de ninguno de los patrones.

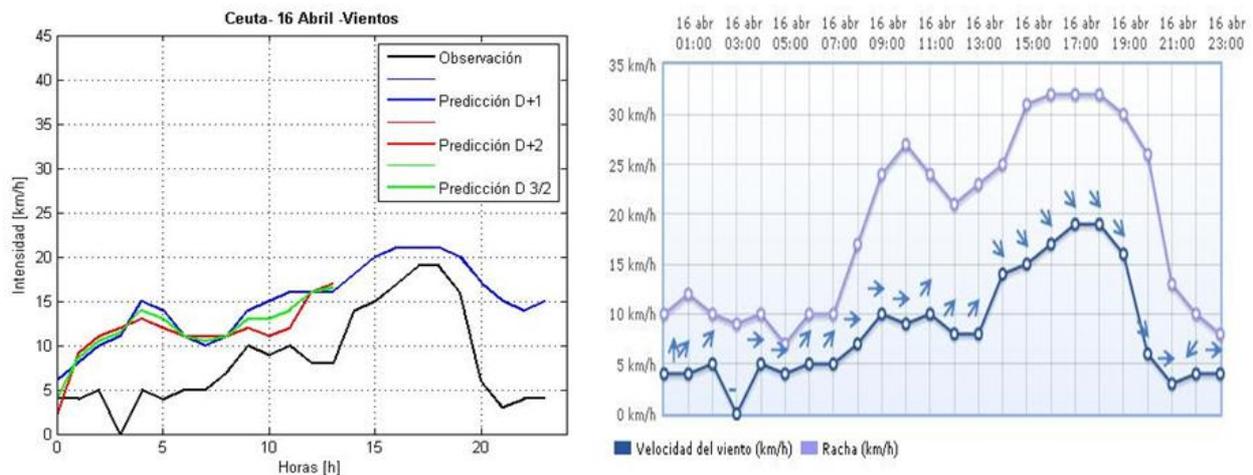


Figura 5-32. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 16 de abril.

Para los días **18 de abril** y **6 de mayo**, la predicción dominante es la “D+1” con una tasa de aciertos del 70 %.

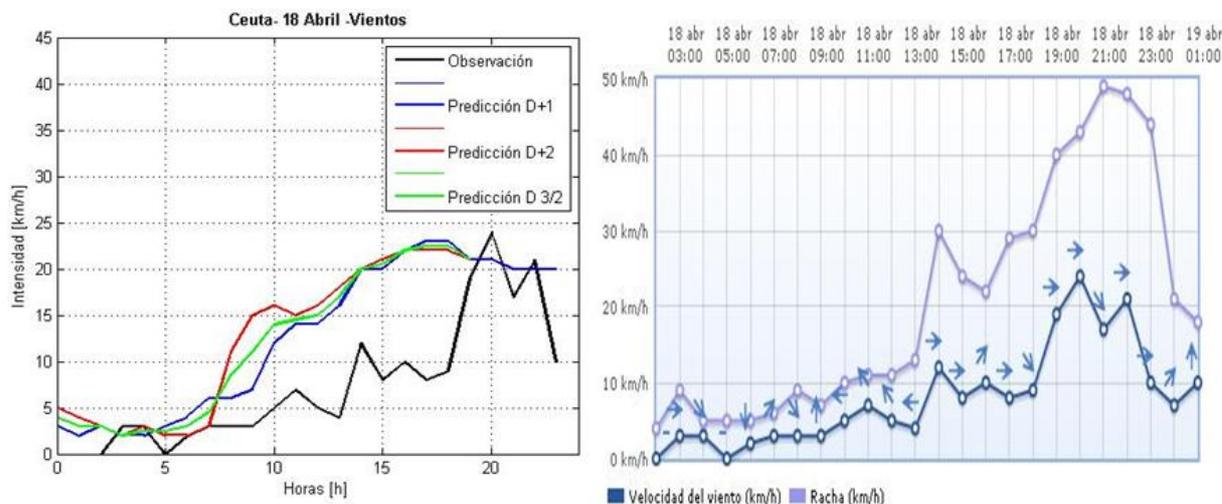


Figura 5-33. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 18 de abril.

5.2.2.2 Viento flojo

Al igual que en el apartado de vientos muy flojos, una vez que excluimos los días en los que el modelo no ofrece una predicción significativa, no se produce repetición del patrón de comportamiento en ninguno de los casos.

Si analizamos los días **15 de mayo** y **23 de junio**, vemos como el modelo no es capaz de superar el 20 % de precisión porque siempre se pasa por exceso en el cálculo de la intensidad.

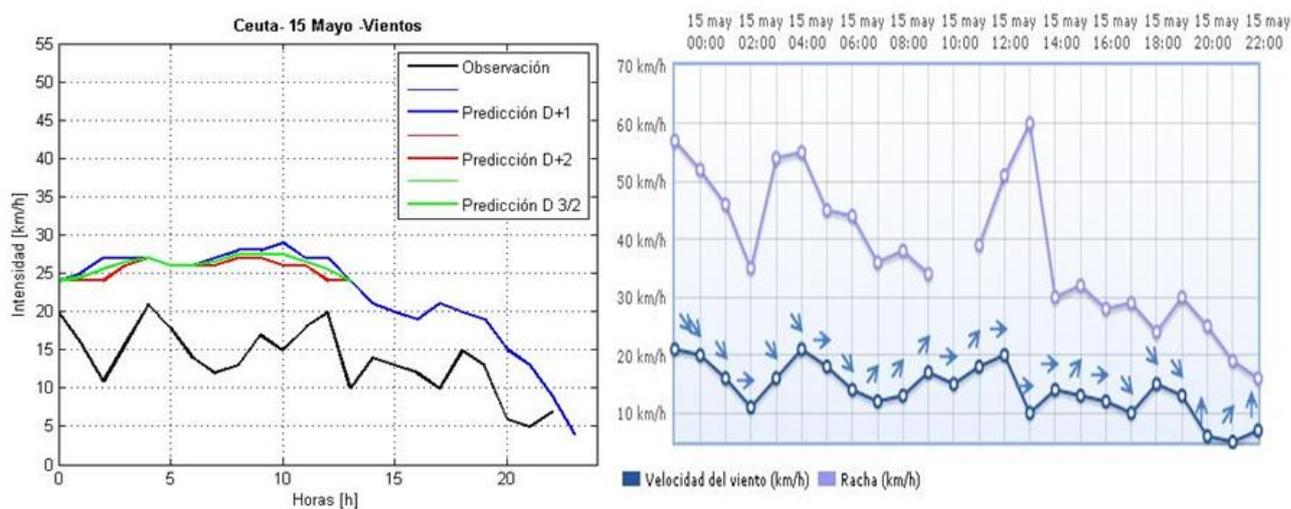


Figura 5-34. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 15 de mayo.

En los días **5 de mayo**, **19 de mayo** y **24 de mayo**, la respuesta que mejor se ajusta en cada caso es el “D+3/2”, el “D+2” y el “D+1” respectivamente, sin que se produzca ninguna repetición, aunque son coincidentes en la precisión, que en los tres casos ronda el 50 %.

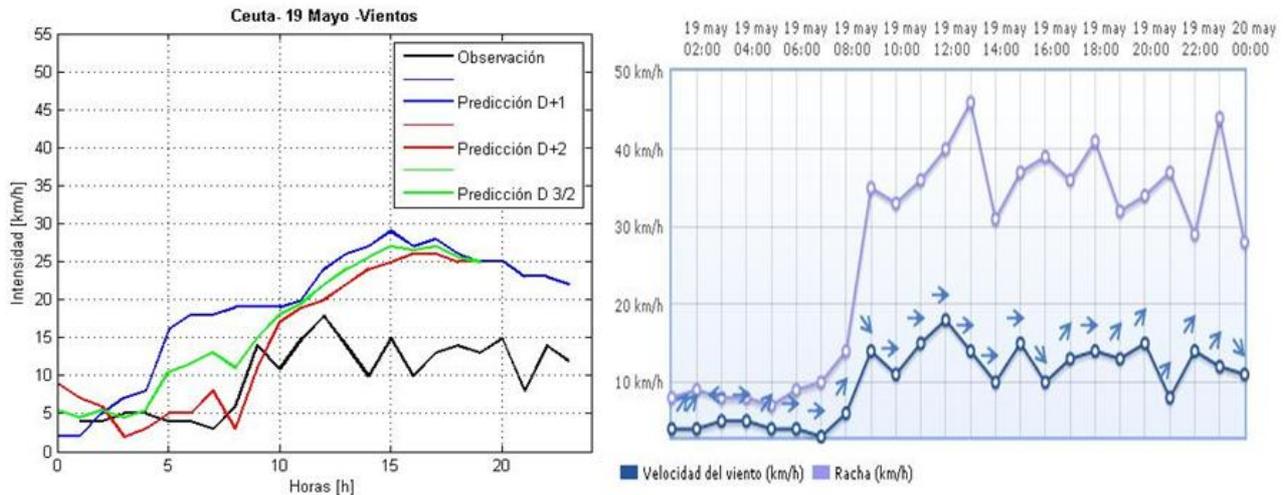


Figura 5-35. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 19 de mayo.

5.2.3 Dirección principal: Otros

Los días clasificados como “otros” son aquellos días en los que la dirección general del viento no puede clasificarse como mayoritariamente Este u Oeste, que como ya sabemos, son las dos direcciones principales de importancia en la zona del estrecho.

La creación de esta tipología tiene como objetivo estudiar como caso independiente aquellos días en los que la influencia de valores externos se haga significativa desviando la dirección principal. Nos referimos principalmente a las brisas, pero no es su influencia lo que encontramos cuando estudiamos la estación de Ceuta.

En estos días de estudio podemos observar la predominancia de una componente Norte, que no concuerda con la influencia de la brisa de tarde como cabría esperar. Ya que esta componente de dirección se mantiene fuera del tramo horario de afección típica de esta brisa y no coincide con el aumento de intensidad que solemos encontrar asociado.

Dicho esto, realmente no se conoce el origen de esta direccionalidad Norte en la estación de Ceuta. Pero la realidad sugiere que esta variación en la dirección favorece y mejora el comportamiento del modelo, siendo mucho más preciso que en las situaciones de levante y poniente.

5.2.3.1 Viento muy flojo

Para la gran cantidad de días de muestra que poseemos solo tenemos un día en los que las predicciones no se consideran tolerables. Este es el día **16 de junio**, donde se alcanzan con dificultad precisiones del 33 %.

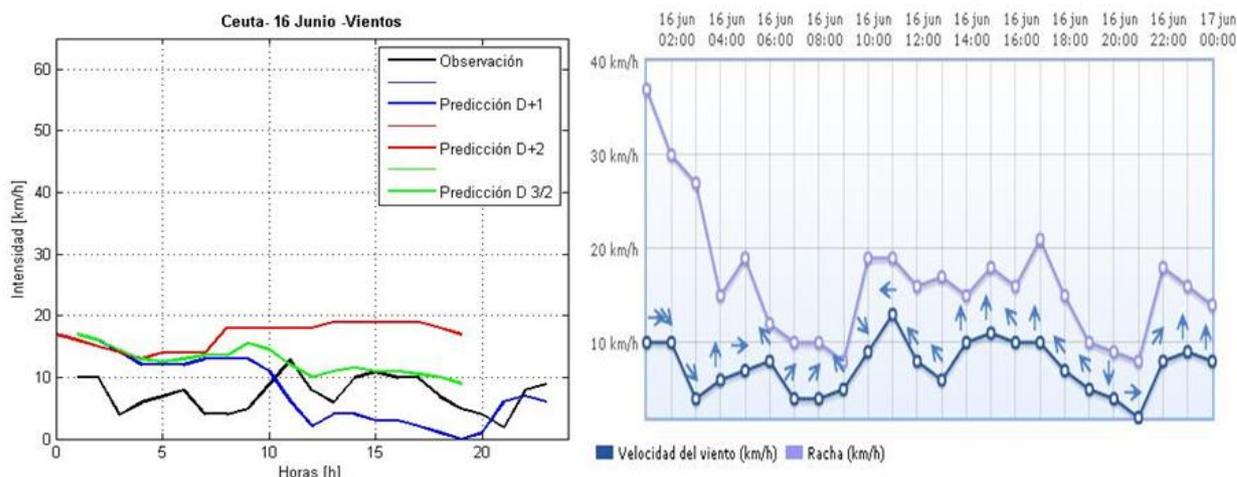


Figura 5-36. Ejemplo patrón rojo. Ceuta, 16 de junio.

Para los **días 15 de abril, 17 de abril y 21 de junio** observamos la influencia dominante de la predicción del “D+1” sobre el resto, llegando a valores de la tasa de acierto del 80 %. Donde la mayoría de los errores se producen por una sobrepredicción entre las 0:00 y las 10:00 horas.

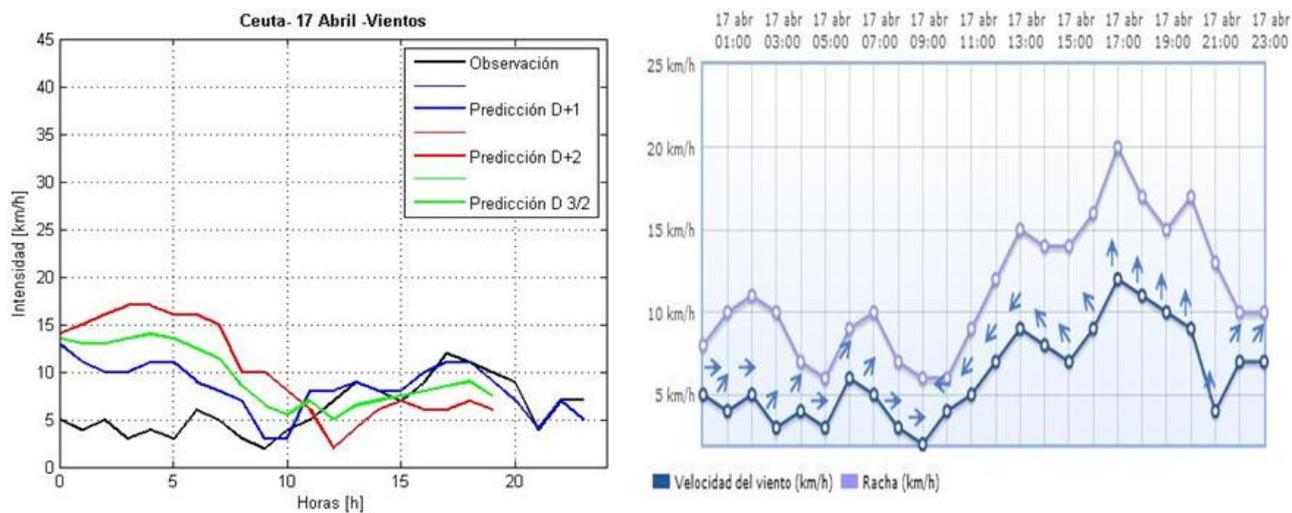


Figura 5-37. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 17 de abril.

Visualizamos una precisión aún mayor, alcanzando el 80 %-90 % en la mayoría de los casos de la mano del “D+2” en los días **4 de mayo, 26 de mayo y 22 de junio**. Repitiéndose de nuevo el hecho, de que los grandes errores se cometen al realizar una sobrepredicción.

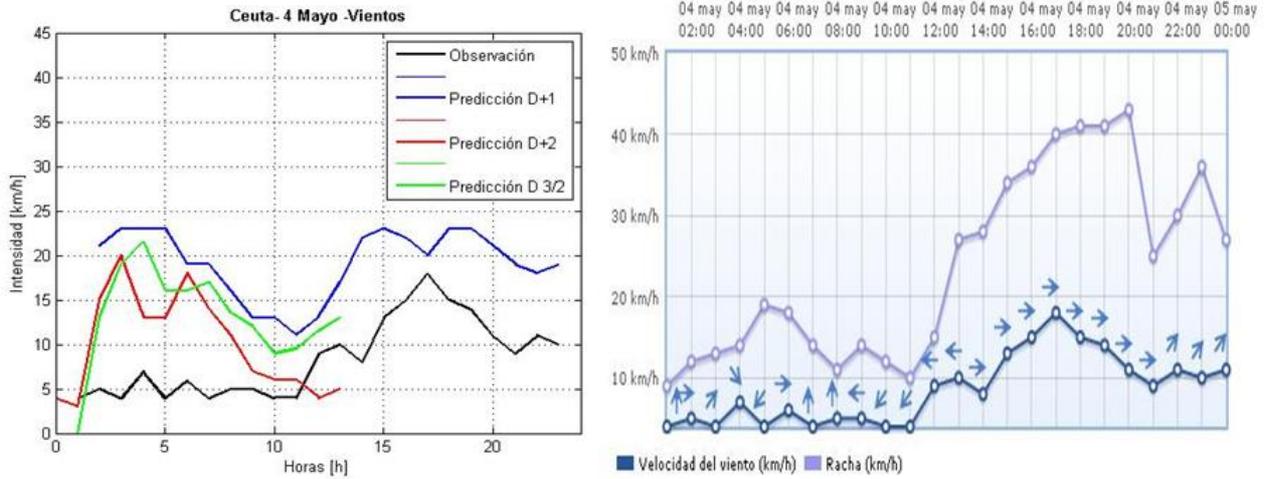


Figura 5-38. Ejemplo patrón verde. Ceuta, 4 de mayo.

Y como último caso tenemos los días **1 de mayo, 2 de mayo, 3 de mayo y 27 de mayo** donde las precisiones de las tres respuestas del modelo rondan el 80 % - 85 %.

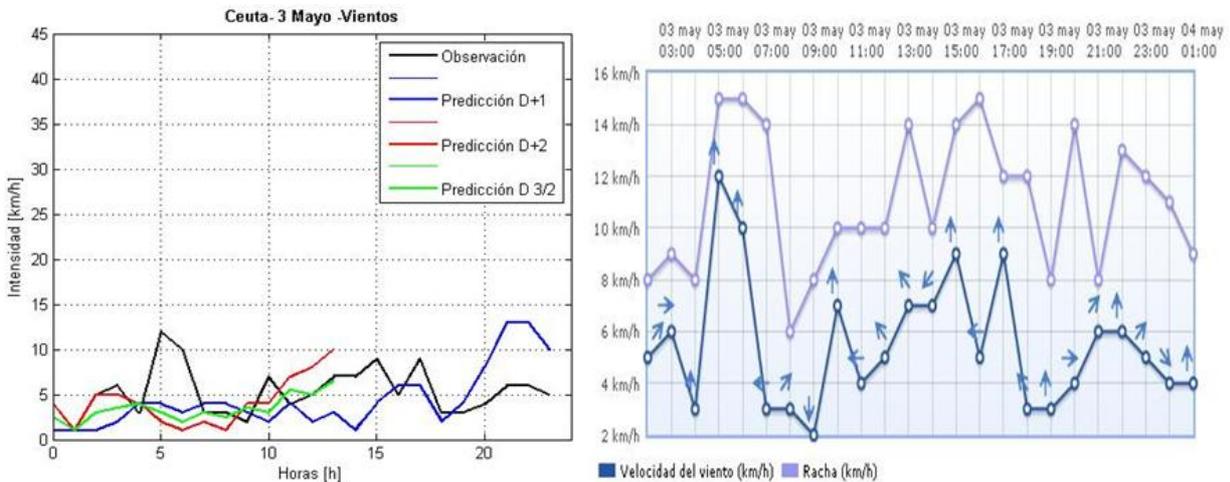


Figura 5-39. Ejemplo patrón negro. Ceuta, 3 de mayo.

5.2.3.2 Viento flojo

En esta categoría solo tenemos dos días de muestra, no es suficiente para sacar una conclusión fiable. Pero consideraremos que las anotaciones realizadas para el apartado de vientos “muy flojos” son extrapolables a este caso.

Los días **30 de abril y 20 de mayo** vemos como las tres predicciones se aproximan de forma similar con una tasa de acierto del 70 %. Dándose los errores a por sobrepredicción a primeras horas de la madrugada.

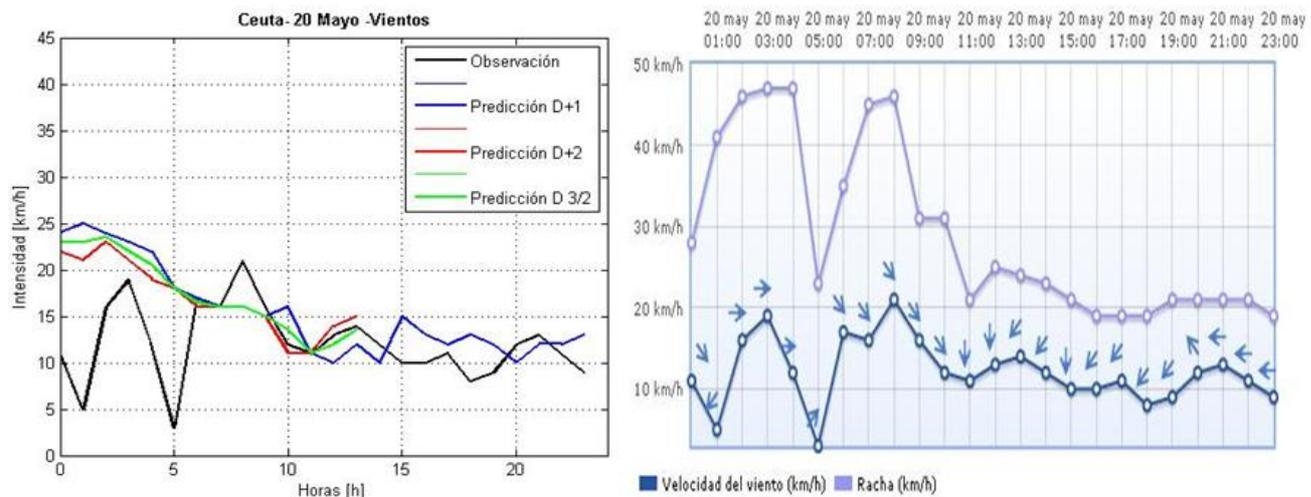


Figura 5-40. Ejemplo patrón azul. Ceuta, 20 de mayo.

5.3 San Roque

Estación simétrica a Barbate con respecto a Tarifa, en la que se espera encontrar un régimen de vientos similar al hallado en esta primera estación. Constituido por un conjunto de vientos principalmente flojos o muy flojos, ligeramente más intensos si la dirección principal se origina en el este.

La localización de la Cordillera Penibética dará lugar a una componente Noreste en la dirección del viento para casos en los que sople viento de levante y Suroeste para los vientos de poniente.

Además de la direccionalidad inducida por el efecto de la orografía, se intuye que el efecto de las brisas será considerable sobre los cambios de dirección puntuales y los picos de intensidad, generalmente asociados a la brisa de tarde, al igual que en Barbate.

Los efectos de estas brisas serán los mismos que su estación simétrica. Introduciéndose componentes surestes para las intensidades suaves que se observan por la madrugada y primeras horas de la mañana, y componentes Norte acompañadas de grandes aumentos de intensidad entre las 17:00 y las 20:00 horas.

5.3.1 Dirección principal: Este

5.3.1.1 Viento muy flojo

Para este tipo de viento el modelo se comporta bastante bien, aportando una única predicción inaceptable el día **19 de junio**. El modelo supera a la observación después de ajustarse con gran exactitud a la brisa nocturna.

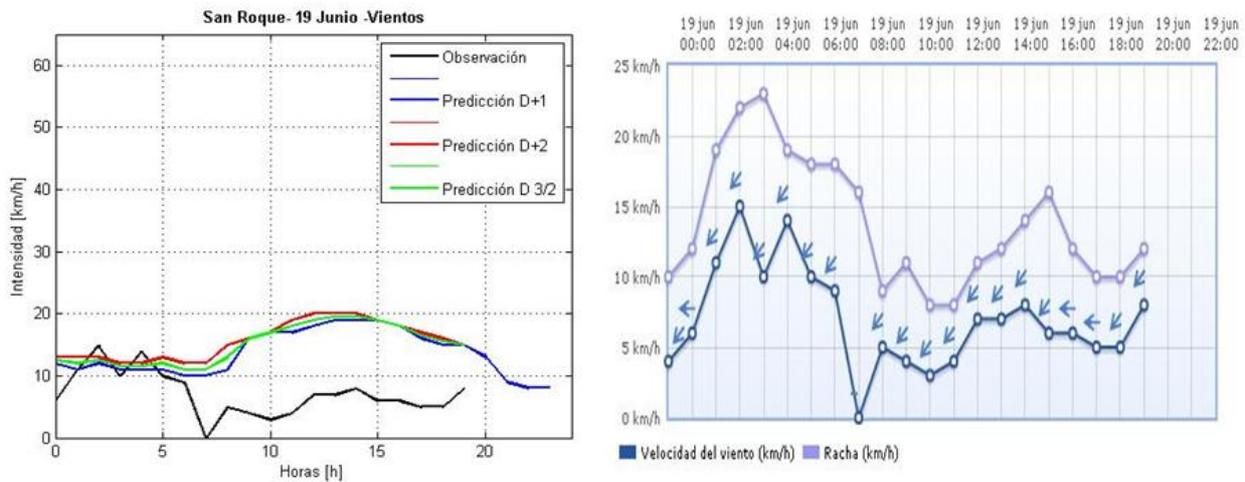


Figura 5-41. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 19 de junio.

Alcanza una tasa de acierto bastante alta, alrededor del 80 % con el “D+2”, el día **21 de mayo** y donde podemos ver que la mayoría de errores se cometen por una sobrepredicción a partir de las 10:00 horas. En este caso podemos decir que no hay conflicto al suponer que la “D+2” es mejor que la “D+1”, ya que en ambas se recogen casi el mismo número de datos horarios sin perderse el correspondiente al que contiene la influencia de la brisa de tarde, como ha ocurrido en otras estaciones para una situación similar. Aunque los datos de observación son muy escasos en esta ocasión.

El **17 de junio**, volvemos a observar como el modelo en general, con las tres predicciones, sobrepredice la brisa de tarde que en realidad no se da en los datos de observación. Alcanzando tasas intermedias de acierto, en torno al 50 %.

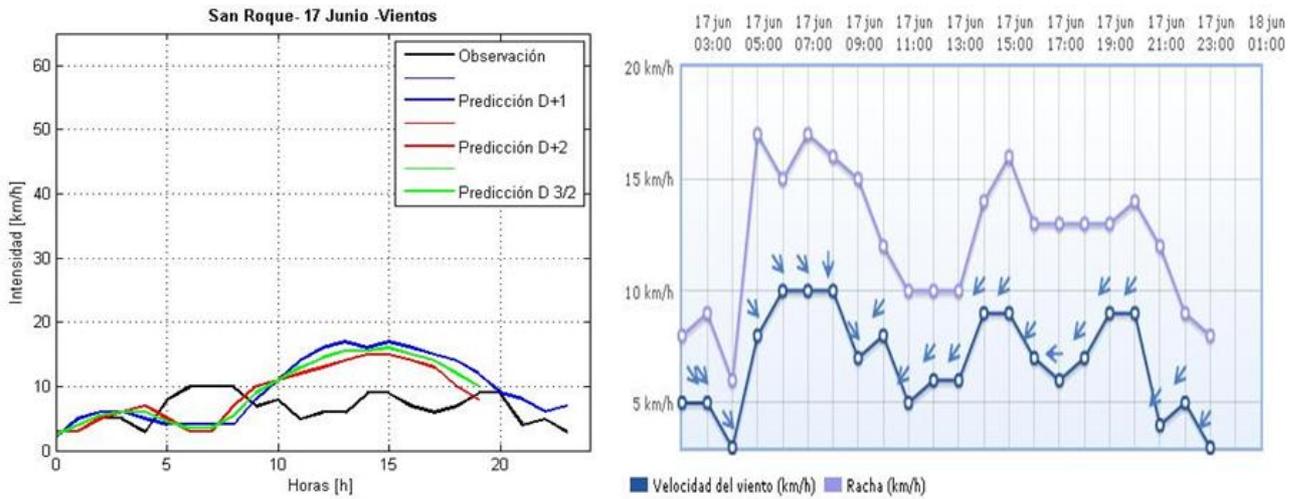


Figura 14. Ejemplo patrón negro. San Roque, 17 de junio.

5.3.1.2 Viento flojo

Se consideran predicciones inaceptables las correspondientes a los días **13 de abril**, **14 de abril**, **11 de mayo** y **17 de mayo**, ya que ninguna de ellas supera el 40 % de precisión mínima requerida. A pesar de ello no consideramos que sea una tasa de error demasiado alta, ya que poseemos muchos días de muestra para esta categoría de vientos. El factor común que mantienen todas estas predicciones es que los puntos discrepantes han sido calculados por sobrepredicción en el 100 % de los casos.

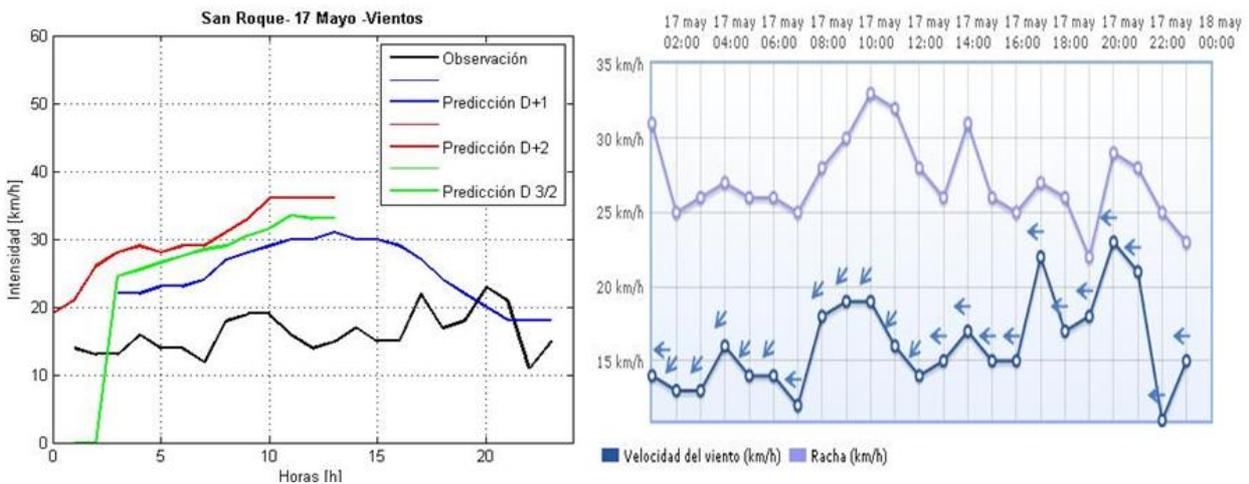


Figura 2. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 17 de mayo.

Podemos observar la predominancia de la predicción del “D+1” en los **días 2 de abril, 3 de abril, 9 de abril, 10 de abril y 10 de mayo**, en los que la horquilla de tasas de acierto que se mueve entre el 45 % y el 93 %. Repitiéndose el hecho de que la mayoría de los puntos erróneos se calculan por sobrepredicción.

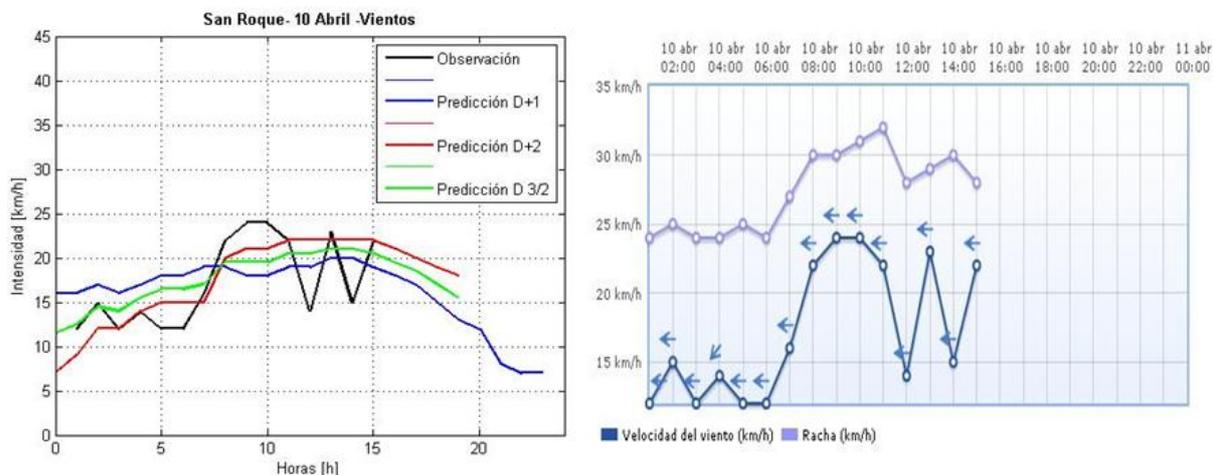


Figura 3. Ejemplo patrón azul. San Roque, 10 de abril.

Los días **5 de abril, 6 de abril y 18 de junio** tanto el “D+1” como el “D+2” alcanzan precisiones similares en torno a la 60 % y con todos sus puntos discrepantes calculados por sobrepredicción.

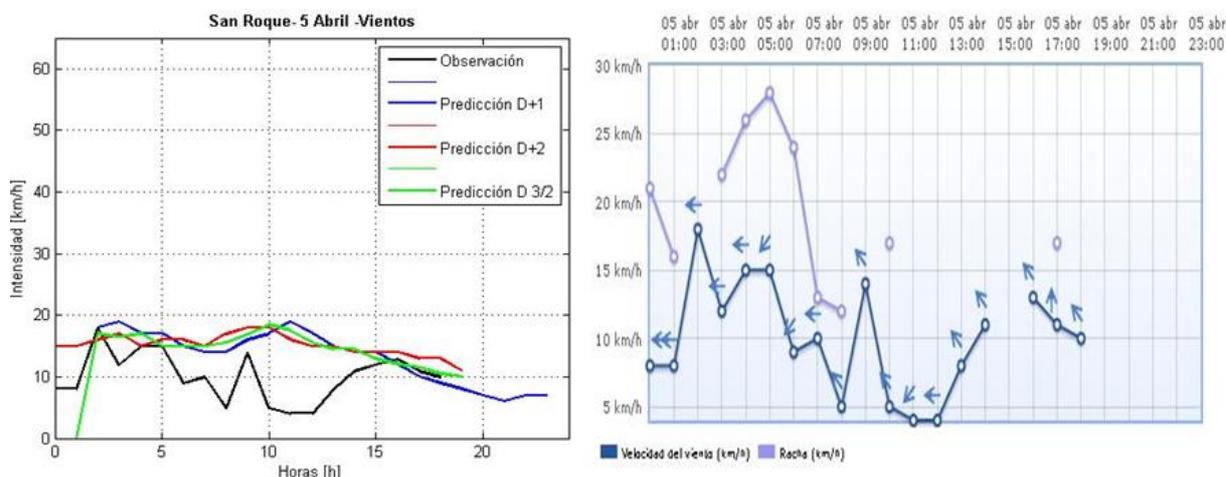


Figura 4. Ejemplo patrón negro. San Roque, 5 de abril.

Mientras que en los días **12 de abril y 20 de abril** la predicción “D+2” está justo en los límites de la tolerancia con precisiones del 40 %.

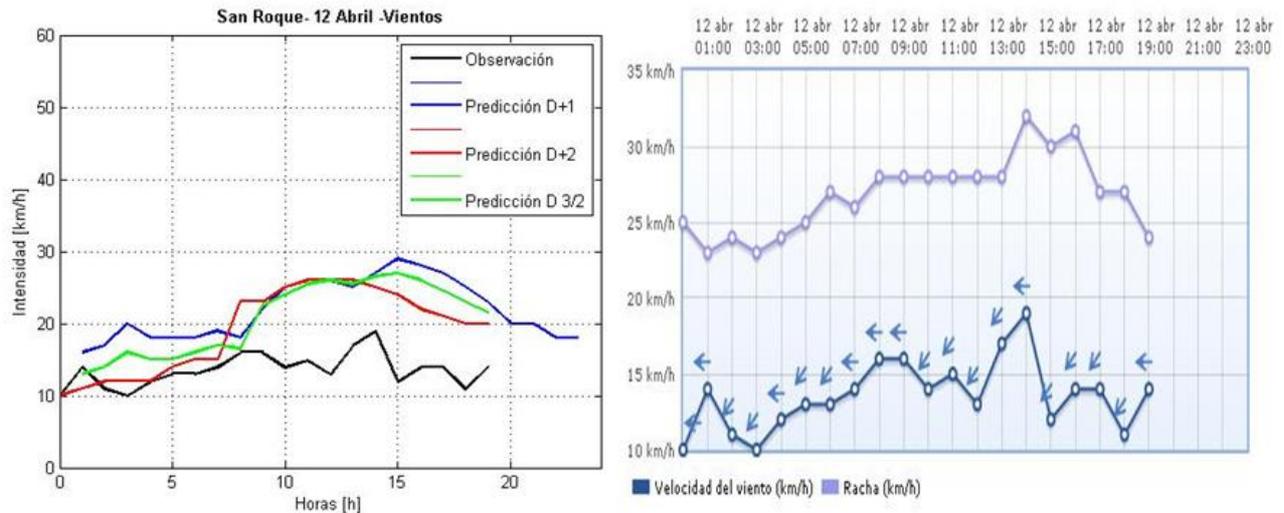


Figura 5. Ejemplo patrón verde. San Roque, 12 de abril.

5.3.1.3 Viento moderado

En los días **7 de abril** y **8 de abril**, se alcanzan los mayores porcentajes de la tasa de acierto por el “D+1”, en torno al 90 %.

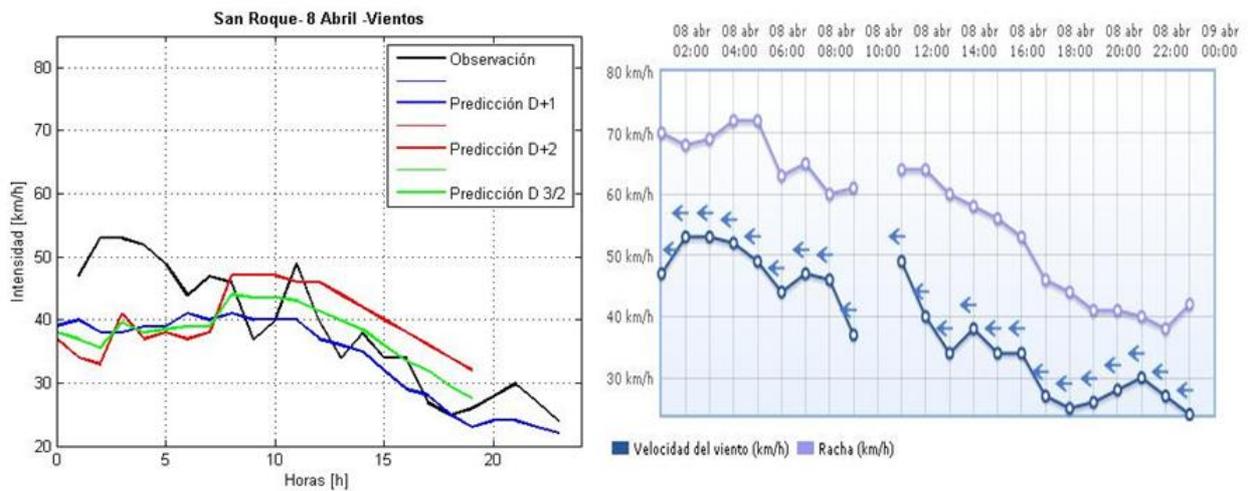


Figura 6. Ejemplo patrón azul. San Roque, 8 de abril.

5.3.2 Dirección principal: Oeste

5.3.2.1 Viento flojo

Los días **18 de abril, 28 de abril, 29 de abril, 5 de mayo, 19 de mayo, el 14 de junio y el 22 de junio**, las tres predicciones se ajustan aproximadamente igual, alcanzando un porcentaje de aciertos del 60 % - 75 % de precisión. Sin embargo, en este caso, a contrario de lo que ocurría con viento de levante, la mayoría de los puntos discrepantes están calculados por subpredicción, no por sobrepredicción como ocurría anteriormente.

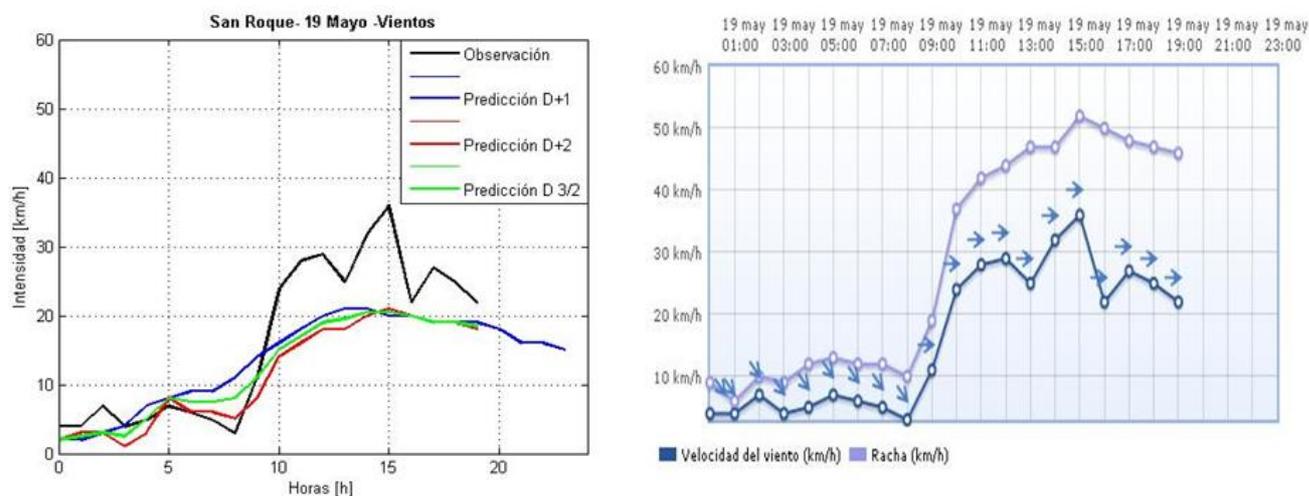


Figura 5-50. Ejemplo patrón negro. San Roque, 19 de mayo.

El segundo patrón más repetitivo para esta clasificación es el azul, indicándonos que es la predicción del “D+1” se ajusta muy bien con una tasas de aciertos media del 80 % en los días **19 de abril, 4 de mayo, 6 de mayo, 8 de mayo, 15 de junio y 24 de junio**. En contraposición a lo que ocurría con los vientos de levante, esta vez los puntos discrepantes se encuentran calculados por defecto con respecto a la observación de intensidades en la mayoría de los casos.

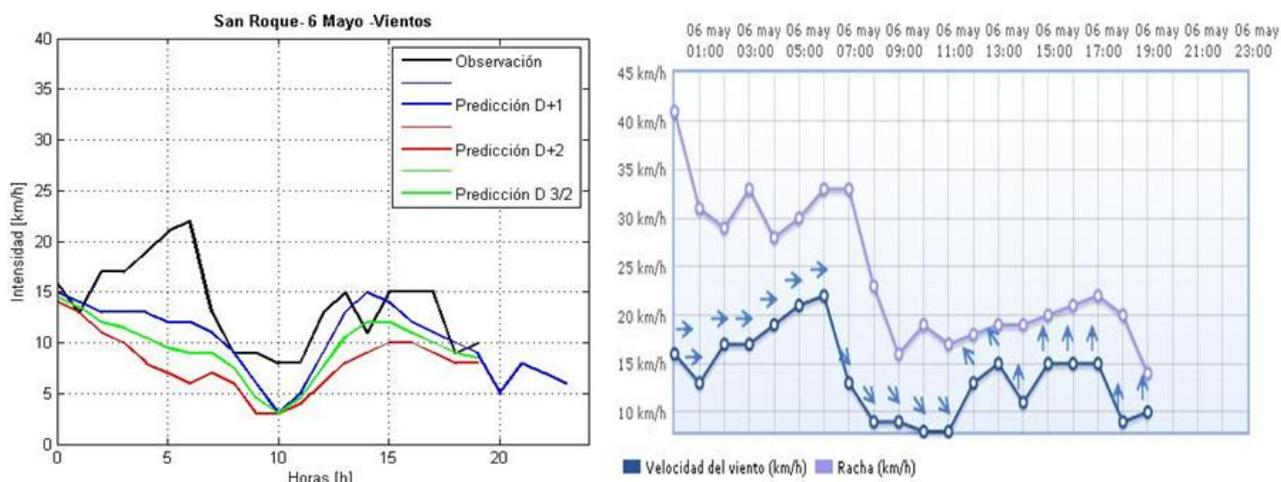


Figura 5-51. Ejemplo patrón azul. San Roque, 6 de mayo.

En el día **16 de abril**, la predicción del “D+2” se hace ligeramente más significativa que el resto con una tasa de aciertos del 80%.

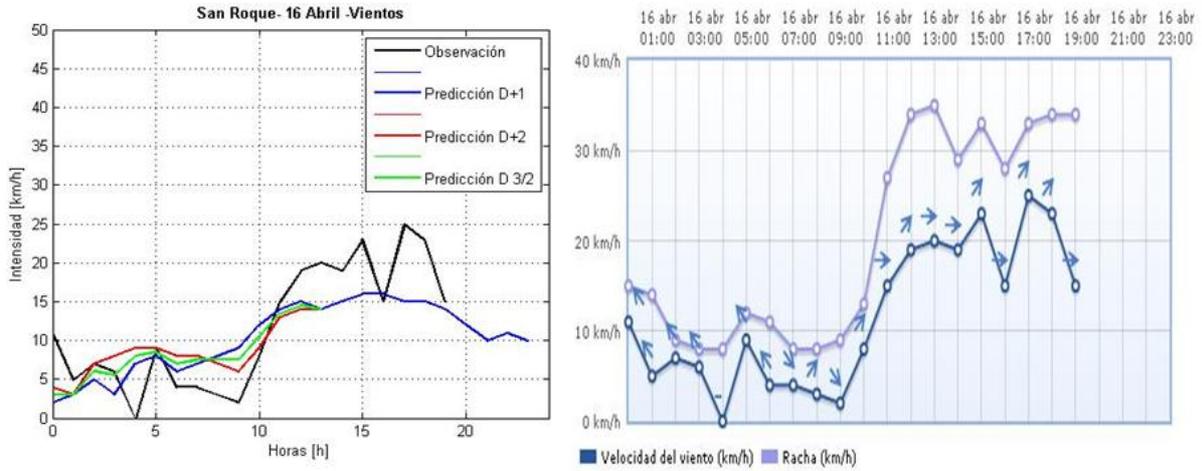


Figura 5-52. Ejemplo patrón verde. San Roque, 16 de abril.

5.3.2.2 Viento flojo-moderado

El **15 de mayo** y el **23 de junio** muestran que la predicción más óptima es la “D+1”, cometiendo errores por subpredecir la observación a partir de las 5:00.

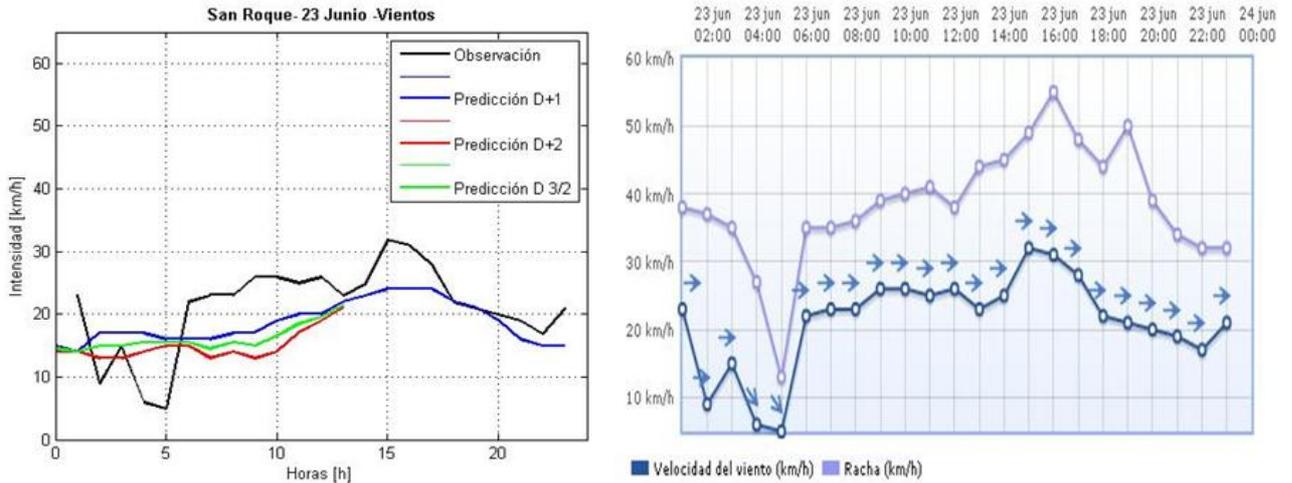


Figura 5-53. Ejemplo patrón azul. San Roque, 23 de junio.

5.3.3 Dirección principal: Otros

5.3.3.1 Viento muy flojo

Las predicciones referentes a los días **7 de mayo** y **21 de junio**, no alcanzan los límites mínimos para considerarse relevantes, con la totalidad de sus puntos de discrepancia calculados por exceso. Es decir, cometiéndose una sobrepredicción de la observación a lo largo de toda la serie temporal.

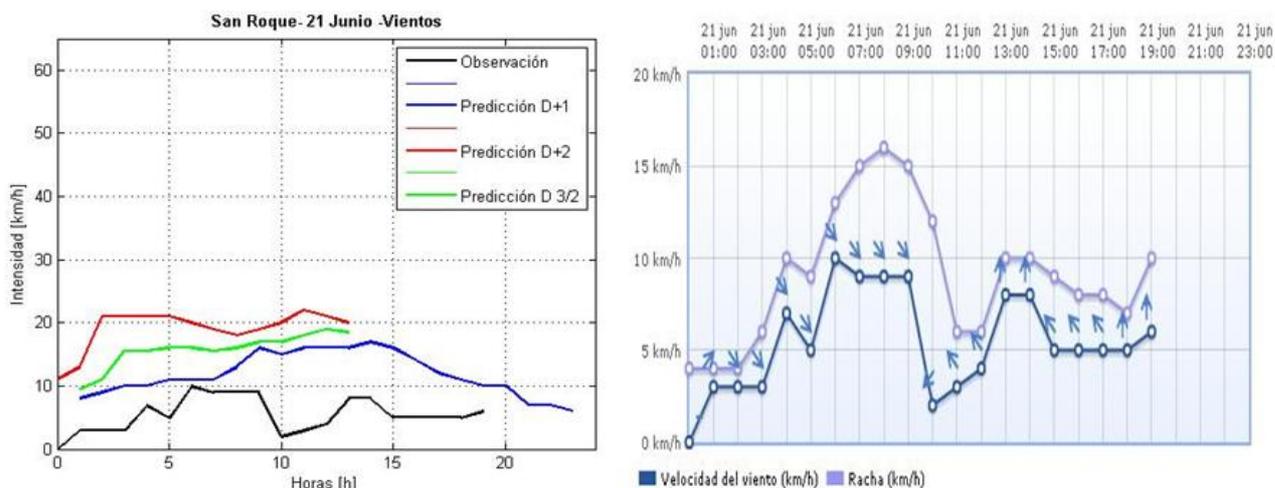


Figura 5-54. Ejemplo patrón rojo. San Roque, 21 de junio.

Los días **17 de abril**, **30 de abril**, **3 de mayo** y **20 de mayo** predomina la predicción del “D+2” con una precisión muy alta, con tasas de acierto de hasta el 90 %.

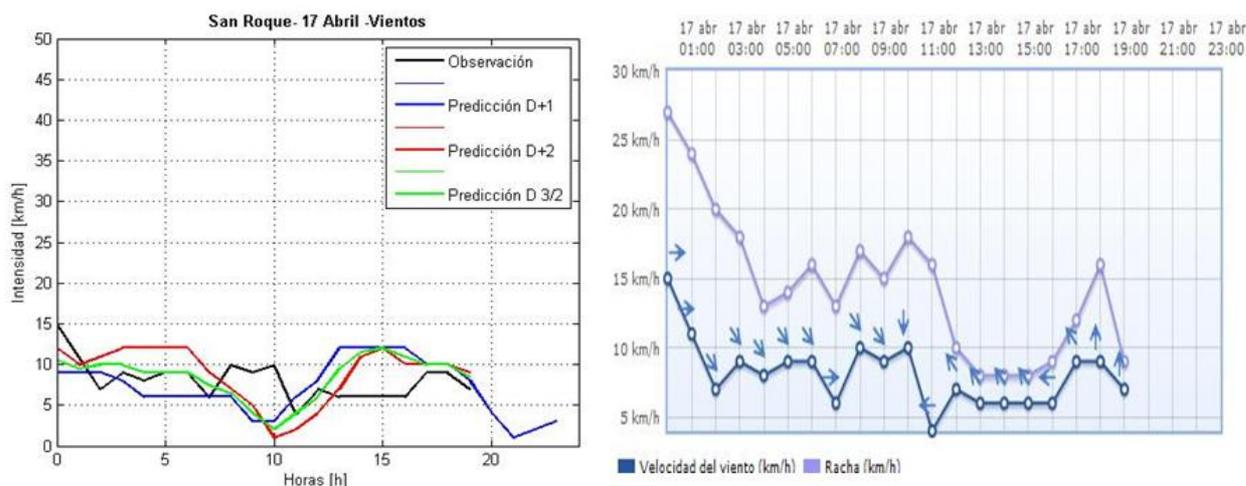


Figura 5-55. Ejemplo patrón verde. San Roque, 17 de abril.

Durante los días **4 de abril**, **2 de mayo** y **20 de junio**, es la predicción del “D+1” la que mejor se comporta con precisiones muy altas, llegando en algún caso al 100% de acierto.

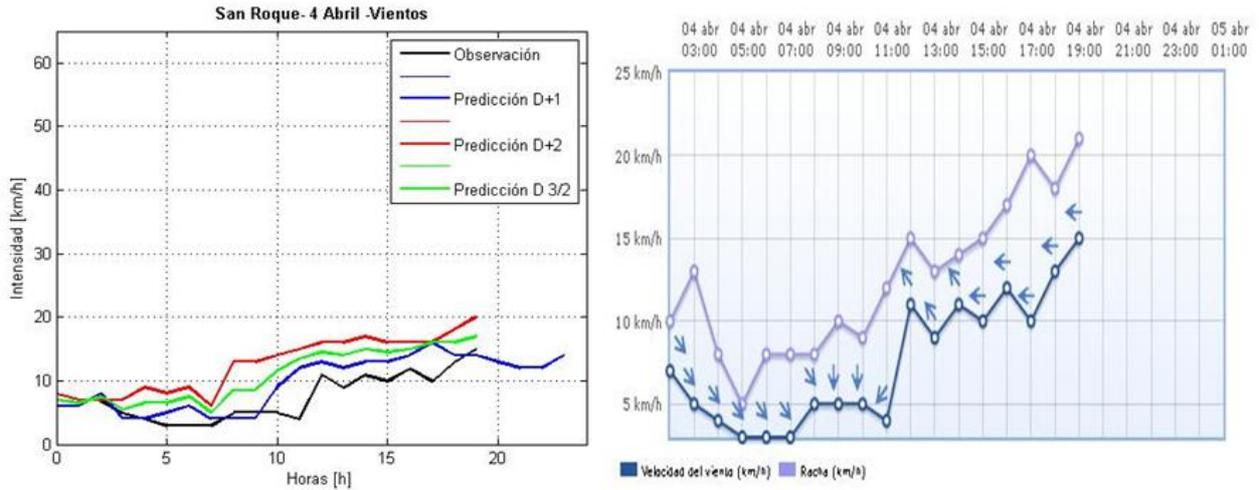


Figura 5-56. Ejemplo patrón azul. San Roque, 4 de abril.

Como día excepcional tenemos el **15 de abril**, donde el “D+3/2” con su carácter intermedio entre el “D+1” y el “D+2” es el que se adapta mejor a los cambios bruscos de intensidad que se dan este día.

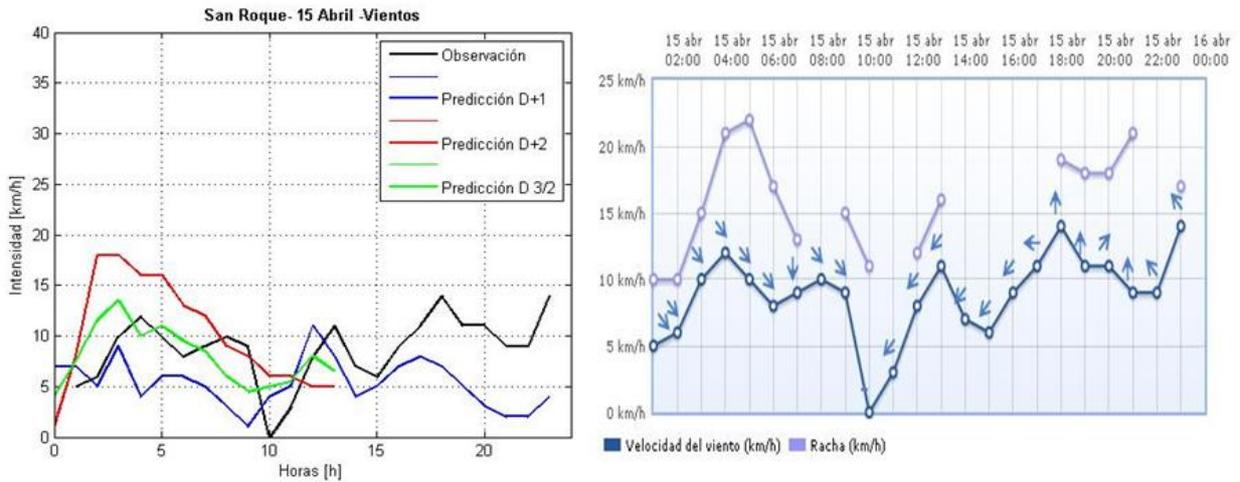


Figura 5-57. Ejemplo patrón morado. San Roque, 15 de abril.

Y finalmente y como último día de muestra, los días **1 de mayo** y **9 de mayo** mantienen las precisiones de las tres predicciones bastante igualadas en torno al 80 %.

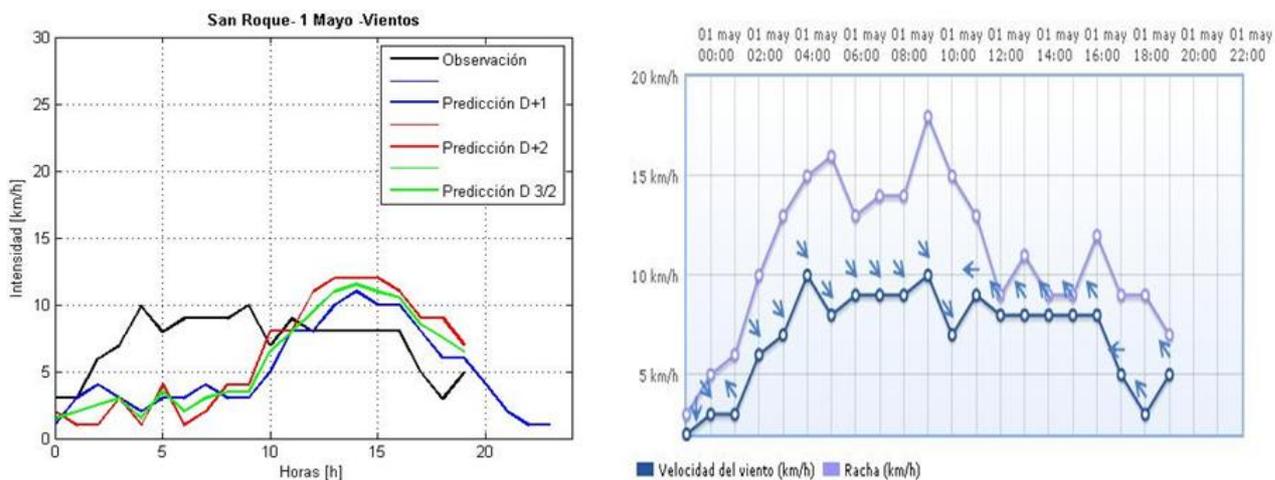


Figura 5-58. Ejemplo patrón negro. San Roque, 1 de mayo.

5.3.3.2 Viento flojo

Como único día de muestra para los vientos de esta categoría tenemos el **16 de junio**, donde las tres predicciones tienen un comportamiento similar. Con precisiones en torno al 80 % y con todos sus puntos discrepantes en intensidad calculados por defecto, es decir cometiéndose cierta subpredicción.

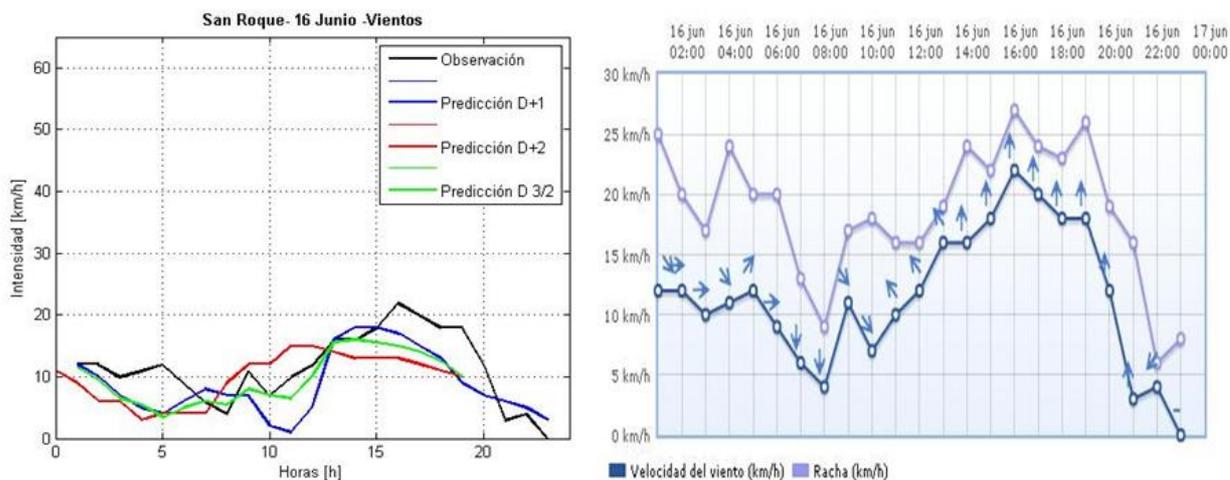


Figura 5-59. Ejemplo patrón negro. San Roque, 16 de junio.

5.4 Tarifa

El estudio de esta localidad es esencial para complementar cualquier trabajo sobre vientos del estrecho.

Su posición geográfica, coincidente con el punto en el que perfil de vientos alcanza el máximo, convierten a esta estación en la más importante de todas las que hemos seleccionado.

Debido a que, a pesar de que nuestro estudio se centra en la optimización del modelo numérico de predicción, estas mejoras son aún más relevantes cuando modifican los vientos de intensidades más altas. Ya que podrían considerarse un paso previo al desarrollo posterior de algún tipo de aplicación en otro campo, energético por ejemplo, en los cuales los vientos de mayor intensidad suelen ser los más interesantes e importantes.

Dicho esto, la principal característica que posee la estación de Tarifa es el régimen de vientos de intensidad generalmente alto (o al menos más alto de lo que hemos visto en las estaciones anteriores). Que acostumbran a ir acompañados de direcciones muy estrictas. Donde solemos encontrar levante o poniente “puros”, en este caso consecuencia de la orografía. Y sin influencia apenas de las desviaciones causadas por las brisas, las cuales cobran más importancia cuando actúan sobre vientos de baja intensidad.

Mención aparte merece el apartado de “**otros**”, cuando nos referimos a dirección, puesto que esta etiqueta suele ir asociados a días en los que el viento tiene un comportamiento “peculiar”; y en consecuencia el modelo de predicción también. Aportando distintos tipos de predicciones para un comportamiento del viento, en principio similar.

5.4.1 Dirección principal: Este

5.4.1.1 Viento flojo

Para vientos flojos el modelo se ajusta bastante bien gracias a la predicción “D+1”, que alcanza valores de precisión cercanos al 90% en los días **9 de mayo** y **25 de mayo**.

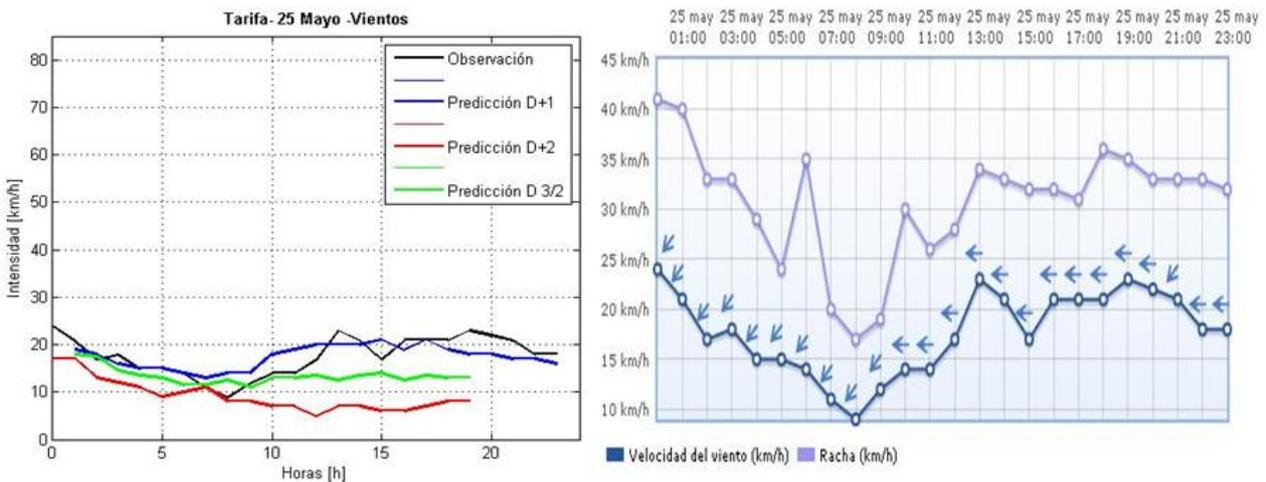


Figura 5-60. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 25 de mayo.

Mientras que el día **2 de mayo**, las tres predicciones se asimilan mucho más entre sí, pero adoptando valores de precisión bastante más bajos, alrededor del 50 %. La diferencia con el caso anterior, es que para este día se observa un aumento considerable de la intensidad a la hora a la deja de actuar la brisa nocturna, que suaviza los valores de intensidad antes de las 7:00. En los tres casos, la observación supera a la predicción en intensidad a partir de esa hora.

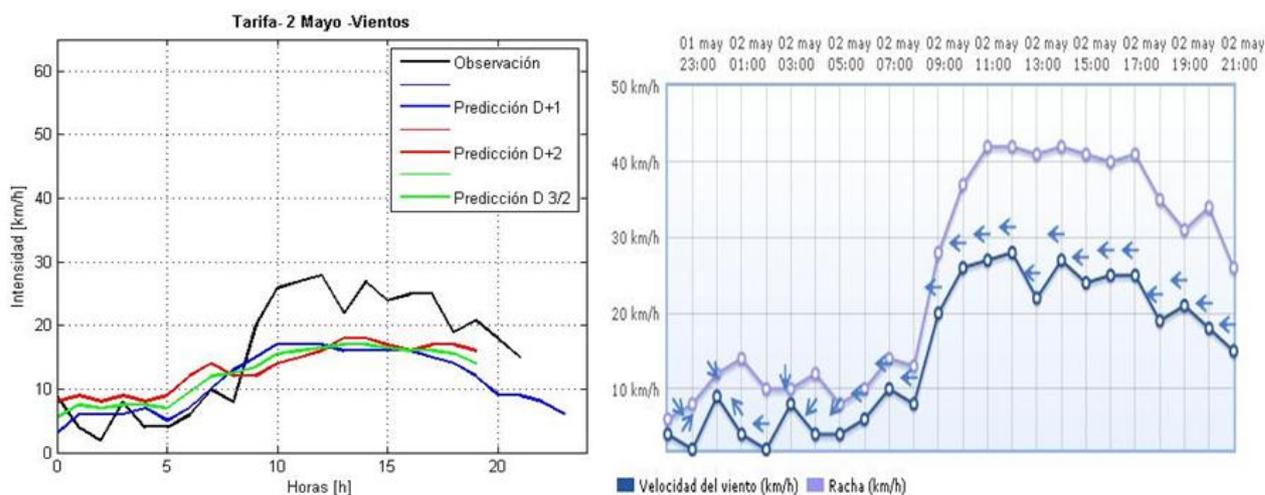


Figura 5-61. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 2 de mayo.

5.4.1.2 Viento flojo-moderado

Para los vientos de intensidad un poco más alta podemos observar que el modelo falla un poco, aportando predicciones por debajo de los límites de tolerancia en los días **11 de abril, 10 de mayo, 26 de mayo y 17 de junio**. En todos estos días la observación queda bastante por encima de la predicción.

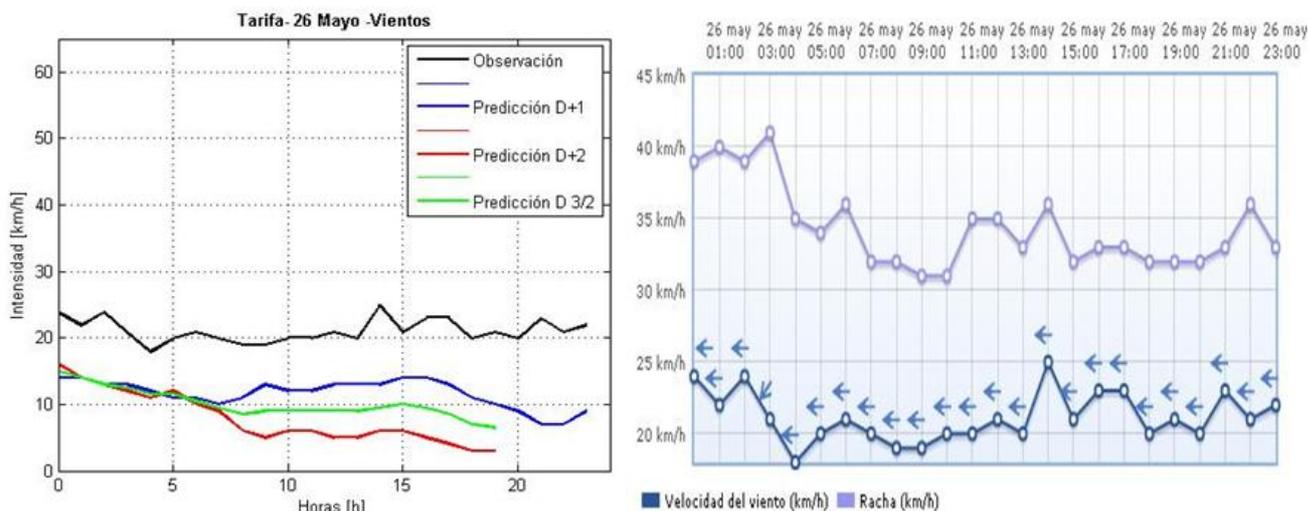


Figura 5-62. Ejemplo patrón rojo. Tarifa, 26 de mayo.

Las precisiones de las tres predicciones son muy similares entre sí en los días **5 de abril, 20 de abril, 24 de mayo, 19 de junio y 21 de junio**, donde a veces se alcanza el 100 % de acierto. El **16 de mayo**, también podría agruparse dentro de esta tipología de comportamiento, puesto que a pesar de que existir mucha diferencia entre los porcentajes de precisión de las distintas predicciones, podemos observar que en el tramo horario en el que se pueden representar todas a la vez la aproximación de las tres es muy similar.

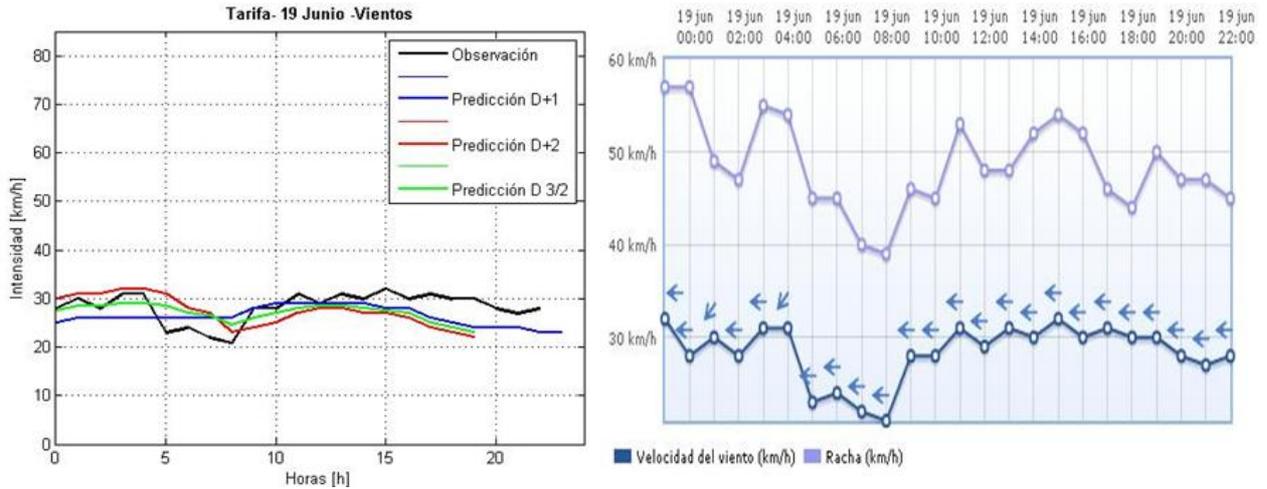


Figura 5-63. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 19 de junio.

Como caso más excepcional encontramos el día **27 de mayo**, donde la predicción del “D+1” supera al resto.

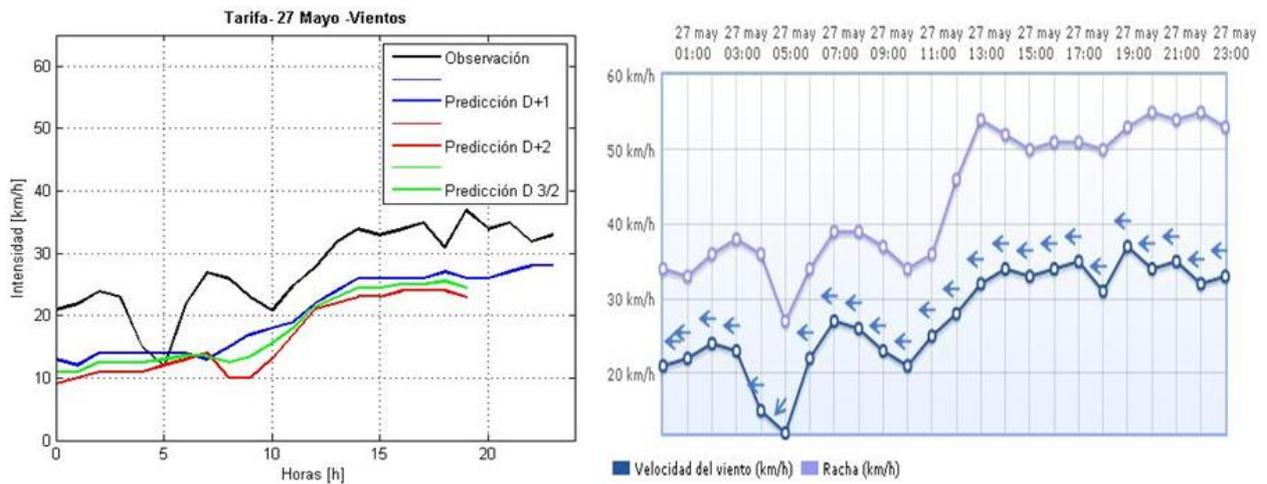


Figura 5-64. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 27 de mayo.

5.4.1.3 Viento moderado

Conforme va aumentando la intensidad media del viento el modelo se va haciendo más fiable, esto también se debe a que hemos aumentado el rango de tolerancia dependiendo de la intensidad instantánea. De forma que un mismo valor de diferencia entre observación y predicción puede resultar un punto discrepante para valores de intensidad más bajos, y un punto no discrepante para valores más altos.

Dicho esto, al hacer recuento de los días en los que las predicciones no superan los mínimos establecidos vemos que esta situación se repite solo en dos casos: el **4 de abril** y el **22 de mayo**. En ambos días la predicción supera en todo momento a la observación.

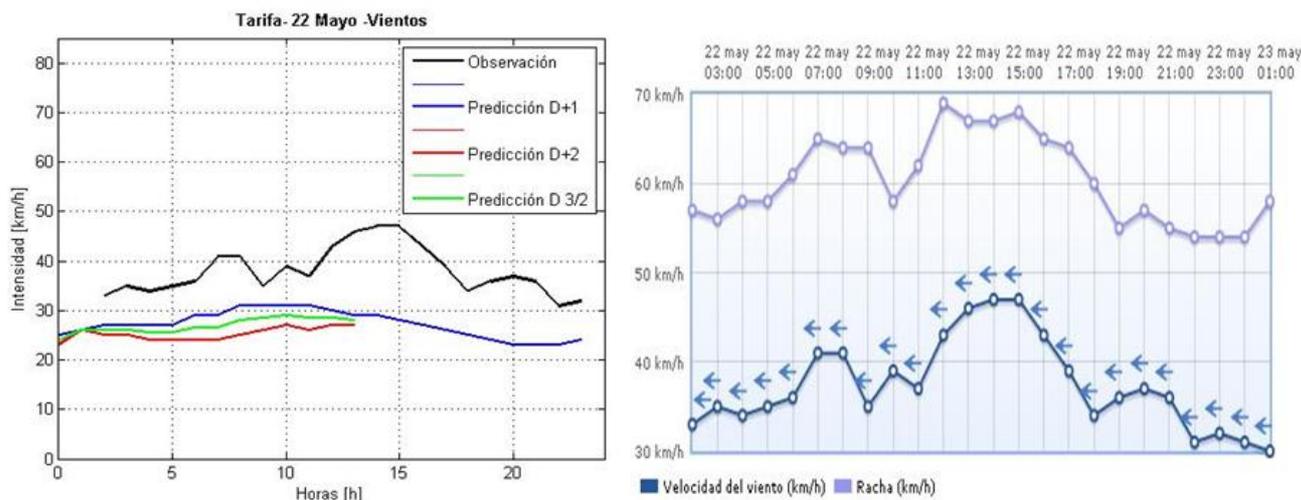


Figura 5-65. Ejemplo patrón rojo. Tarifa, 22 de mayo.

Independientemente de esto, el comportamiento que observamos más común es la predominancia del “D+1” sobre las otras predicciones. Con una horquilla de precisiones que comprende desde el 50 % al 100 % de exactitud. En los días **6 de abril, 9 de abril, 10 de abril, 12 de abril, 11 de mayo, 21 de mayo, 23 de mayo, 18 de junio y 20 de junio.**

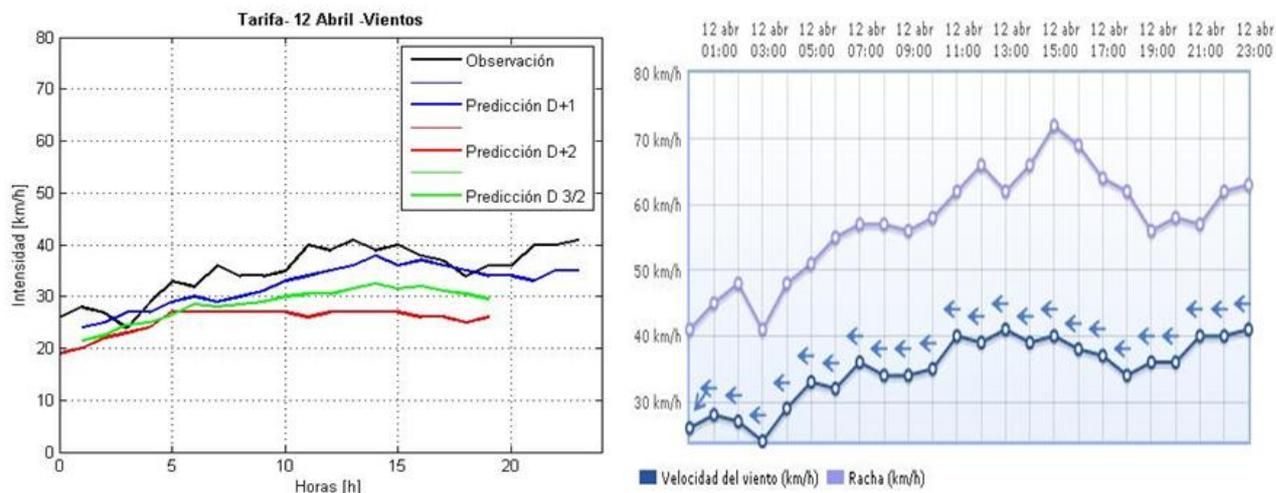


Figura 5-66. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 12 de abril.

Los días en los que predomina el patrón negro son el **3 de abril, 14 de abril, el 7 de mayo, el 18 de mayo y el 18 de junio**, donde se alcanzan precisiones bastante altas, cercanas al 95 %.

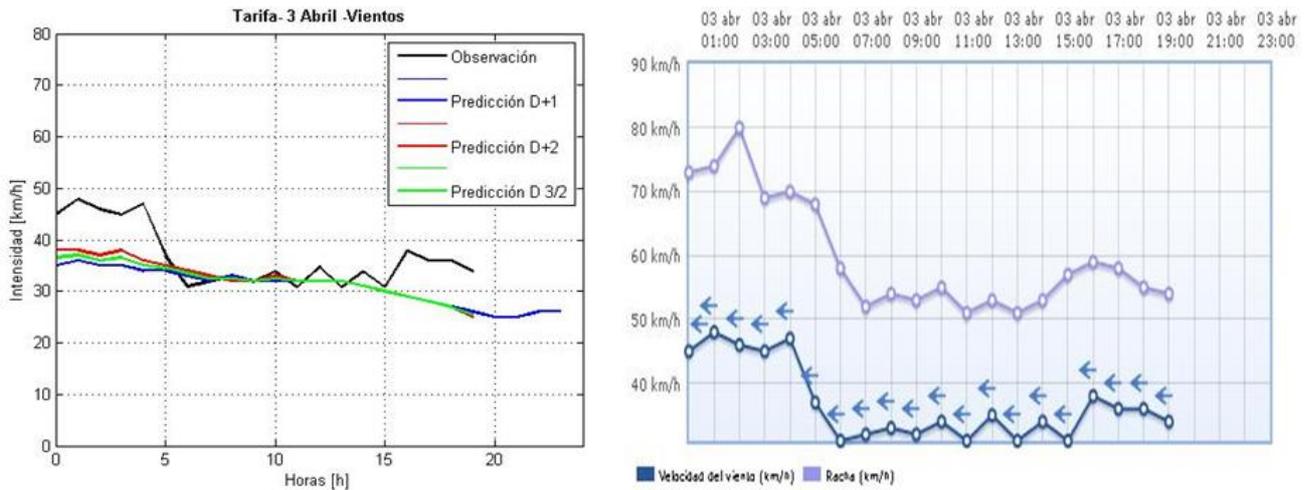


Figura 5-67. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 3 de abril.

5.4.1.4 Viento moderado-fuerte

En este caso se puede extraer un patrón muy característico y repetitivo, puesto que en los días **2 de abril, 8 de abril, 13 de abril, y 17 de mayo**, el “D+1” las tres predicciones se adquieren un papel prácticamente idéntico. Con una media de precisión entre el 85 % y el 100 %.

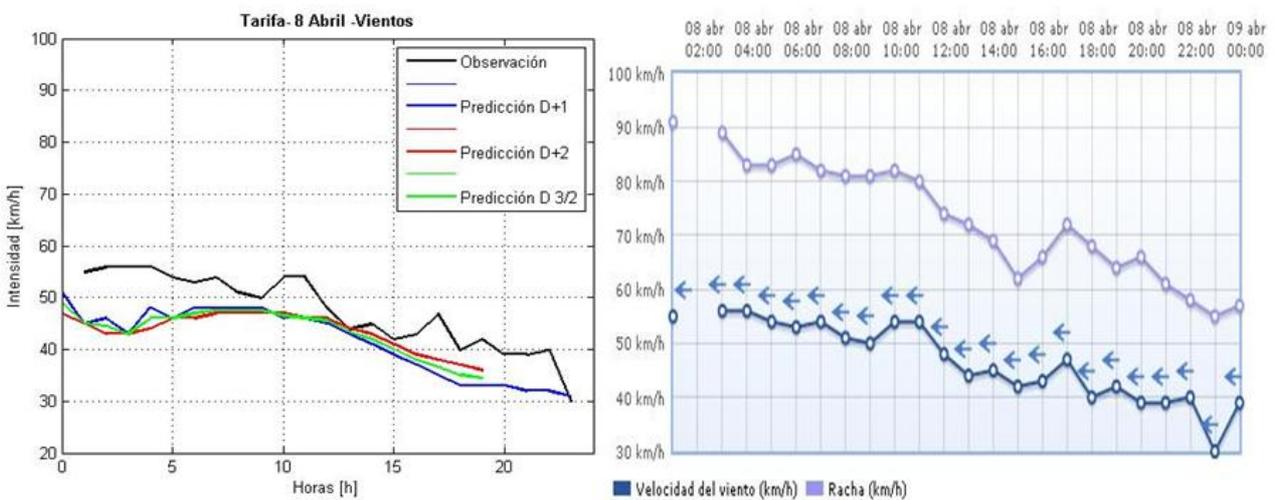


Figura 5-68. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 8 de abril.

El día **28 de mayo** es la excepción, donde es la gráfica del D+1 la que se ajusta mejor al resto.

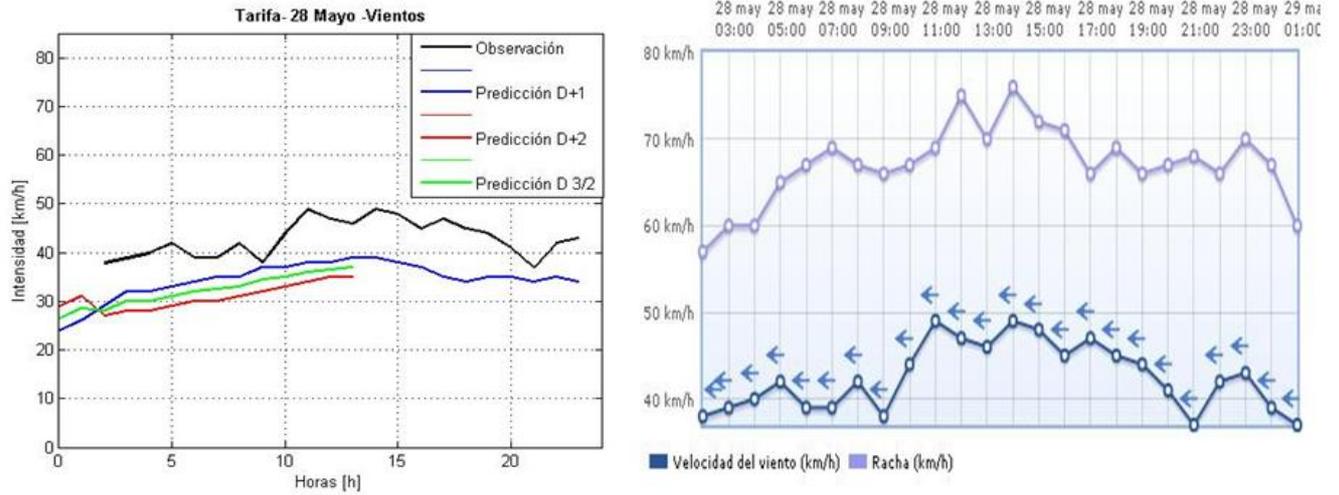


Figura 5-69. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 28 de mayo.

5.4.1.5 Viento fuerte

Para vientos fuertes solo tenemos un día de muestra, **el 7 de abril**. Donde las tres predicciones tienen un comportamiento muy similar alcanzando también precisiones muy altas.

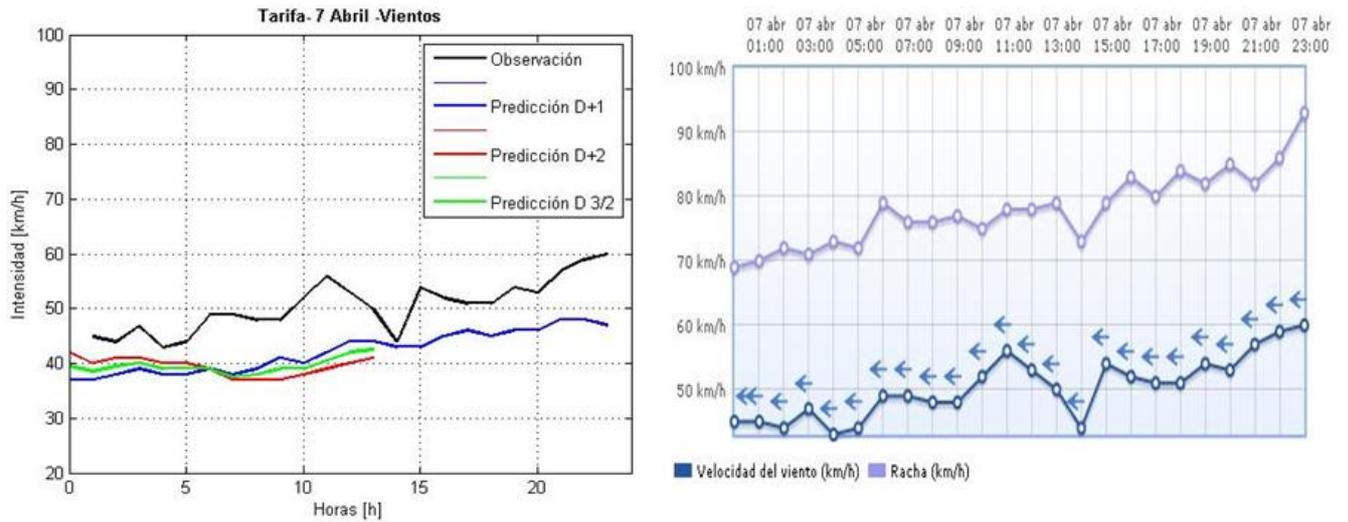


Figura 5-70. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 7 de abril.

5.4.2 Dirección principal: Oeste

5.4.2.1 Viento muy flojo

En este caso solo tenemos un día de muestra que corresponde al **3 de abril**, donde vemos que las tres predicciones se asemejan mucho entre sí. Con precisiones del 60 % - 50 % y con la mayoría de los puntos discrepantes por debajo de los puntos de observación, situación que se repite varias veces en la estación de Tarifa para todas las tipologías de viento estudiadas.

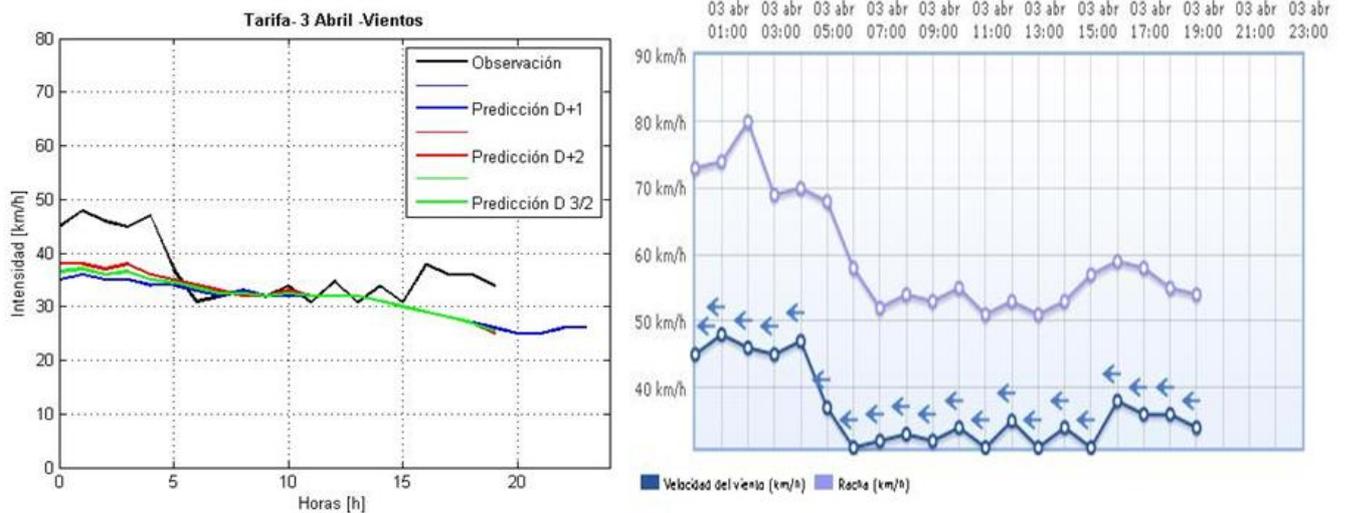


Figura 5-71. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 3 de abril.

5.4.2.2 Viento flojo

La predicción del “D+1” y la del “D+2” es muy similar entre sí los días **16 de abril, 28 de abril, 30 de abril, 8 de mayo, 15 de mayo, 24 de mayo, 13 de junio, 16 de junio, 22 de junio, 23 de junio y 24 de junio**. Las cuales, exceptuando el último día mencionado, son muy precisas alcanzando el 85-90% de acierto en la comparativa con la observación.

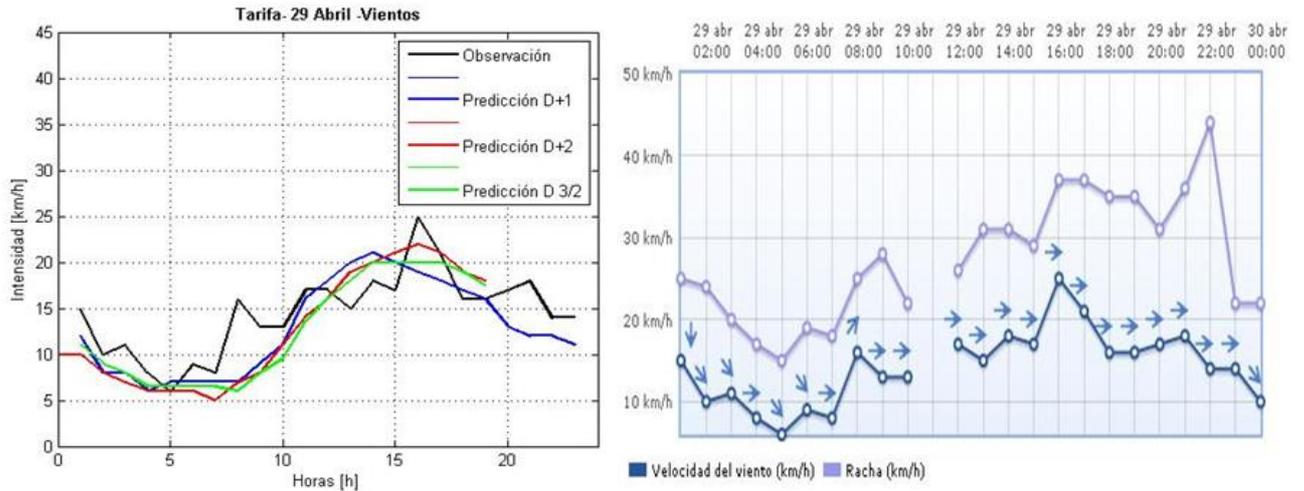


Figura 5-72. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 29 de abril.

Sin embargo, en los días **19 de abril, 4 de mayo, 5 de mayo, 6 de mayo, 8 de mayo** vemos como la predicción más exacta es la del “D+1”, con una precisión media del de 80%. Encontramos la totalidad o la mayoría de los puntos discrepantes por debajo de la observación, lo cual quiere decir que las aproximaciones de intensidad de la predicción se calculan por defecto.

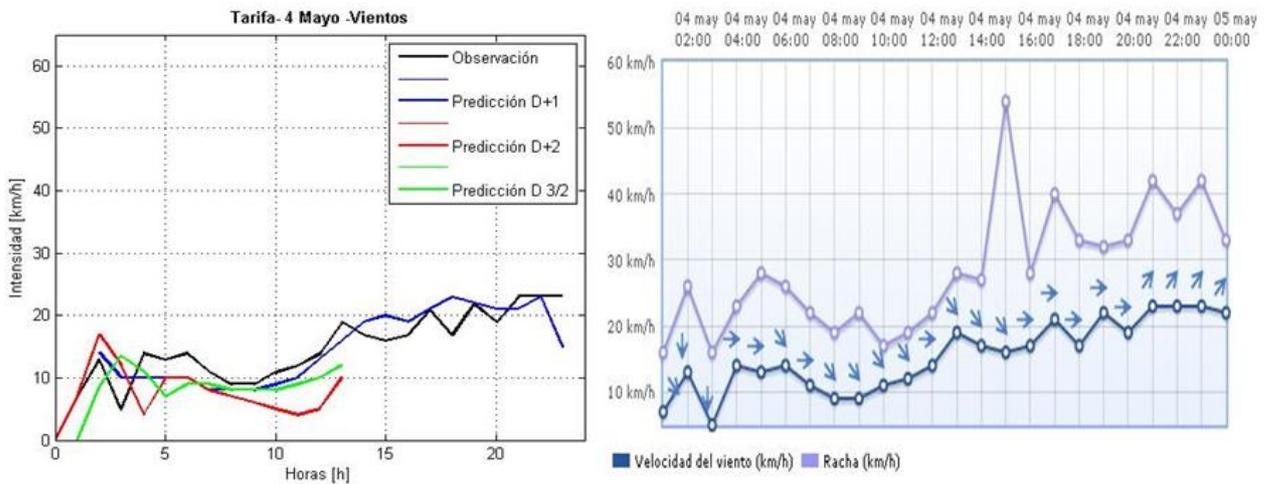


Figura 5-73. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 4 de mayo.

El día **18 de abril** se ve claramente como la predicción del “D+2” destaca sobre el resto. Con tasas de acierto muy altas del 95%.

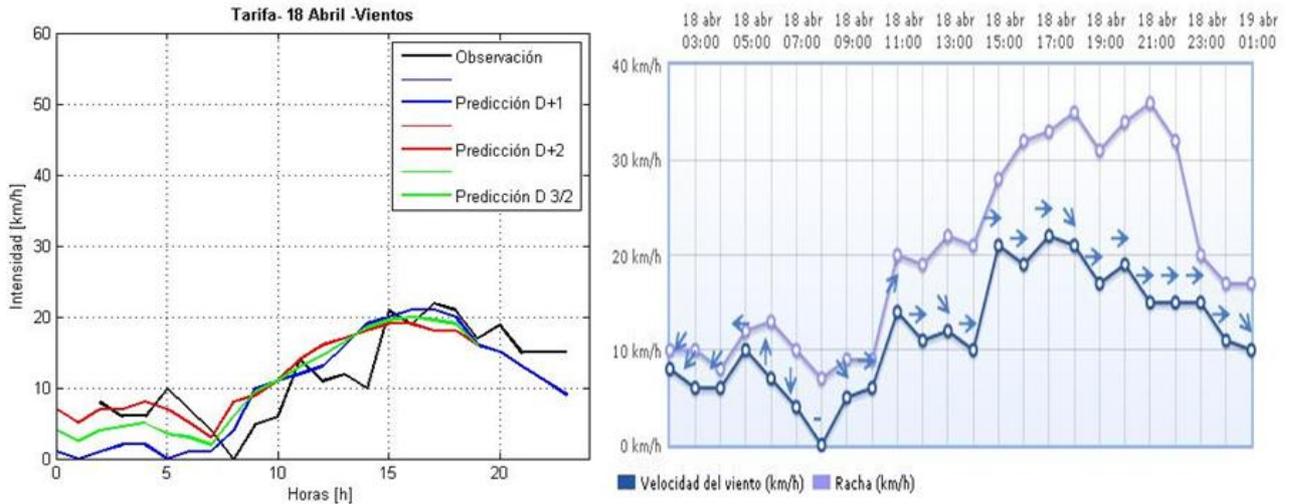


Figura 5-74. Ejemplo patrón verde. Tarifa, 18 de abril.

Como dato significativo podemos señalar como resalta la predicción del “D+3/2”, en los días **19 de abril, 15 de junio y 16 de junio** como no lo ha hecho antes en ninguna tipología y en ninguna estación.

Con ajustes de un 85 %, es esta predicción la que se ajusta mejor a las variaciones bruscas de intensidad.

A pesar de ello, las aproximaciones conseguidas por el “D+1” y el “D+2” son bastante aceptables.

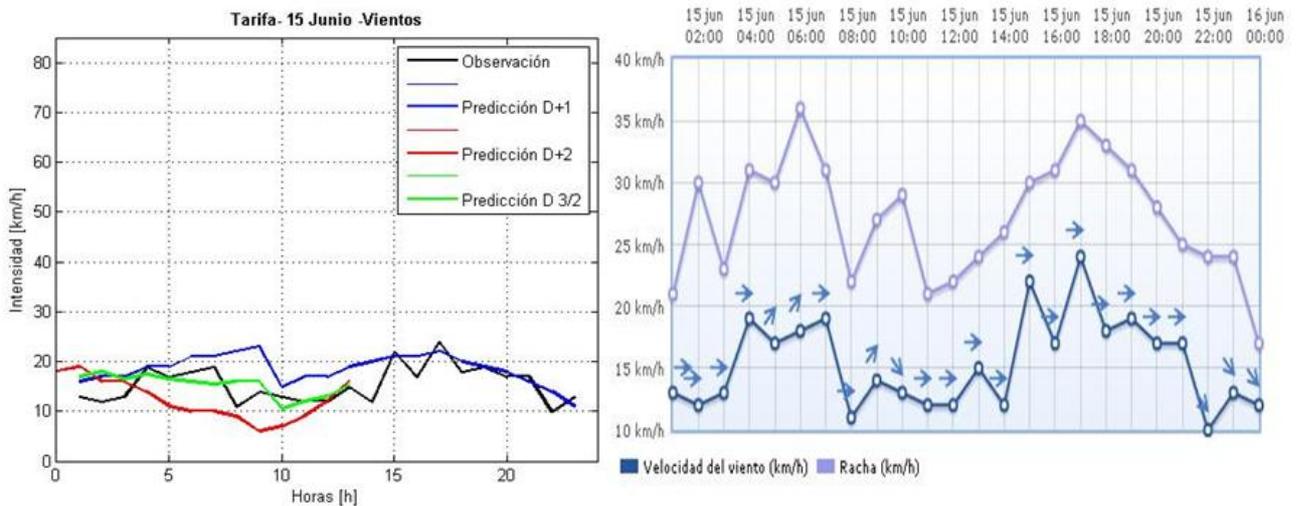


Figura 5-75. Ejemplo patrón morado. Tarifa,

5.4.3 Dirección principal: Otros

5.4.3.1 Viento muy flojo

En los días **15 de abril** y **1 de mayo**, vemos como la predicción del “D+1” alcanza precisiones del 80 % sobresaliendo sobre el resto de las predicciones.

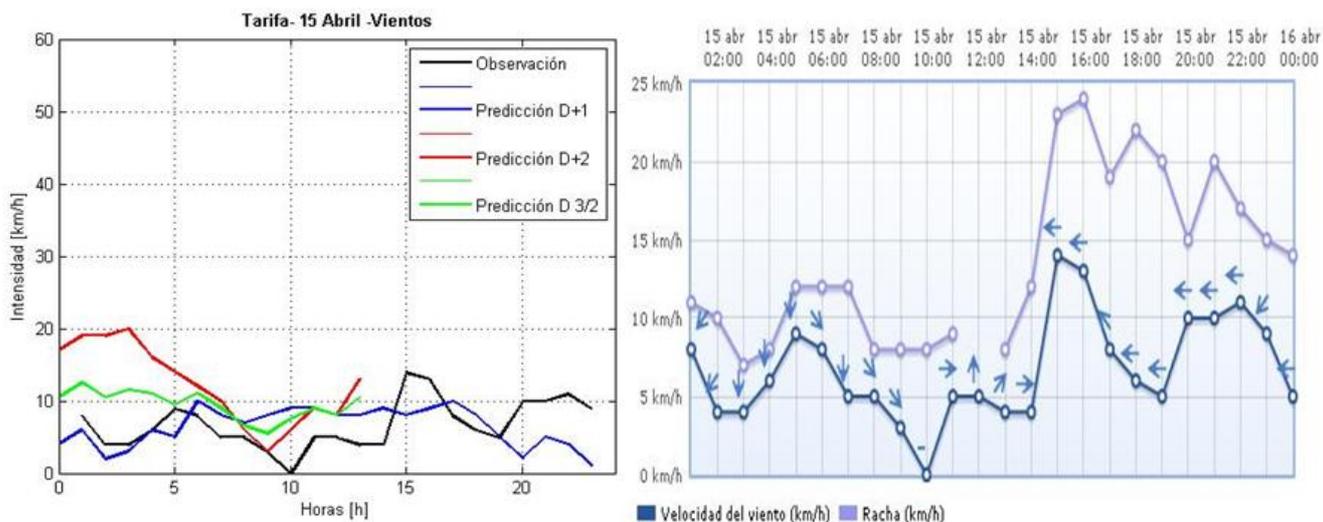


Figura 5-76. Ejemplo patrón azul. Tarifa, 15 de abril.

Con precisiones aún más altas, en torno al 95 %, tenemos el día **17 de abril**. Donde se alcanzas dichos valores gracias a la predicción “D+3/2”.

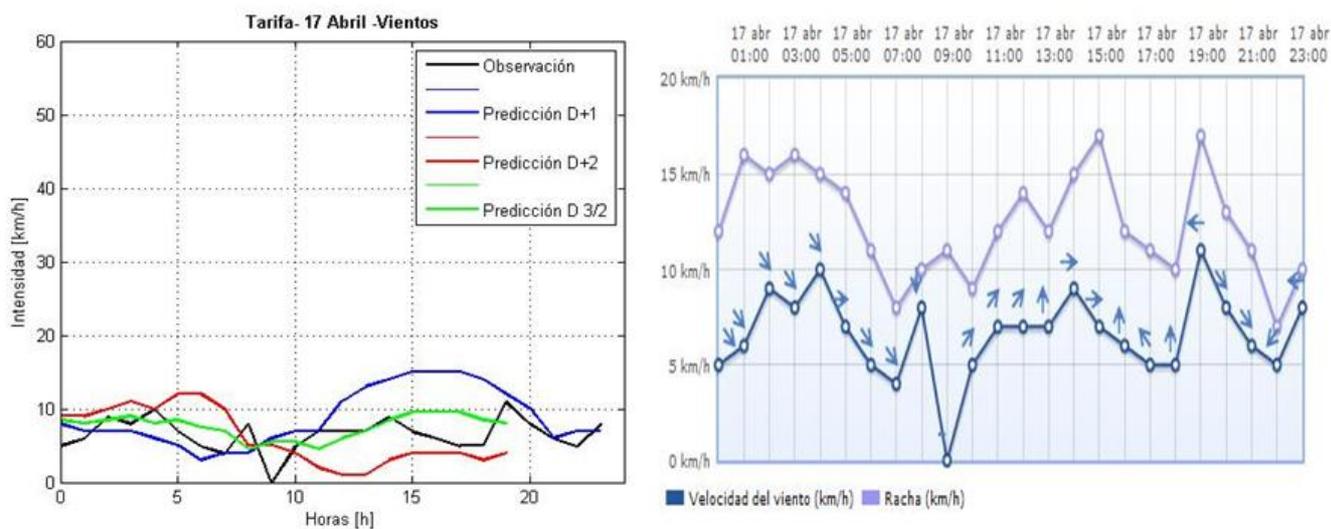


Figura 5-77. Ejemplo patrón morado. Tarifa, 17 de abril.

5.4.3.2 Viento flojo

Aunque los porcentajes de las precisiones parezcan muy distintos, si estudiamos bien las representaciones gráficas, nos percatamos que las tres se ajustan de la misma forma a la observación en los días **20 de abril y 14 de junio**.

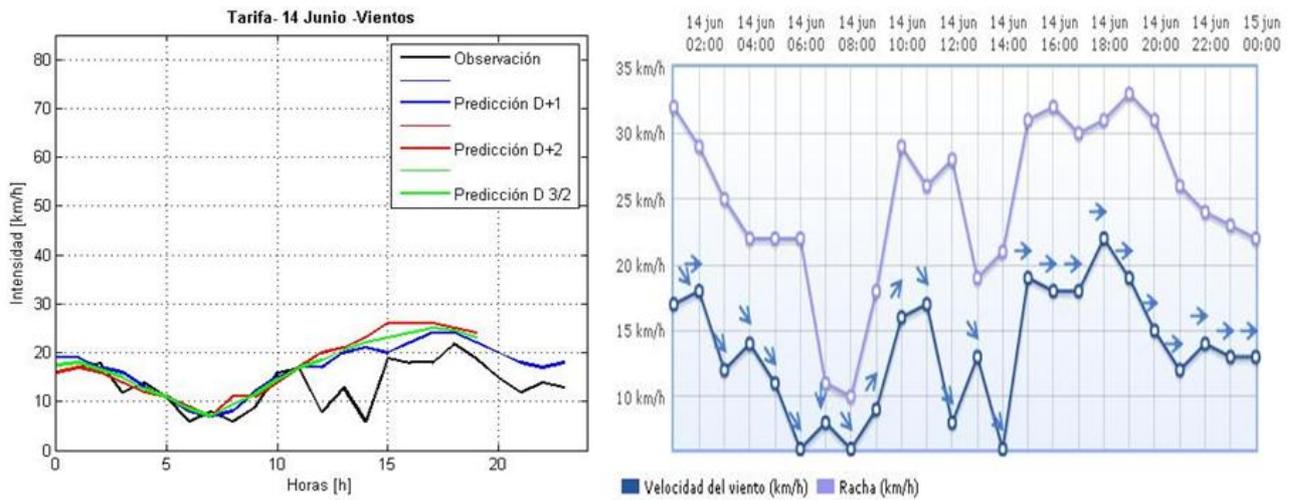


Figura 5-78. Ejemplo patrón negro. Tarifa, 14 de junio.

6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones generales

A continuación vamos a nombrar las conclusiones concretas para cada una de las estaciones meteorológicas de estudio, pero antes de ello intentaremos remarcar algunas de las características generales del modelo que se repiten de forma reiterada en todas las estaciones.

Por regla general el modelo suele predecir una curva suave, sin cambios bruscos de intensidad, esto es consecuencia de que el principal objetivo de HIRLAM es acertar en términos de valores promedio. Por ello el modelo no se ajusta bien cuando el comportamiento real del viento se sale de ciertos límites. Sobretudo en los tramos horarios en los que se producen las conocidas brisas diurnas (en el caso de las estaciones donde este efecto se hace significativo). De forma que a pesar de saber que el modelo falla más de lo deseado, en algunas estaciones podremos seleccionar los tramos horarios conflictivos con mucha facilidad.

Dicho esto podemos observar que para los vientos de levante el modelo es más preciso conforme aumenta el valor de la intensidad media que lo clasifica. Y en la mayoría de los casos la gráfica de la predicción suele estar totalmente por encima de la observación, calculando los valores predichos con cifras superiores a las reales. Esto se repite para todas las estaciones, excluyendo a Tarifa, en la que en todas sus clasificaciones de viento de intensidad y dirección, los valores de observación superan a los de predicción. En otras palabras, con vientos de levante la mayoría de los errores suelen producirse por sobrepredicción, excepto en Tarifa, que los errores aparecen por subpredicción.

Sin embargo para vientos de poniente, que usualmente solemos encontrar acompañados por intensidades débiles, las predicciones vienen siendo muy precisas. Incluso superiores a las predicciones de levante etiquetadas con la misma intensidad media. Pero para estos casos, la posición relativa de la curva de predicción con respecto a la de observación está invertida si la comparamos con el viento de levante. Quedando esta vez la curva de observación por encima de la de predicción en todas las estaciones meteorológicas para todos los intervalos de intensidad. Es decir, para los vientos de poniente la mayoría de errores suelen darse por subpredicción.

Encontramos también una situación similar para los vientos con otras direcciones. Las intensidad medias asociadas a este tipo de viento normalmente son inferiores a los 20 km/h, por lo que están muy influenciados por los cambios de dirección consecuencia de otros agentes externos. Pero a pesar de que este hecho pueda introducir fluctuaciones en el parámetro dirección redirigiendo también la intensidad, sorprendentemente las respuestas obtenidas por el modelo numérico en estos casos son las que alcanzan las precisiones más altas. Igualando a las precisiones adquiridas para las intensidades medias más altas.

La razón por la que el modelo se adecue mejor a la observación en los puntos en los que las intensidades son más altas y en las más bajas puede radicar en el hecho de que en esas zonas los datos se acercan mucho a los extremos para los que está programado el modelo matemático. Y donde las pendientes entre las curvas de observación y predicción son más parecidas como podemos observar en el ejemplo de la siguiente figura, donde consideramos que la línea azul es la observación y la roja el modelo.

Como hemos expresado en la gráfica no solo entra en juego el hecho de que el valor de intensidad esté cerca del máximo o del mínimo, sino que la situación geográfica de la estación también influye. En la situación representada podemos asociar el punto “ x_1 ” con Tarifa, donde los vientos son muy fuertes y el modelo se acerca mucho a la realidad. Sin embargo el punto “ x_2 ” se correspondería con Barbate, que se sitúa en la situación geográfica donde el cambio de pendiente se hace notable y se introducen grandes errores en el

modelo de predicción. Sin embargo el punto “ x_3 ” correspondería a una zona muy alejada del Estrecho, por ejemplo en Huelva. El comportamiento del modelo a este nivel se escapa de nuestro estudio.

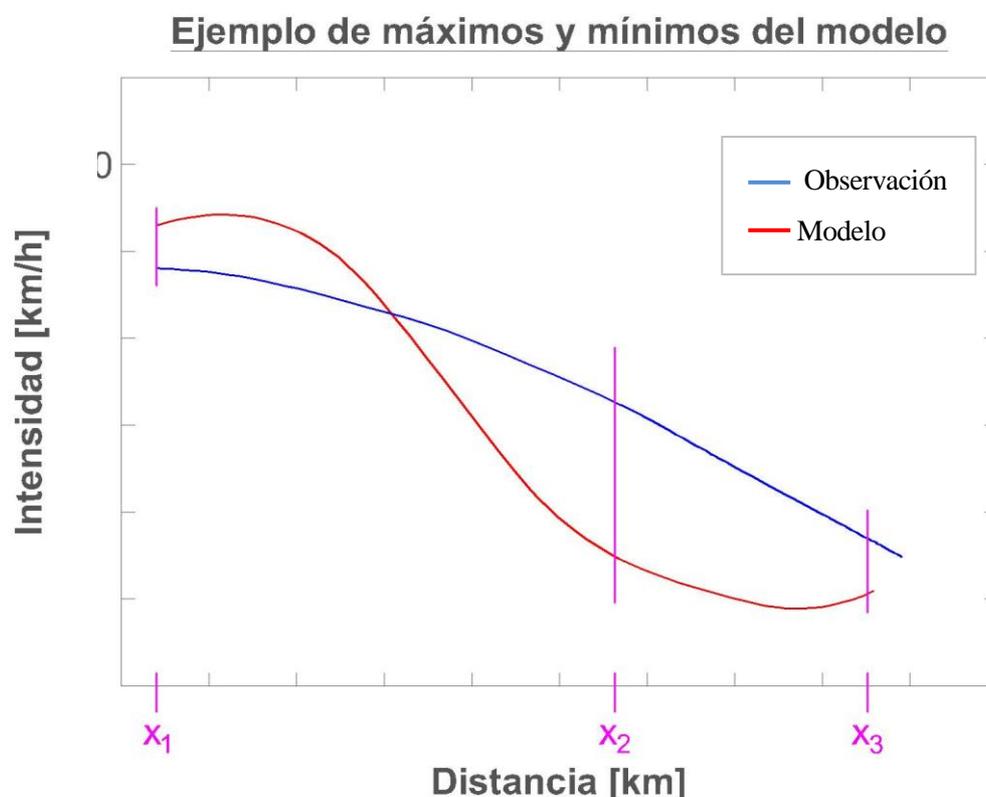


Figura 6-1. Ejemplo cualitativo de la aproximación de la predicción a la observación en función de la distancia al punto donde se genera el máximo para el que está programado el modelo.

6.2 Barbate

Como ya se ha comentado en los casos de vientos de origen **este** podemos concluir que el modelo es bastante sensible a las variaciones bruscas de intensidad, las cuales en su mayoría son originadas por la brisa diurna.

Especialmente en los días en los que la intensidad del viento es menor a 30 km/h, ya que al tratarse de un viento suave es más fácil que se produzca una desviación en la dirección provocada por un factor externo.

Por tanto, de forma general podemos notar que para las intensidades “flojo” y “flojo-moderado” las predicciones de intensidad, tanto la del “D+1” como la del “D+2”, se adaptan bien a la observación excepto en el tramo horario de 15:00 a 19:00 horas. Puesto que a esta hora suele generarse típicamente la brisa diurna con su correspondiente aumento de la intensidad.

Podemos observar que la típica representación de las predicciones es una gráfica continua prácticamente horizontal que generalmente se encuentra con una intensidad intermedia ligeramente superior a la media entre el mínimo y el máximo de la intensidad instantánea que se produce a lo largo del día. Consecuencia de que la programación del modelo se base en predecir bien los valores promedios.

Lo que da como resultado una predicción que excede a la observación a primeras horas de la mañana y últimas de la noche (cuando predomina la influencia de la brisa nocturna y la intensidad es suave) (sobrepredicción), y que queda por debajo de la observación en los puntos en los que hay un aumento de intensidad (subpredicción), principalmente generado por la brisa de tarde.

De una forma más particular señalaremos cual es la respuesta del modelo (o la media aritmética entre ambas)

que hace que predicción que se repita con mayor asiduidad para cada una de las tipologías de viento estudiadas. En el caso, de que se produzcan patrones que contienen a otros que también tengan cierta relevancia se marcará como óptimo aquel más restrictivo. Para los casos en los que la precisión entre el D+1 y el D+2 sea similar, se considerará siempre que el D+1 es la predicción más óptima, ya que es la que suele contener más datos horarios de intensidad. Y debido a que la predicción D+2 no suele contener los datos horarios que comprenden la brisa de tarde, el tramo más conflictivo para obtener precisiones altas con este modelo. Se mantendrán las dos predicciones cuando se considere que puedan darse distintas situaciones para una misma tipología que una de las predicciones reproduzca mejor que la otra.

	Intensidad	Patrón	Repeticiones de patrón	Explicación	Observación
Levante	Flojo	Aleatorio	3	Igualdad de días en los que el "D+1" se comporta igual que el "D+2". $T_{AD+1} = 60 \% - 70 \%$ $T_{AD+2} = 80 \% - 100 \%$	El "D+2" es generalmente más preciso pero con él se pierden muchos datos de la evaluación de la brisa de tarde.
			5		
			3		
	Flojo-Moderado	"D+1" > "D+2"	2	$T_{AD+1} = 45 \%$	Subpredicción de brisa de tarde.
			5		
			1		
			3		
	Moderado	"D+1" > "D+2"	2	$T_{AD+1} = 65 \% - 80 \%$	Subpredicción de brisa de tarde.
			2		
	Moderado-Fuerte	"D+1" = "D+2"	1	El modelo no falla, tiene una precisión del 100 %, tanto "D+1" como "D+2".	No hay necesidad de introducir modificaciones. Aunque puede ser que la muestra sea demasiado pequeña y esta muestra no sea significativa

Tabla 5-1. Conclusiones de Barbate para vientos de levante.

Cuando estudiamos los datos para los vientos del **Oeste** encontramos un comportamiento del modelo muy similar al anterior. Las gráficas de predicción se asemejan bastante a una línea continua prácticamente horizontal que mantiene una intensidad media casi coincidente con la media aritmética entre las intensidades extremas. Por lo que no se asemeja con gran exactitud a los cambios brusco de intensidad.

Adaptándose muy bien a los vientos suaves y continuos sin demasiadas fluctuaciones que suelen encontrarse en situaciones de poniente y produciéndose las mayores discrepancias en el tramo horario en el que se produce la brisa de tarde, aunque en este caso el modelo se adapta mucho mejor que con vientos de levante. Este aumento de intensidad suele ser la principal razón de la disminución de la precisión de las predicciones y responsable de que el “D+2” sea tenga una precisión mayor que el “D+1” en muchos casos que deben visualizarse con detenimiento. Ya que esta predominancia del “D+2” sobre el “D+1” no implica una veracidad mayor realmente, sino que simplemente al evaluar menos datos horarios, el porcentaje sea mayor en uno que en otro ajustando los mismos o incluso menos puntos que la otra predicción.

	Intensidad	Patrón	Repeticiones de patrón	Explicación	Modificación
Poniente	Muy flojo	“D+2” > “D+1”	1	$T_{AD+2} = 95\%$	Puede que la muestra no sea significativa.
	Flojo	Aleatorio	1	Igualdad de días en los que el “D+1” se comporta igual que el “D+2”.	Subpredicción.
			8		
			3		
			4		
			$T_{AD+1} = 70\%$ $T_{AD+2} = 70\%$		

Tabla 6-2. Conclusiones en Barbate para vientos de poniente.

En los vientos clasificados como **otros** vuelve a repetirse el patrón que se daba en levante y en poniente. El modelo no predice bien los cambios bruscos de intensidad, los cuales suelen coincidir con la influencia de la brisa diurna. Pero debido a que por regla general estos vientos suelen ser de intensidad suave, estos picos no suelen tener demasiada relevancia. Lo que nos hace encontrarnos con predicciones más exactas que en los casos anteriores.

	Intensidad	Patrón	Repeticiones de patrón	Explicación	Modificación
Otros	Muy flojo	"D+1" y "D+3/2"	2	$T_{AD+3/2} = 85 \%$	Subpredicción.
			3	$T_{AD+1} = 70 \% - 100 \%$	Sobrepredicción.
	Flojo	"D+1" > "D+2"	2	$T_{AD+1} = 70 \% - 85 \%$	Subpredicción. Sobrepredicción.
			3		
			2		
			1		

Tabla 6-3. Conclusiones en Barbate para vientos con otra dirección.

6.3 Ceuta

Al analizar el comportamiento del modelo en la estación de Ceuta observamos que tanto para levante como para poniente, en la mayoría de los días de muestra las predicciones no alcanzan el porcentaje mínimo de la tasa de acierto para considerarlas como admisibles. Produciéndose además, casi en la totalidad de los casos los errores por sobrepredicción de la observación.

Como dato añadido, la intensidad máxima que se ha podido muestrear es de 20 km/h. Un hecho que resulta llamativo porque a pesar de saber que su situación geográfica la limita a una zona donde el perfil de velocidades es más débil, en algunas ocasiones se esperaban datos más intensos, parecido a los captados en las estaciones vecinas.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Modificación
Levante	Muy flojo	“D+1” > “D+2”	1	$T_{AD+1} = 50 - 95\%$	Sobrepredicción
			4		
			1		
	Flojo	No admisible.	15	$T_{AD+1} < 40\%$ $T_{AD+2} < 40\%$	Sobrepredicción
			6		
			3		
1					

Tabla 6-4. Conclusiones en Ceuta para vientos de levante.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Modificación
Poniente	Muy flojo	No admisible.	5	$T_{AD+1} < 40\%$ $T_{AD+2} < 40\%$	Sobrepredicción
			2		
			3		
	Flojo	No admisible.	2	$T_{AD+1} < 40\%$ $T_{AD+2} < 40\%$	Sobrepredicción
			1		
			1		
			1		

Tabla 6-5. Conclusiones en Ceuta para vientos de poniente.

A diferencia de los dos casos anteriores, en los días en los que el viento tiene una dirección distinta a levante o poniente puros la predicción adquiere mucha más importancia. Obteniendo unas precisiones muy altas, con un 80 % de precisión. El motivo de los cambios de dirección en los vientos clasificados como “**otros**” es desconocido en un principio. Pero este tipo de direccionalidad suele coincidir con vientos con valores de intensidad muy pequeños.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Modificación
Otros	Muy flojo	Aleatorio	1	$T_{AD+1} = 80 \%$	Sobrepredicción
			4		
			3	$T_{AD+2} = 80 \%$	
			3		
	Flojo	“D+1” > “D+2”	2	$T_{AD+1} = 80 \%$	Con un solo día de muestra puede que la conclusión no sea significativa.

Tabla 6-6. Conclusiones en Ceuta para vientos con otras direcciones.

6.4 San Roque

A diferencia de lo que ocurría en otras estaciones la gráfica general de la predicción, tanto para “D+1” como para “D+2”, comprende un aumento de intensidad progresivo a últimas horas de la mañana, para después continuar con otra línea horizontal continua representativa de una intensidad media mayor que en los casos anteriores. Donde se solía representar la predicción diaria como una recta horizontal de valor de intensidad intermedio entre los valores extremos.

Este esquema general, no se corresponde con los datos de observación, los cuales indican un comportamiento monótono y continuo del régimen de vientos sin grandes picos de intensidad ni influencias de brisas.”

Quizá lo más llamativo sea la inversión del comportamiento durante el tramo horario de la brisa de tarde. Es obvio que el modelo no se comporta bien en presencia de esta brisa, ya que es en el tramo donde se concentran más errores en las predicciones. Consecuencia de que con vientos de levante, en la costa atlántica (Barbate), se cometan errores por subpredicción y en la mediterránea (San Roque), se cometan por sobrepredicción.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Observación
Levante	Muy flojo	Aleatorio	1	Igualdad de días en los que el D+1 se comporta igual que el D+2. $T_{AD+1} = 40 - 85 \%$ $T_{AD+1} = 80 - 100 \%$	Sobrepredicción
			1		
			3		
			1		
	Flojo	“D+1” > “D+2”	4	$T_{AD+1} = 50 - 95 \%$	Sobrepredicción.
			2		
			5		
			3		
	Moderado	“D+1” > “D+2”	1	$T_{AD+1} = 90 \%$	Con solo dos días de muestra puede que la conclusión no sea significativa.
			1		

Tabla 6-7. Conclusiones en San Roque para los vientos de levante.

Para los vientos de origen **Oeste** se puede visualizar en los datos de observación que se produce verdaderamente el aumento de intensidad que representa la predicción, que no se daba en los casos de levante. Lo que hace que las predicciones aumenten mucho su precisión ya que se adecuan muy bien a este cambio gradual.

Aunque al visualizar las tablas del anexo C podamos tener la impresión de que existe bastante aleatoriedad a la hora de elegir la predicción más óptima, al estudiar cada uno de los casos con más detenimiento encontramos que la mejor de ellas es la del “D+1”. Y en las situaciones en las que esta condición no se cumple, las tres predicciones tienen un comportamiento muy similar, pudiendo entonces sustituirse de nuevo por la predicción “D+1” como representante del resto.

Es remarcable que en todos los días de muestreo, los puntos discrepantes de las predicciones se han encontrado por debajo de la observación. Justamente al contrario que en levante.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Observación
Poniente	Flojo	“D+1” > “D+2”	7	$T_{AD+1} = 80 \%$	Subpredicción.
			6		
			2		
	Flojo-Moderado	“D+1” > “D+2”	2	$T_{AD+1} = 50 \%$	Subpredicción.

Tabla 6-8. Conclusiones en San Roque para vientos de poniente.

La gran cantidad de días de muestra y la ausencia de dominancia de una de las predicciones hace que la categoría de **otros** sea la más complicada de determinar.

Los picos de intensidad que no suelen aparecer ni en levante ni en poniente para esta estación hacen que no se pueda determinar una conclusión general de si los puntos discrepantes se producen por encima o por debajo de la observación. Debiéndose de analizar cada uno de los días como caso aislado.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Observación
Otros	Muy flojo	Aleatorio	2	No se puede prescindir de ninguna de las dos predicciones. $T_{AD+1} = 80\%$ $T_{AD+2} = 80\%$	Es complicado establecer si los puntos generalmente se calculan por defecto o por exceso, Hay que analizar cada día de forma aislada para determinarlo.
			2		
			3		
			4		
				1	
	Flojo	“D+1”=” D+2”	1	$T_{AD+1} = 80\%$ $T_{AD+2} = 80\%$	Sobrepredicción.+ Con solo un día de muestra puede que la conclusión no sea significativa

Tabla 6-9. Conclusiones en San Roque para vientos con otras direcciones.

6.5 Tarifa

En el caso de la estación de Tarifa no tiene mucho sentido el estudio de las brisas. Debido a que la influencia de estas es realmente notable cuando el régimen de vientos es lo suficientemente suave como para que las brisas puedan alterarlo.

Puesto que la localización de esta estación la sitúa en la zona donde el perfil de vientos es más intenso, resulta improbable que la que la influencia de este fenómeno sea relevante.

Especialmente en casos de los vientos de **levante**, donde solemos encontrar los vientos más intensos y donde hemos obtenido más días de muestra. Los cuales se reparten a lo largo de casi toda la escala de intensidades de viento que hemos definido. Aportándonos la posibilidad de extraer un mayor número de conclusiones dentro de los vientos marcados con esta direccionalidad, aunque bien es cierto que hay casos en los que encontraremos pocos días de muestra y puede que nuestras conclusiones puedan considerarse poco significativas, por este hecho.

A parte de lo ya comentado, en líneas generales podemos concluir que la precisión del modelo es bastante más alta en esta estación comparada con los resultados de las anteriores estaciones. Llegando a predicciones muy precisas, alrededor del 80% de media, o incluso más.

Esto puede deberse a que el modelo haya sido revisado con mayor interés, debido a la gran importancia de esta estación. O simplemente a que las predicciones se ajustan muy bien al régimen de vientos de Tarifa, los cuales suelen ser bastante constantes sin los típicos cambios bruscos de intensidad que al modelo le cuesta predecir.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrón	Explicación	Observación
Levante	Flojo	"D+1" > "D+2"	1	El modelo falla muy poco, tiene una precisión muy alta tanto.	Si usamos la predicción del D+1 no hay necesidad de introducir modificaciones.
			2		
	Flojo-Moderado	"D+1" = "D+2"	4	$T_{AD+1} = 60 - 70 \%$ $T_{AD+2} = 60 - 70 \%$	Subpredicción.
			6		
			1		
	Moderado	"D+1"	4	$T_{AD+1} = 80 \%$	Subpredicción.
5					
8					
Levante	Moderado-Fuerte	"D+1" = "D+2"	4	El modelo falla muy poco, tiene una precisión muy alta tanto en D+1 como en D+2.	No hay necesidad de introducir modificaciones.
			1		
	Fuerte	"D+1" = "D+2"	1	El modelo falla muy poco, tiene una precisión muy alta.	No hay necesidad de introducir modificaciones.

Tabla 6-10. Conclusiones en Tarifa para cientos de levante.

En caso de vientos con direccionalidad **oeste** y con intensidades típicamente más suaves y menos variables encontramos predicciones muy acertadas también, con precisiones que giran en torno al 80%. A pesar de que en este tipo de vientos si suelen aparecer pequeñas variaciones bruscas de intensidad, el modelo suele adaptarse bastante bien en estos casos, mucho mejor que en las estaciones anteriores.

Resultan llamativas las situaciones en las que la predicción del D 3/2 es la que mejor se ajusta de todas, pero bien es cierto que sustituirla en la mayoría de los casos por las precisiones aportadas por el modelo de forma directa, no variaría demasiado la exactitud del modelo; por lo cual tampoco parece demasiado relevante.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrones	Explicación	Observación
Poniente	Muy flojo	"D+1"="D+2"	2	$T_{AD+1} = 60 \%$	Subpredicción.
				$T_{AD+2} = 60 \%$	
	Flojo	"D+1"	10	$T_{AD+1} = 80 \%$	Subpredicción.
			4		
			1		
3					

Tabla 6-11. Conclusiones en Tarifa para vientos de poniente.

En caso de los vientos con **otra** direccionalidad es un poco más complicado sacar buenas conclusiones, puesto que la muestra disponible para ellos es mucho menor que en las otras. Pero como resumen de podría decir que atendiendo principalmente a la predicción aportada por el D+1 y obviando el resto, los resultados serían suficientes y encontraríamos precisiones alta.

	Intensidad	Patrón	Repetición de patrones	Explicación	Observación
Otros	Muy flojo	"D+1" > "D+2"	2	$T_{AD+1} = 80\%$	Muestra no significativa.
			1		
	Flojo	"D+1"="D+2"	2	$T_{AD+1} = 60 - 80\%$ $T_{AD+2} = 60 - 80\%$	Muestra no significativa

Tabla 6-12. Conclusiones en Tarifa para vientos con otras direcciones.

6.6 Resumen de las conclusiones

Introducimos este apartado para recapitular rápidamente las principales conclusiones que hemos extraído del estudio particular de cada una de las estaciones meteorológicas.

- Para la estación de **Barbate** se ha observado que para vientos de *levante*, el modelo predice muy bien la brisa nocturna, pero suele subpredecir la brisa diurna. Esto presenta un grave problema a la hora de realizar la comparativa entre la predicción de “D+1” con la “D+2”, puesto que no se tienen los datos horarios de durante este tramo horario en la mayoría de los casos. Por lo que existe una carencia de información para clasificar cual de las dos predicciones se ajustan mejor en este tramo horario. Para el resto de horas el modelo se ajusta con bastante precisión, alcanzándose tasas de acierto más altas para los vientos con intensidades medias más fuertes. Para los vientos de *poniente* u *otros*, el comportamiento cambia drásticamente, obteniéndose tasas de aciertos muy altas para vientos con intensidades muy suaves. En estos casos el porcentaje de la tasa de aciertos es mayor cuanto menor es la intensidad del viento, y se ajusta muy bien al pico de intensidad asociado a la brisa de tarde; produciéndose la mayoría de las discrepancias por errores de subpredicción.
- En la estación de **Tarifa** el modelo se comporta muy bien en las tres categorías de dirección, alcanzándose las tasas de aciertos más altas cuando la intensidad media del viento es más fuerte y produciéndose la mayoría de los errores por subpredicción. Saber que la tasa de acierto de esta estación ronda un 80% de media, nos verifica la fiabilidad del modelo en esta zona. Esta sea, quizá, nuestra conclusión más importante por la relevancia que juega el papel de Tarifa en el campo de la energía eólica.
- En **San Roque** encontramos una situación inversa a la de Barbate. Sobrepredicción de la brisa de tarde en casos de *levante*, una brisa, que en la mayoría de los casos no encontramos registrada como observación. Y sobrepredicción en la mayoría de los puntos discrepantes con vientos de *poniente* y *otros*, pero con una adecuación mucho del modelo de forma generalizada.
- En la estación de **Ceuta** la mayoría de las predicciones no han superado el límite de tasa de acierto para considerarla tolerable, por lo que concluimos que el modelo no es fiable en esta región. Aunque es muy llamativo que en las situaciones de *levante* y de *poniente* el modelo cometa muchos errores mientras que con vientos variables con *otras* direcciones se obtengan tasas de acierto superiores al 80%. Son diferencias demasiadas significativas dentro de una misma estación como para obviar el hecho de que debe existir un condicionante externo que no hemos tenido en cuenta. Es por ello por lo que se sospecha de que pueda haber problemas con la orientación de la estación meteorológica.
- De forma generalizada y para todas las estaciones tenemos la dependencia de la tasa de aciertos del modelo en función de la **intensidad media** que caracteriza al viento. Siendo el porcentaje de la tasa de aciertos creciente con el valor de la intensidad media para vientos de *levante*. Y manteniéndose constante y con valores muy altos para las direcciones de *poniente* y de *otros* incluso en situaciones en las que se dan intensidades muy bajas.
- La típica gráfica de la predicción como un valor intermedio entre los máximos y los mínimos instantáneos prácticamente constante, sugiere que **el modelo se centra en acertar en términos de valores promedios**.
- Otra de las conclusiones que podemos extraer es que no vale la pena el hecho de implementar **la predicción intermedia del “D+3/2”**, puesto que en la mayoría de los casos no tiene una buena adaptación a la observación. Y en los casos en los que sí la tiene, no se perdería demasiada información si fuera sustituida por alguna de las dos predicciones que vienen de serie. Ya que la diferencia entre las tasas de acierto de esta predicción con el resto es mínima.

7 LIMITACIONES DEL PROYECTO Y TRABAJOS FUTUROS

Al igual que en cualquier proyecto de investigación, a lo largo del desarrollo de este trabajo, han aparecido gran cantidad de limitaciones que han restringido el alcance del mismo.

Aún siendo consciente de ello, y habiéndose intentado sortear estos obstáculos en muchos casos ha sido imposible reprimirlos. Es por ello por lo que a continuación se van a enunciar las barreras más significativas con las que se ha encontrado este estudio.

7.1 Periodo de muestreo. Recogida de datos.

El análisis de datos experimentales siempre es un reto en la elaboración de un proyecto. Por ello es necesario establecer un marco de actuación en lo que corresponde a los mismos. ¿Qué tipo de datos vamos a estudiar? ¿Cómo vamos a hacerlo? ¿Qué cantidad de ellos necesitamos para que nuestro trabajo sea fiable?

Las respuestas a estas preguntas son tremendamente importantes, puesto que marcarán el alcance y el objetivo del proyecto.

La mayor limitación que hemos encontrado con respecto al tratamiento ha sido determinar el número de días de muestra necesarios para respaldar nuestras conclusiones. Con el fin de encontrar una solución de compromiso entre la veracidad de las conclusiones y que estos datos no fueran demasiado numerosos. Para que esta tarea no se convirtiera en inmanejable se decidió tomar como muestra los días de abril, mayo y junio.

A pesar de informatizar el proceso, la toma de una muestra superior a tres meses habría supuesto un aumento de trabajo mucho mayor en comparación a los datos que habríamos podido extraer.

Aunque bien es cierto, que no se puede negar la estacionalidad del periodo de muestreo. A priori cabría pensar la posibilidad que si el periodo de muestreo coincidiera con otra estación distinta a la primavera podrían extraerse conclusiones relacionadas algunas tipologías de viento que no hemos conseguido determinar bien con las muestras tomadas. Lo que permite una futura ampliación del proyecto.

Otro de los obstáculos que no podemos obviar es el tramo horario correspondiente a los datos horarios de la predicción del “D+2”. Puesto que la recogida de datos realizaba diariamente a las 0:00, los datos disponibles comprendían las 24 horas anteriores para las observaciones, las 24 siguientes para el “D+1” y las 13 horas consecutivas para la predicción del “D+2”.

Perdiéndose así, la mayoría de los datos a partir de las 13:00 en el “D+2”. Consecuencia de que el análisis de esta predicción no sea concluyente en las situaciones en las que la influencia de la brisa de tarde tomaba cierta importancia. La estación de Barbate es claramente un ejemplo de ello, puesto que los mayores errores en la predicción se cometían entre las 17:00 horas y 20:00 horas, datos que de forma general no estaban disponibles para la predicción “D+2”.

Y último está la limitación que nosotros mismos hemos establecido al definir la clasificación de los vientos. Los estrictos criterios de clasificación por intensidad y dirección han generado un gran conjunto de tipologías de viento que analizar por separado. Generando muestras más dispersas para cada tipología de viento en las estaciones que poseen un régimen de viento más diverso. Mientras que en las estaciones que cuentan con un régimen de viento más monótono y continuo se han extraído conclusiones mejor respaldadas que en las otras.

En otras palabras, no todas las conclusiones tienen una misma fiabilidad, ni se han podido extraer conclusiones del comportamiento del modelo en todos los casos propuestos en cada una de las estaciones.

7.2 Zona de muestreo. Estaciones meteorológicas.

La selección de estaciones meteorológicas se ha realizado intentando cubrir el régimen de vientos más variado posible dentro del estrecho usando el número mínimo de instalaciones.

Puesto que estos datos son públicos, este trabajo sería fácilmente ampliable usando los datos de otras estaciones meteorológicas posesión de AEMET.

Al igual que el periodo de muestreo, la zona de muestreo podría ampliarse todo lo deseado, cubriendo no solo la zona del Estrecho o la totalidad incluso de la provincia de Cádiz (muy útil si quisiéramos analizar lo que ocurre en las localidades más alejadas de la costa). Sino que podríamos llegar a verificar el modelo de vientos en todo el territorio español.

Aunque para alcanzar nuestros objetivos han sido más que suficientes los datos aportados por estas cuatro estaciones.

7.3 Informatizar direcciones

A pesar de que el objetivo del proyecto era verificar la fiabilidad el modelo de predicción de viento para el parámetro intensidad, también habría sido posible considerar la informatización de la dirección para hacer esta tarea más amena.

Las gráficas de dirección sacadas de la web de AEMET que se adjuntan como anexos son la base en la que nos hemos apoyado para realizar la clasificación según este parámetro.

La comparación entre la dirección de la predicción y la observación de manera análoga a como se hizo con la intensidad habría facilitado esta tarea. Incluso podría haber servido para estudiar el comportamiento del modelo en la predicción de la dirección. Pero esta cuestión se deja para estudios posteriores.

7.4 Caso particular de la estación de Ceuta

De todas las conclusiones que se han extraído el caso más llamativo se ha dado al estudiar la estación meteorológica de Ceuta.

La gran tasa de fallos que produce el modelo numérico en esta estación sugiere que se revise esta instalación con gran detenimiento. Dicho comportamiento tan peculiar induce a pensar en dos posibilidades:

- Es necesario reprogramar el modelo numérico para levante y poniente en la estación de Ceuta, puesto que las predicciones no concuerdan con la observación en la mayoría de los casos.
- Es posible que la estación meteorológica se encuentre en mal estado, o la orientación de la misma no sea la correcta produciéndose efectos de apantallamiento de viento en estas direcciones que generen medidas erróneas. Se sospecha que esta es la verdadera causa de que el modelo no concuerde con las observaciones, porque también justificaría el hecho de que el modelo fuese muy preciso con

Dicho esto, por nuestra parte solo podemos realizar especulaciones a que la revisión se nuestras sospechas se encuentra fuera de nuestro alcance.

7.5 Para el análisis de la dirección solo se han tenido en cuenta solo los datos de viento. Prestando mayor atención a las brisas y a la orografía.

Al analizar exclusivamente los datos de viento hemos aislado la influencia de otros factores externos que hayan influido en días concretos.

Es decir, hemos obviado la influencia de tormentas, frentes y otros meteoros que hayan podido alterar el régimen de viento general que nosotros hemos estado estudiando.

Reduciendo la validez de nuestras teorías de optimización del comportamiento del viento a aquellos días en los que la influencia de la orografía y las brisas han sido más significativas. Y aceptando el error que hemos podido introducir al obviar la repercusión que han podido tener otros meteoros sobre el régimen de vientos.

7.6 Posible filtrado de las observaciones.

Con el objetivo de suavizar los picos de intensidad observados en el modelo podríamos haber realizado un filtrado de las observaciones ponderándolas con los valores horarios vecinos del valor instantáneo en cuestión. Gracias a este procedimiento habríamos conseguido observaciones más ajustadas a las predicciones dando lugar a un análisis con tasas de acierto distintas. La búsqueda de los pesos para que dicho ajuste se aproxime de la mejor manera a la salida del modelo se deja para futuras ampliaciones de este proyecto.

7.7 Analizar los datos de temperatura los días de brisas importantes.

Como ya se ha comentado, en este trabajo se ha estudiado el viento como fenómeno meteorológico aislado, aunque sabemos que esta hipótesis no es del todo real.

Uno de los horizontes por los que este proyecto podría ser ampliable sería el análisis de los datos de temperatura en los días de muestra en los que el efecto de las brisas ha sido relevante. Con los que fácilmente podríamos comprobar si los datos de temperatura en las estaciones de Barbate y San Roque, las más afectadas por las brisas, se corresponden con los de viento.

Con intención de confirmar si la sobrepredicción de la brisa de tarde en estas estaciones se debe a un fallo aislado del modelo para el cálculo de la predicción o si realmente existe un error de consistencia del mismo.

7.8 Estudiar toda la costa mediterránea.

Obviamente a mayor número de estaciones, mayor número de datos y mayor número de datos, más fundamento tienen las conclusiones extraídas. En otras palabras, cuanto más datos seamos capaces de analizar mejor será nuestro estudio, como ya se ha comentado antes.

Pero sería de especial interés seleccionar como estaciones de estudio una agrupación que se encontrara distribuida por toda la costa mediterránea. Puesto que esto nos permitiría no solo estudiar el comportamiento del modelo en los puntos que se encuentran cerca de los máximos de intensidad, sino también los que se encontrasen cerca de los mínimos. Y de esta forma hacer más completo nuestro estudio.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Historia de la meteorología http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_meteorología
- [2] Organización Meteorológica Mundial www.wmo.int
- [3] Agencia Internacional de la Energía www.iea.org/
- [4] Conferencia HIRLAM <http://www.hirlam.org/>
- [5] Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo <http://www.ecmwf.int/>
- [6] Agencia Estatal de Meteorología www.aemet.es
- [7] Modelos numéricos de predicción <http://www.tethys.cat/antics/num02/articles/art0205esp.htm>
- [8] García -Moya, J.A. (1.998). La convección y su tratamiento en los modelos de predicción numérica del tiempo. Informe Técnico del INM ,137-156.
- [9] García-Moya, J.A (1.996). Different convection schemes over the Iberian Peninsula. XXI European Geophysical Society Assembly, Proceedings Volume.
- [10] García-Moya, J.A. (1.996). Una nueva parametrización de la convección en el modelo HIRLAM. IV Simposio Nacional de Predictores. Volumen de Comunicaciones: en prensa.
- [11] Instituto Nacional de Meteorología, (1.992), Boletín mensual de verificación del modelo de área limitada del INM.
- [12] Calvo Sánchez, Javier. (1.994). Verificación de las predicciones MOS de viento en superficie para el periodo Junio 92-Abril 94. Madrid:s.n.
- [13] Ayuso Estebaranz, Juan José. y Río Ladrón de Guevara, Pablo del. (1.992). Verificación objetiva de la predicción por adaptación estadística de temperaturas extremas. Madrid: s.n.
- [14] Pino Domínguez, José Miguel del. (2.015), Modelo de predicción de la potencia de un parque eólico marino en el Estrecho de Gibraltar. Universidad de Sevilla.

[15] González López, B. (2.006). *Meteorología aeronáutica*. Madrid: AVA, Actividades Varias Aeronáuticas S.L.

[16] Palomares Losada, Ana María. (2.002). Caracterización del régimen de vientos y desarrollo de un modelo de predicción eólica a escala local en el Estrecho de Gibraltar. Universidad Complutense de Madrid.

9 ANEXOS

9.1 Anexo A. Tablas de control de calidad.

Con la intención de tener un seguimiento exhaustivo de los días de muestreo, se han incluido estas tablas de control de calidad. Donde se recogen cada una de las series temporales en las que se ha realizado el muestreo caracterizadas por una etiqueta en la que se marca la intensidad media del viento en ese día y el color de patrón correspondiente al comportamiento del modelo. Incluyéndose también un apartado de dirección, en el que se especificará la dirección de la estación de Tarifa, puesto que es donde este parámetro se observa de una forma más clara.

La lectura de la columna “Repetición de patrón” en las tablas del apartado de conclusiones se realiza de forma similar a la de estas tablas. Puesto que en dicho caso se marcaban una serie de números, los cuales se correspondían con el número de días en los que se repetía un patrón de comportamiento del modelo de su color correspondiente.

SERIE TEMPORAL	BARBATE	CEUTA	SAN ROQUE	TARIFA	DIRECCIÓN
2 abril	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado-Fuerte	Levante
3 abril	Flojo	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
4 abril	Flojo	Flojo	Muy flojo	Moderado	Levante
5 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo-Moderado	Levante
6 abril	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
7 abril	Moderado	Flojo	Moderado	Fuerte	Levante
8 abril	Moderado-Fuerte	Flojo	Moderado	Moderado-Fuerte	Levante
9 abril	Flojo	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
10 abril	Flojo	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
11 abril	Flojo	Flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Levante
12 abril	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado	Levante

13 abril	Moderado	Flojo	Flojo	Moderado-Fuerte	Levante
14 abril	Moderado	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
15 abril	Muy flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Muy flojo	Otros
16 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
17 abril	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Otros
18 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
19 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
20 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo-Moderado	Levante
28 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
29 abril	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
30 abril	Flojo	Flojo	Muy flojo	Muy flojo	Poniente

Tabla de control de calidad del mes de abril.

SERIE TEMPORAL	BARBATE	CEUTA	SAN ROQUE	TARIFA	DIRECCIÓN
1 mayo	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Otros
2 mayo	Flojo	Muy flojo	Muy flojo	Flojo	Levante
3 mayo	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Poniente
4 mayo	Muy flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
5 mayo	Flojo	Flojo	Flojo	Flojo	Poniente
6 mayo	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
7 mayo	Flojo	Muy flojo	Muy flojo	Moderado	Levante
8 mayo	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
9 mayo	Flojo	Muy flojo	Muy flojo	Flojo	Levante
10 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Flojo-Moderado	Levante
11 mayo	Flojo	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
15 mayo	Flojo	Flojo	Flojo-Moderado	Flojo	Poniente
16 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Levante
17 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado-Fuerte	Levante
18 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	Muy flojo	Moderado	Levante
19 mayo	Flojo	Flojo	Flojo	Flojo	Poniente
20 mayo	Flojo	Flojo	Muy flojo	Flojo	Otros
21 mayo	Flojo	Flojo	Muy flojo	Moderado	Levante
22 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	–	Moderado	Levante
23 mayo	Flojo-Moderado	Flojo	–	Moderado	Levante
24 mayo	Flojo	Flojo	–	Flojo-	Levante

				Moderado	
25 mayo	Flojo	Muy flojo	–	Flojo	Levante
26 mayo	Flojo	Muy flojo	–	Flojo-Moderado	Levante
27 mayo	Flojo	Muy flojo	–	Flojo-Moderado	Levante
28 mayo	Moderado	Flojo	–	Moderado-Fuerte	Levante

Tabla de control de calidad del mes de mayo.

SERIE TEMPORAL	BARBATE	CEUTA	SAN ROQUE	TARIFA	DIRECCIÓN
13 junio	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
14 junio	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Otros
15 junio	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
16 junio	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
17 junio	Flojo-Moderado	Muy flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Levante
18 junio	Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado	Levante
19 junio	Flojo	Flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Levante
20 junio	Flojo	Flojo	Muy flojo	Moderado	Levante
21 junio	Muy flojo	Muy flojo	Muy flojo	Flojo-Moderado	Levante
22 junio	Flojo	Muy flojo	Flojo	Flojo	Poniente
23 junio	Flojo	Flojo	Flojo-Moderado	Flojo	Poniente
24 junio	Flojo	Flojo	Flojo	Flojo	Poniente

Tabla de control de calidad del mes de junio.

9.2 Anexo B. Tablas y gráficas elementales.

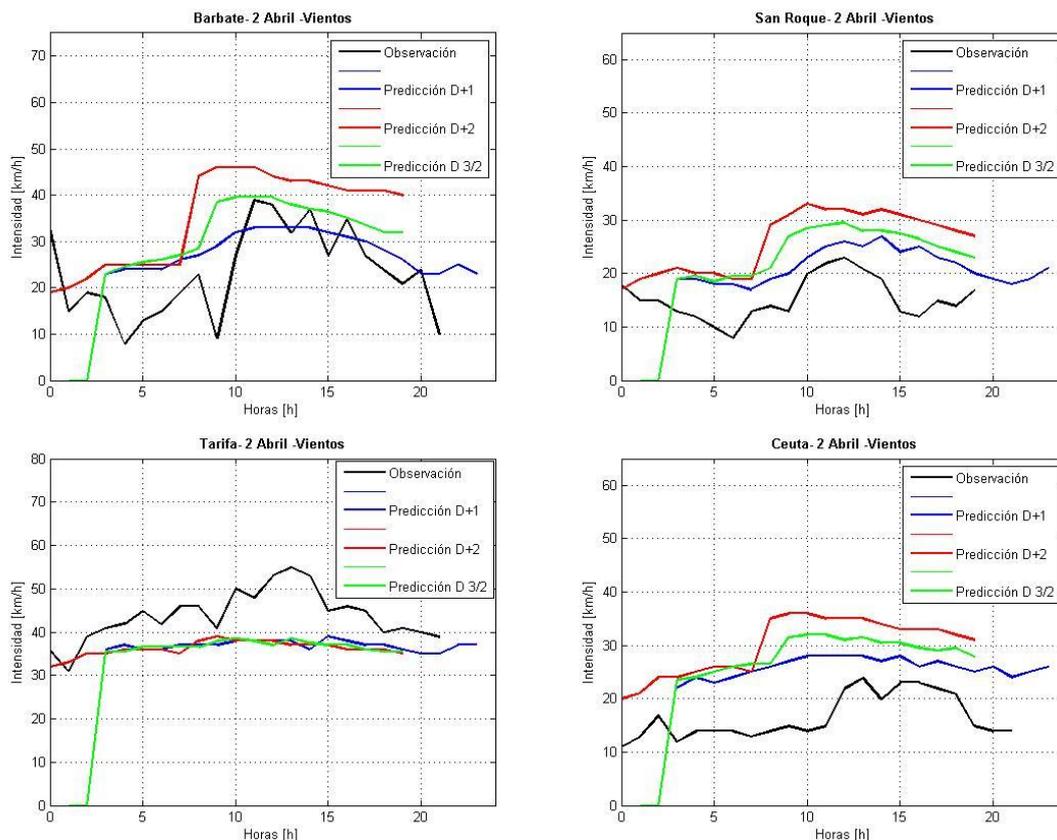
Para la realización de este proyecto, como ya se ha nombrado anteriormente se ha necesitado extraer los datos horarios de viento desde la página de AEMET, durante los meses de abril, mayo y junio.

Estos datos se han procesado gracias al código de Matlab diseñado con tal objetivo, dando lugar a una serie de tablas y gráficas que han permitido analizar correctamente el comportamiento del modelo matemático para cada una de las clasificaciones de vientos que hemos definido en apartados anteriores.

Puesto que los días de muestreo son muy numerosos y por tanto, las tablas y gráficas resultantes de estos también, se ha decidido que solo se mostrarán los correspondientes a tres series temporales. A partir de ahí, los datos que se incluirán serán los del anexo C, donde se encontrarán unas tablas resúmenes marcadas con los colores de los patrones de viento que se han mencionado en otros apartados. Con la finalidad de disminuir al máximo los datos redundantes pero sin dejar de mostrar la verdadera metodología que se ha seguido durante el desarrollo de este trabajo.

Fecha: 2 abril 2015		Barbate	Ceuta	San Roque	Tarifa
Media		23.3 km/h	16.5 km/h	15.4 km/h	43.8 km/h
Clasificación del viento		Flojo-Moderado	Flojo	Flojo	Moderado-Fuerte
Dirección		Este	Este	Este	Este
D+1	Aproximación	52 %	24 %	65 %	85 %
	Discrepancia por encima	80 %	100%	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	20 %	0 %	0 %	100 %
D+2	Aproximación	30 %	0 %	15 %	85 %
	Discrepancia por encima	93 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	7 %	0 %	0 %	100 %
D 3/2	Aproximación	37 %	0 %	10.5 %	74 %
	Discrepancia por encima	83 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	17 %	0 %	0 %	100 %

Tabla elemental de índices de calidad del día 2 de abril.



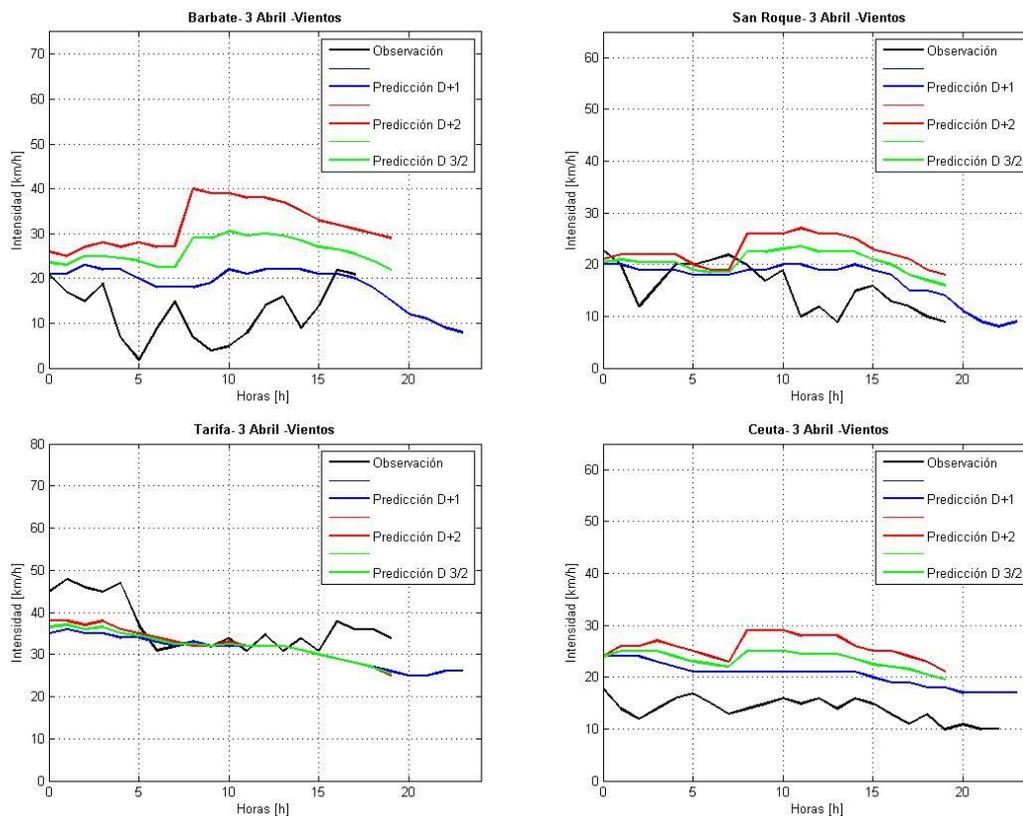
Gráfica elemental de la comparativa entre las predicciones y la observación, en las cuatro estaciones el día 2 de abril.



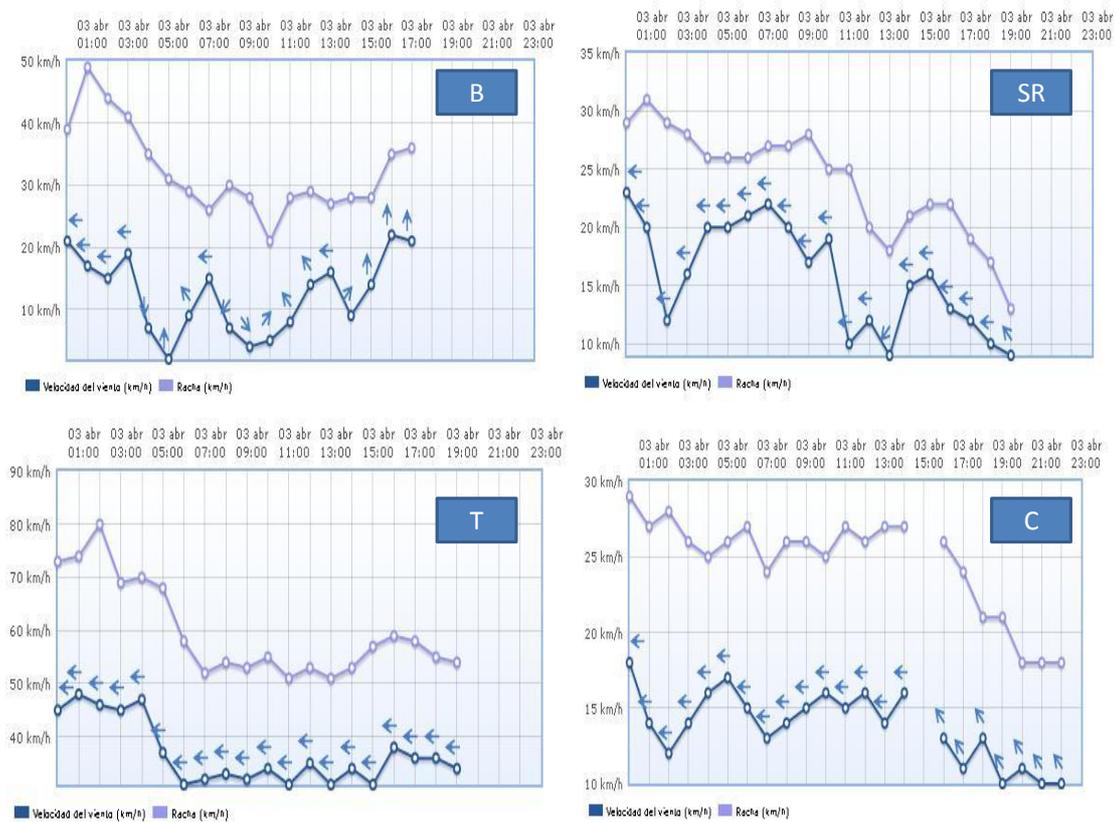
Gráfica de las direcciones observadas en las cuatro estaciones el día 2 de abril.

Fecha: 3 abril 2015		Barbate	Ceuta	San Roque	Tarifa
Media		12.5 km/h	13.8 km/h	15.8 km/h	37 km/h
Clasificación del viento		Flojo	Flojo	Flojo	Moderado
Dirección		Este-Norte-Sur	Este	Este	Este
D+1	Aproximación	33.3 %	28 %	80 %	95 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %
D+2	Aproximación	5.5 %	0 %	30 %	95 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %
D 3/2	Aproximación	17 %	0 %	50 %	95 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %

Tabla elemental de índices de calidad del día 3 de abril.



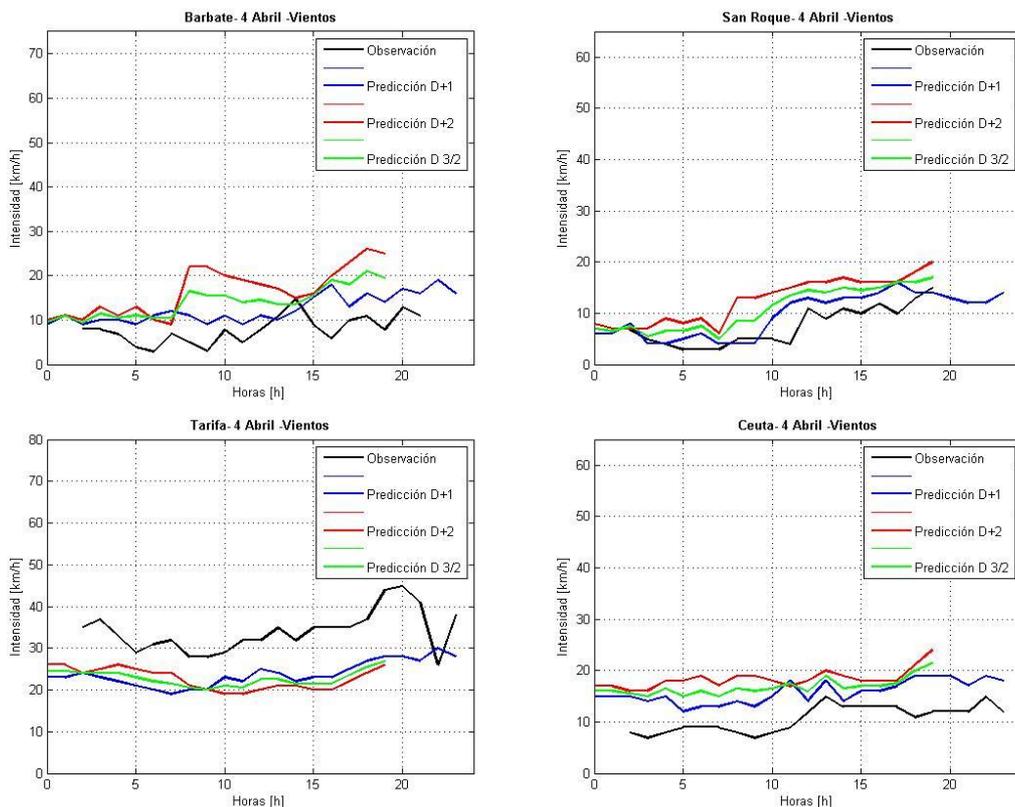
Gráfica elemental de la comparativa entre las predicciones y la observación, en las cuatro estaciones el día 3 de abril.



Gráfica de las direcciones observadas en las cuatro estaciones el día 3 de abril.

Fecha: 4 abril 2015		Barbate	Ceuta	San Roque	Tarifa
Media		8 km/h	10.7 km/h	7.5 km/h	34 km/h
Clasificación del viento		Muy flojo	Flojo	Muy flojo	Moderado
Dirección		Norte-Este	Este-Sur	Este-Norte	Este
D+1	Aproximación	70 %	61 %	100 %	14 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	0 %	0%
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %
D+2	Aproximación	25 %	15 %	66.7 %	25 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	100 %	0 %
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %
D 3/2	Aproximación	35 %	25 %	100 %	20 %
	Discrepancia por encima	100 %	100 %	0 %	0 %
	Discrepancia por debajo	0 %	0 %	0 %	100 %

Tabla elemental de índices de calidad del día 4 de abril.



Gráfica elemental de la comparativa entre las predicciones y la observación, en las cuatro estaciones el día 4 de abril.



Gráfica de las direcciones observadas en las cuatro estaciones el día 4 de abril.

9.3 Anexo C. Tablas resumen.

En las tablas resumen veremos marcados cada uno de los días con el color correspondiente al patrón de comportamiento que hemos establecido en el apartado 3. Puede que en algún caso particular el indicador de precisión de las predicciones no concuerde con el color del patrón con el que se ha marcado.

En caso de encontrarnos con tal conflicto deberemos darle prioridad al color antes que a la precisión, puesto que este hecho se debe a que al disponer de menor número de datos horarios para el “D+3/2” y para el “D+2”; tanto por ciento de estos puede ser superior al del “D+1” a pesar de que en los tres casos tengan el mismo número de puntos dentro del rango de tolerancia instantánea.

Para realizar estas correcciones se ha dispuesto las tablas y gráficas elementales, y se ha analizado en detalle cada uno de los días de muestra.

Adjuntamos la siguiente tabla a modo de leyenda para los posteriores formatos A3 que contendrán toda la información necesaria para entender este proyecto de forma resumida.

Color del patrón	Descripción
Negro	Comportamiento similar de “D+1”, “D+2” y “D+3/2” [“D+1”=“D+2”]
Azul	Comportamiento de “D+1” mejor que “D+2” y el “D+3/2” no aporta nada [“D+1 > D+2”]
Verde	Comportamiento de “D+2” mejor que “D+1” el “D+3/2” no aporta nada [“D+1” < “D+2”]
Morado	Comportamiento de “D+3/2” mejor que “D+1” y “D+2” [“D+3/2” > “D+1” y “D+2”]
Rojo	Cuando la tasa de acierto de la mejor de las predicciones no supera el 40%

Leyenda de las tablas resumen.

(Meter aquí los formatos A3, no se puede imprimir seguido)

(Hay que dejar tantos espacios en blanco como páginas haya o cambiar la numeración)

9.4 Anexo D. Código de matlab.

A continuación se muestra el código que se ha usado para procesar los datos de la estación de Barbate. El mismo fragmento de código se ha reutilizado para procesar los datos del resto de las estaciones.

```
%Todos los datos con los que se rellenan los vectores son extraídos de los
%archivos excel que proporciona AEMET como datos públicos
```

```
%Barbate
figure(1)
%Datos observación
a=[]; %Vector de las horas de la observación

b=[]; %Vector de los datos de viento de la observación
```

```
k1=1;
for i=length(b):-1:1
    b1(k1)=b(i);
    k1=k1+1;
end
```

```
%Predicción D+1
c=[]; %Vector de las horas del D+1
d=[]; %Vector de los datos de viento del D+1
```

```
%Predicción D+2
e=[]; %Vector de las horas del D+2
f=[]; %Vector de los datos de viento del D+2
```

```
%Prueba de D3/2
```

```
c1=max(min([c]),min([e]));
c2=min(max([c]), max([e]));

if c1==0;
    largol=[c1:c2];
    c1=1;
    for cont=c1:(c2+1)
        B_nuevo(cont)=(d(cont)+f(cont))/2;
    end
else
    for cont=c1:c2
        largol=[c1:c2];
        B_nuevo(cont)=(d(cont)+f(cont))/2;
    end
end
```

```
%Clasificación de vientos
i=0;
n1=length(b);
sumal=0;
for i=1:n1
```

```

    suma1=suma1+b(i);
end
B_media=suma1/n1;

%Estudio de la bondad de la aproximación D+1

mini1=min([length(a),length(c),length(b)]); %Teoricamente
length(a)=length(b); por tanto el último mínimo es redundante, pero si da
fallo añádelo a las otras estaciones
mini2=min([length(a),length(e), length(b)]);
mini_B=min([length(a), length(B_nuevo),length(b)]);

porarriba1=0;
porabajo1=0;
acumulado1=0;
discrep=0;

for i=1:mini1
    dif1=b1(i)-d(i);
    if b1(i)<=20 && abs(dif1)>5 && dif1>0
        porabajo1=porabajo1+1;
        acumulado1=acumulado1+1;
    elseif b1(i)<=20 && abs(dif1)>5 && dif1<0
        porarriba1=porarriba1+1;
        acumulado1=acumulado1+1;

    elseif b1(i)>20 && abs(dif1)>b1(i)/4 && dif1>0
        porabajo1=porabajo1+1;
        acumulado1=acumulado1+1;

    elseif b1(i)>20 && abs(dif1)>b1(i)/4 && dif1<0
        porarriba1=porarriba1+1;
        acumulado1=acumulado1+1;

    end
end

B_Porcent_arriba_1=(porarriba1/acumulado1)*100;
B_Porcent_abajo_1=(porabajo1/acumulado1)*100;

B_porcent1=((mini1-acumulado1)/mini1)*100;

%Estudio de la bondad de la aproximación D+2

porarriba2=0;
porabajo2=0;
acumulado2=0;
discrep2=0;

for i=1:mini2
    dif2=b1(i)-f(i);
    if b1(i)<=20 && abs(dif2)>5 && dif2>0
        porabajo2=porabajo2+1;
        acumulado2=acumulado2+1;
    elseif b1(i)<=20 && abs(dif2)>5 && dif2<0
        porarriba2=porarriba2+1;
        acumulado2=acumulado2+1;
    end
end

```

```

elseif b1(i)>20 && abs(dif2)>b1(i)/4 && dif2>0
    porabajo2=porabajo2+1;
    acumulado2=acumulado2+1;

elseif b1(i)>20 && abs(dif2)>b1(i)/4 && dif2<0
    porarriba2=porarriba2+1;
    acumulado2=acumulado2+1;

end
end

B_Porcent_arriba_2=(porarriba2/acumulado2)*100;
B_Porcent_abajo_2=(porabajo2/acumulado2)*100;

B_porcent2=((mini2-acumulado2)/mini2)*100;

porarriba3=0;
porabajo3=0;
acumulado3=0;
discrep3=0;

for i=1:mini_B

    dif3=b1(i)-B_nuevo(i);
    if b1(i)<=20 && abs(dif3)>5 && dif3>0
        porabajo3=porabajo3+1;
        acumulado3=acumulado3+1;
    elseif b1(i)<=20 && abs(dif3)>5 && dif3<0
        porarriba3=porarriba3+1;
        acumulado3=acumulado3+1;

    elseif b1(i)>20 && abs(dif3)>b1(i)/4 && dif3>0
        porabajo3=porabajo3+1;
        acumulado3=acumulado3+1;

    elseif b1(i)>20 && abs(dif3)>b1(i)/4 && dif3<0
        porarriba3=porarriba3+1;
        acumulado3=acumulado3+1;

    end
end

B_Porcent_arriba_3=(porarriba3/acumulado3)*100;
B_Porcent_abajo_3=(porabajo3/acumulado3)*100;

B_porcent_nuevo=((mini_B-acumulado3)/mini_B)*100;

%Ordenar
format long, B_media, format short
format long, B_porcent1, format short
format long, B_porcent2, format short
format long, B_porcent_nuevo, format short

```

```
format long, B_Porcent_arriba_1, format short
format long, B_Porcent_abajo_1, format short

format long, B_Porcent_arriba_2, format short
format long, B_Porcent_abajo_2, format short

format long, B_Porcent_arriba_3, format short
format long, B_Porcent_abajo_3, format short

%Representación

plot(a,b,'k');
title('Barbate- Fecha -Vientos','FontWeight','bold');

plot(a,b,'LineWidth',2,'DisplayName','Observación',...
      'Color',[0 0 0]);

title('Barbate- Fecha -Vientos','FontWeight','bold');
xlabel('Horas [h]')
ylabel('Intensidad [km/h]')

xlim([0 24])
ylim([0 70])

hold on
figure (1)
plot(c,d,'b')

plot(c,d,'LineWidth',2,'Color',[0 0 1],...
      'DisplayName','Predicción D+1');

hold on
figure (1)
plot(e,f,'r')

plot(e,f,'LineWidth',2,'Color',[1 0 0],...
      'DisplayName','Predicción D+2');

grid on

hold on
figure (1)
plot(largo1,B_nuevo,'g')

plot(largo1,B_nuevo,'LineWidth',2,'Color',[0 1 0],...
      'DisplayName','Predicción D 3/2');

legend('show');

grid on

legend('show');
```


BARBATE

DIRECCIÓN GENERAL DEL VIENTO	MUY FLOJO	FLOJO	FLOJO-MODERADO	MODERADO	MODERADO-FUERTE
LEVANTE	ABRIL	(9)D+1-33% D+2-22% D 3/2- 22% ↑100%	(2)D+1-45 % D+2-20% D 3/2- 20% ↑ 100%	(7)D+1-81 % D+2-65% D 3/2- 72% ↑ 100%	(8)D+1-100 % D+2-100% D 3/2- 100% -
	MAYO	(10)D+1-38% D+2-60% D 3/2- 46% ↑80%	(6)D+1-45 % D+2-20% D 3/2- 20% ↑ 100%	(13)D+1-45 % D+2-60% D 3/2-60% Discrepancias variables	MAYO
	JUNIO	(11)D+1-60% D+2-60% D 3/2- 50% ↓100%	(12)D+1-50% D+2-65% D 3/2- 50% ↑ 50% ↓50%	(14)D+1-40 % D+2-70% D 3/2-70% Discrepancias variables	
		(20)D+1-70% D+2-65% D 3/2-70% ↓50% ↑ 50%	(10)D+1-20 % D+2-20% D 3/2- 15% ↑ 70%-100%	(28)D+1-65 % D+2-50% D 3/2- 50% ↑ 70%-100%	
		(11)D+1-10% D+2-5% D 3/2- 0% ↑100%	(16)D+1-40 % D+2-50% D 3/2- 40% Discrepancias variables	JUNIO	
		(21)D+1-73% D+2-70% D 3/2- 70% Discrepancias variables	(17)D+1-25 % D+2-30% D 3/2- 25% ↑ 80%-100%		
		(24)D+1-35% D+2-50% D 3/2- 40% ↑70%-80%	(18)D+1-50 % D+2-20% D 3/2- 25% Discrepancias variables		
		(25)D+1-40% D+2-40% D 3/2- 40% ↑50%-↓50%	(22)D+1-45 % D+2-30% D 3/2- 35% ↑50%- ↓50%		
		(27)D+1-75% D+2-75% D 3/2- 80% ↑100%	(23)D+1-60 % D+2-30% D 3/2- 20% ↑70%- 100%		
		(19)D+1-22 % D+2-15% D 3/2- 15% ↑ 80%	(17)D+1-55 % D+2-50% D 3/2- 50% ↑ 100%		
	(20)D+1-37 % D+2-50% D 3/2- 43% ↑ 80%-100%	(18)D+1-55 % D+2-55% D 3/2- 50% ↑ 80%-100%			

PONIENTE	(17)D+1-73% D+2-95% D 3/2- 75% ↓ 100% ↑ 100%	(16)D+1-73% D+2-50% D 3/2- 57% ↓ 100%	ABRIL		
	MAYO	(18)D+1-70% D+2-85% D 3/2- 75% ↓ 70% ↑ 100%	MAYO		
	JUNIO	(19)D+1-50% D+2-45% D 3/2- 54% ↓ 50% ↑ 50%	JUNIO		
		(28)D+1-75% D+2-85% D 3/2- 85% ↓ 50% ↑ 50%			
		(29)D+1-70% D+2-75% D 3/2- 80% ↓ 50% ↑ 50%			
		(5)D+1-82 % D+2-75% D 3/2- 95% ↑ 100%			
		(6)D+1-45 % D+2-65% D 3/2- 60% ↓ 80%-100%			
		(8)D+1-50% D+2-20% D 3/2- 50% Discrepancias variables			
		(15)D+1-50% D+2-30% D 3/2- 35% ↑50%-↓50%			
		(19)D+1-60% D+2-75% D 3/2- 65% ↓100%			
	(20)D+1-30% D+2-15% D 3/2- 20% ↓90%-100%				
	(13)D+1-50% D+2-55% D 3/2- 58% ↑50%-↓50%				
	(14)D+1-67% D+2-60% D 3/2- 65% ↑85%-100%				
	(15)D+1-30% D+2-65% D 3/2- 30% ↑80%-100%				
	(16)D+1-85% D+2-60% D 3/2- 85% Discrepancias variables				

		<p>(22)D+1-17% D+2-73% D 3/2- 45% ↓100%</p> <p>(23)D+1-60% D+2-50% D 3/2- 60% ↑ 30%-↓70%</p> <p>(24)D+1-70% D+2-60% D 3/2- 65% ↑ 50%-↓50%</p>			
OTROS	<p>(15)D+1-100% D+2-20% D 3/2- 40% ↑ 100%</p>	<p>(3)D+1-33.3% D+2-5% D 3/2- 14% ↑ 100%</p>			
	<p>(1)D+1-70% D+2-60% D 3/2- 60% ↓ 80%-100%</p> <p>(3)D+1-70% D+2-70% D 3/2- 85% ↓ 100%</p> <p>(4)D+1-60% D+2-79% D 3/2- 80% ↓ 80%-100%</p>	<p>(4)D+1-70% D+2-25% D 3/2- 35% ↑ 100%</p> <p>(5)D+1-50% D+2-35% D 3/2- 50% ↑ 50% ↓ 50%</p> <p>(30)D+1-70% D+2-75% D 3/2- 85% ↑ 70%</p>			
	<p>(21)D+1-65% D+2-7% D 3/2- 38% ↑40%- ↓60%</p>	<p>(2)D+1-85% D+2-60% D 3/2- 77% ↓70%-100%</p> <p>(7)D+1-10% D+2-20% D 3/2- 20% ↑100%</p> <p>(9)D+1-65% D+2-60% D 3/2- 65% Discrepancias variables</p> <p>(26)D+1-50% D+2-60% D 3/2- 50% ↓100%</p>			
		JUNIO			

Tabla resumen de tipos de viento en Barbate.

CEUTA

DIRECCIÓN GENERAL DEL VIENTO	MUY FLOJO	FLOJO
	<p>(5)D+1-36% D+2-30% D 3/2- 30% ↑100%</p> <p>(20)D+1-66% D+2-40% D+3/2-50% ↑100%</p>	<p>(2)D+1-24% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(3)D+1-28% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(4)D+1-61% D+2-15% D 3/2- 25% ↑100% *(Sudeste)</p>
	<p>(7)D+1-52% D+2-14% D 3/2- 20% ↑100%</p> <p>(9)D+1-85% D+2-55% D 3/2- 80% ↑70%-↓30%</p> <p>(25)D+1-45% D+2-75% D 3/2- 65% Discrepancias variables</p>	<p>(6)D+1-10% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(7)D+1-10% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(8)D+1-10% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(9)D+1-22% D+2-33% D 3/2- 11% ↑100% *(Sudeste)</p> <p>(10)D+1-22% D+2-46% D 3/2- 30% ↑100% *(Sudeste)</p> <p>(11)D+1-100% D+2-85% D 3/2- 95% ↑100% *(Nordeste)</p>
	<p>(17)D+1-95% D+2-85% D 3/2- 95% ↑100%</p>	<p>(12)D+1-18% D+2-50% D 3/2- 37% ↑100%</p> <p>(13)D+1-5% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(14)D+1-5% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p>
		<p>(10)D+1-13% D+2-7% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(11)D+1-10% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(16)D+1-67% D+2-35% D 3/2- 50% ↑100%</p> <p>(17)D+1-0% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(18)D+1-18% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(21)D+1-30% D+2-65% D 3/2- 50% ↑100%</p>
<p>LEVANTE</p>		

<p>LEVANTE</p>		<p>(22)D+1-40% D+2-7% D 3/2- 20% ↑100%</p> <p>(23)D+1-20% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(24)D+1-5% D+2-10% D 3/2- 5% ↑100%</p> <p>(28)D+1-0% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <hr/> <p>(18)D+1-45% D+2-35% D 3/2- 42% ↑100%</p> <p>(19)D+1-60% D+2-0% D 3/2- 5% ↑100%</p> <p>(20)D+1-80% D+2-43% D 3/2- 50% ↑100%</p>
<p>PONIENTE</p>	<p>(16)D+1-55% D+2-40% D 3/2- 40% ↑100% *(Noroeste)</p> <p>(18)D+1-70% D+2-60% D 3/2- 70% ↑100%</p> <p>(19)D+1-30% D+2-65% D 3/2- 50% ↑40% ↓60%</p> <p>(28)D+1-55% D+2-65% D 3/2- 35% ↑100%</p> <p>(29)D+1-0% D+2-20% D 3/2- 0% ↑100%</p> <hr/> <p>(6) D+1-70% D+2-80% D 3/2-75% ↓100%</p> <p>(8)D+1-17% D+2-14% D 3/2- 14% ↑100%</p>	<p>ABRIL</p> <hr/> <p>(5)D+1-45% D+2-40% D 3/2- 55% ↑ 90%-100%</p> <p>(15)D+1-10% D+2-15% D 3/2- 7% ↑100%</p> <p>(19)D+1-36% D+2-55% D 3/2- 45% ↑90%-100%</p> <hr/> <p>(23)D+1-20% D+2-15% D 3/2- 7% ↑100%</p> <p>(24)D+1-55% D+2-40% D 3/2- 60% ↑75%-↓30%</p>

	<p>(13)D+1-15% D+2-20% D 3/2- 15% ↑100%</p> <p>(14)D+1-25% D+2-20% D 3/2- 25% ↑100%</p> <p>(15)D+1-29% D+2-35% D 3/2- 30% ↑100%</p>	
<p>OTROS</p>	<p>(15)D+1-80 % D+2-40 % D 3/2- 40% D.Vble. </p>	<p>(30)D+1-60 D+2-75% D+3/2-68% ↓80%</p>
	<p>(17)D+1-77% D+2-45% D 3/2- 55% ↑100%</p>	<p>(20)D+1-77 % D+2-65 % D 3/2- 65% ↑ 100% </p>
	<p>(1)D+1-80 % D+2-90 % D 3/2- 85% ↓100% </p>	<p>JUNIO</p>
	<p>(2)D+1-95 % D+2-90 % D 3/2- 100% ↓100% ↑100%</p>	
	<p>(3)D+1-85 % D+2-80 % D 3/2- 85% ↓100% </p>	
	<p>(4)D+1-10 % D+2-40 % D 3/2- 30% ↑ 90%-100% </p> <p>(26)D+1-60 % D+2-85 % D 3/2- 65% ↑ 100% </p> <p>(27)D+1-60 % D+2-70 % D 3/2- 72% ↑ 100% </p>	
<p>(16)D+1-33% D+2-5% D 3/2- 30% ↑100%</p> <p>(21)D+1-40% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%</p> <p>(22)D+1-40% D+2-90% D 3/2- 83% ↑100%</p>		

Tabla resumen de los tipos de viento en Ceuta.

SAN ROQUE

DIRECCIÓN GENERAL DEL VIENTO	MUY FLOJO	FLOJO	FLOJO-MODERADO	MODERADO
LEVANTE	(11)D+1-86% D+2-70% D 3/2- 90% ↓100%	(2)D+1-65% D+2-15% D 3/2- 10% ↑100% (3)D+1-80% D+2-30% D 3/2- 50% ↑100%	ABRIL	(7)D+1-91 % D+2-100% D 3/2- 100% ↓ 100%
	(16)D+1-45% D+2-57% D 3/2- 65% ↑80%-100%	(5)D+1-58% D+2-58% D 3/2- 58% ↑100%	MAYO	(8)D+1-91 % D+2-65% D 3/2- 85% Discrepancias variables
	(18)D+1-40% D+2-5% D 3/2- 30% ↑ 100%	(6)D+1-55% D+2-55% D 3/2- 55% ↑100%	JUNIO	MAYO
	(21)D+1-80% D+2-100% D 3/2- 100% -	(9)D+1-90% D+2-38% D 3/2- 75% ↑100%		JUNIO
	(17)D+1-55% D+2-75% D 3/2- 55% ↑80%	(10)D+1-93% D+2-73% D 3/2- 87% ↑100%		
	(19)D+1-30% D+2-30% D 3/2- 30% ↑100%	(12)D+1-15% D+2-40% D 3/2- 40% ↑100%		
		(13)D+1-30% D+2-15% D 3/2- 25% ↑100%		
		(20)D+1-40% D+2-50% D 3/2- 40% ↑90%		
		(14)D+1-35% D+2-15% D 3/2- 15% ↑100%		
		(10)D+1-45% D+2-30% D 3/2- 40% ↑80%-100%		
	(11)D+1-30% D+2-30% D 3/2- 30% ↑80%-100%			
	(17)D+1-25% D+2-7% D 3/2- 0% ↑100%			
	(18)D+1-35% D+2-40% D 3/2- 35% ↑100%			

PONIENTE	ABRIL	(16)D+1-65% D+2-80% D 3/2- 72% ↑30% -↓ 70%	ABRIL	ABRIL
	MAYO	(18)D+1-65% D+2-70% D 3/2- 70% ↓ 100%	(15)D+1-45% D+2-20% D 3/2- 30% ↓80%	MAYO
	JUNIO	(28)D+1-50% D+2-60% D 3/2- 50% ↓ 90%	(23)D+1-57% D+2-30% D 3/2- 30% ↓80%	JUNIO
		(29)D+1-80% D+2-75% D 3/2- 75% ↓ 100%		
		(19)D+1-80% D+2-35% D 3/2- 46% ↓ 100%		
		(4)D+1-77% D+2-65% D 3/2- 70% Discrepancias variables		
		(5)D+1-45% D+2-45% D 3/2- 35% ↓100%		
		(6)D+1-85% D+2-50% D 3/2- 75% ↓100%		
		(8)D+1-75% D+2-65% D 3/2- 65% Discrepancias variables		
		(19)D+1-65% D+2-65% D 3/2- 70% ↓85%-100%		
	(13)D+1-65% D+2-95% D 3/2- 85% Discrepancias variables			
	(14)D+1-78% D+2-80% D 3/2- 85% ↓100%			
	(15)D+1-83% D+2-50% D 3/2- 70% Discrepancias variables			
	(22)D+1-60% D+2-65% D 3/2- 70% ↓90%-100%			
	(24)D+1-50% D+2-40% D 3/2- 40% ↓100%			

OTROS	(4)D+1-100 % D+2-66 % D 3/2- 100% -	ABRIL	ABRIL	ABRIL
	(15)D+1-70 % D+2-60 % D 3/2- 100% Discrepancias variables	MAYO	MAYO	MAYO
	(30)D+1-78 % D+2-95 % D 3/2- 95% ↓100%	(16)D+1-78% D+2-75% D 3/2- 68% ↓100%	JUNIO	JUNIO
	(17)D+1-65% D+2-90% D 3/2- 82% ↑50% -↓ 50%			
	(1)D+1-80% D+2-75% D 3/2- 75% ↓80%-100%			
	(2)D+1-85% D+2-50% D 3/2- 75% ↑70%-100%			
	(3)D+1-55% D+2-80% D 3/2- 85% ↑40%-↓60%			
	(7)D+1-30% D+2-7% D 3/2- 0% ↑100%			
	(9)D+1-40% D+2-50% D 3/2- 40% ↑90%			
	(20)D+1-60% D+2-80% D 3/2- 70% Discrepancias variables			
(20)D+1-40% D+2-20% D 3/2- 35% ↑100%				
(21)D+1-25% D+2-0% D 3/2- 0% ↑100%				

Tabla resumen de los tipos de vientos en San Roque.

TARIFA

DIRECCIÓN	FLOJO	FLOJO-MODERADO	MODERADO	MODERADO-FUERTE	FUERTE
LEVANTE	ABRIL	(5)D+1-55 % D+2-50 % D 3/2-53% Discrepancias variables	(3)D+1-95 % D+2-95% D 3/2- 95% ↓100%	(2)D+1-85 % D+2-85% D 3/2- 74% ↓100%	(7)D+1-95 % D+2-80% D 3/2- 92% ↓100%
	(2)D+1-45 % D+2-50 % D 3/2-55% Discrepancias variables	(11)D+1-36 % D+2-25 % D 3/2-30% ↓ 100%	(4)D+1-14 % D+2-25% D 3/2- 20% ↓100%	(8)D+1-100 % D+2-100% D 3/2- 100% -	MAYO
	(9)D+1-90 % D+2-55 % D 3/2-80% ↓100%	(20)D+1-65% D+2-50% D 3/2- 65% ↓100%	(6)D+1-75 % D+2-50% D 3/2- 50% ↑100%	(13) D+1-75 % D+2-75% D 3/2- 75% ↓100%	JUNIO
	(25)D+1-90 % D+2-35 % D 3/2-72% ↑100% ↓100%	(10)D+1-27 % D+2-14 % D 3/2-8% ↑ 75%-100%	(9)D+1-57 % D+2-15% D 3/2- 46% ↓100%	(17)D+1-95 % D+2-92 % D 3/2-90% ↓100%	
	JUNIO	(16)D+1-33 % D+2-57 % D 3/2-50% ↓100%	(10)D+1-78 % D+2-25% D 3/2- 40% ↓100%	(28)D+1-85 % D+2-20 % D 3/2-50% ↓100%	
		(24)D+1-72 % D+2-90 % D 3/2-90% ↑100%	(12)D+1-100 % D+2-45% D 3/2- 100% ↓100%	JUNIO	
		(26)D+1-0 % D+2-0 % D 3/2-0% ↓100%	(14)D+1-75 % D+2-80% D 3/2- 85% Discrepancias variables		
		(27)D+1-58 % D+2-20 % D 3/2-20% ↓100%	(7)D+1-57 % D+2-43 % D 3/2-71% ↓100%		
		(17)D+1-27 % D+2-30 % D 3/2-30% ↓100%	(11)D+1-100 % D+2-75 % D 3/2-100% - ↓100%		
		(19)D+1-100 % D+2-90 % D 3/2-100% ↓50%- ↑50%	(18)D+1-75 % D+2-95 % D 3/2-90% ↓100%		
		(21)D+1-95 % D+2-93 % D 3/2-100% ↑100%	(21)D+1-48 % D+2-15 % D 3/2-30% ↓100%		
			(22)D+1-36 % D+2-0 % D 3/2-20% ↓100%		
		(23)D+1-74 % D+2-43 % D 3/2-77% 100%			

			(18)D+1-70 % D+2-45 % D 3/2-50% ↓100%		
			(20)D+1-50 % D+2-7 % D 3/2-15% ↓100%		
	MUY FLOJO	FLOJO	FLOJO-MODERADO	MODERADO	MODERADO-FUERTE
PONIENTE	(30)D+1-87% D+2-80% D 3/2- 90% ↓100%	(16)D+1-92% D+2-93% D 3/2- 86% ↑ 100%			
	(3)D+1-60 % D+2-50 % D 3/2-50% ↓100%	(18)D+1-85% D+2-95% D 3/2- 85% ↓100% -↑100%			
	JUNIO	(19) D+1-74% D+2-78% D 3/2- 85% ↓100%			
		(28)D+1-87% D+2-79% D 3/2- 72% Discrepancias variables			
		(29)D+1-91% D+2-85% D 3/2- 95% ↓100%			
		(30)D+1-87% D+2-80% D 3/2- 90% ↓100%			
		(4)D+1-86 % D+2-43 % D 3/2-70% ↓70%			
		(5)D+1-75 % D+2-55 % D 3/2-70% ↓100%			
		(6)D+1-80 % D+2-55 % D 3/2-60% ↓100%			
		(8)D+1-80 % D+2-70 % D 3/2-85% Discrepancias variables			
		(15)D+1-75 % D+2-86 % D 3/2-86% ↓85%-100%			
		(19)D+1-70 % D+2-80 % D 3/2-85% ↑30%-↓70%			

		<p>(13)D+1-70 % D+2-90 % D 3/2-80% Discrepancias variables</p> <p>(15)D+1-87 % D+2-70 % D 3/2-92% ↑100%</p> <p>(16)D+1-70 % D+2-95 % D 3/2-95% Discrepancias variables</p> <p>(22)D+1-70 % D+2-45 % D 3/2-75% ↓80%-100%</p> <p>(23)D+1-75 % D+2-85 % D 3/2-85% ↓100%</p> <p>(24)D+1-64 % D+2-60 % D 3/2-58% ↓100%</p>			
OTROS	<p>(15)D+1-87 % D+2-43% D 3/2- 57% Discrepancias variables</p> <p>(17)D+1-75 % D+2-70% D 3/2- 95% Discrepancias variables</p> <hr/> <p>(1)D+1-74 % D+2-60 % D 3/2-70% Discrepancias variables</p> <hr/> <p style="text-align: center;">JUNIO</p> <hr/>	<p style="text-align: center;">ABRIL</p> <hr/> <p>(20)D+1-50 % D+2-65 % D 3/2-80% Discrepancias variables</p> <hr/> <p>(14)D+1-82 % D+2-65 % D 3/2-70% ↑100%</p>			

Tabla resumen de los tipos de viento en Tarifa.