

Recursos eólicos marinos en la Península Ibérica: variabilidad, complementariedad y valor añadido para la operación del sistema eléctrico

Miguel Ángel Gaertner

Coautores: Noelia López-Franca, Claudia Gutiérrez, Clemente Gallardo, Enrique Sánchez, María O. Molina, María Ortega

Universidad de Castilla-La Mancha (Toledo)

Supported by the Spanish
State Research Agency through national project
PID2020-118210RB-C21 (EMERGENTES 100%)



Universidad de
Castilla-La Mancha



Supported by the University of Castilla-La Mancha
(Plan Propio de Investigación) through project 2022-
GRIN-34505

Congreso Eólico Marino (Cádiz, 8 de noviembre de 2024)



Grupo MOMAC (UCLM)



Universidad de
Castilla-La Mancha

- **Grupo MOMAC: Modelización para el Medio Ambiente y el Clima** (<https://www.uclm.es/grupos/momac/>)
- **Líneas de investigación actuales:**
 - **Recursos de energías renovables** (eólica y solar)
 - **Cambio climático y extremos climáticos** (olas de calor, ciclones intensos (*medicanes*), ...)
- **Líneas de investigación pasadas:**
 - **Modelización climática regional y proyecciones regionalizadas de cambio climático**
 - **Predicción operativa de producción eólica**

Proyecto EMERGENTES 100%

Título del proyecto

Energías renovables emergentes: contribución potencial a la transición hacia un sistema eléctrico 100% renovable en España bajo condiciones de cambio climático (EMERGENTES 100%)

Objetivos generales

- **Caracterizar los recursos de energías renovables emergentes: eólica marina flotante, eólica de gran altura (*airborne wind energy*)**
- **Determinar el valor añadido de renovables emergentes con respecto a renovables convencionales**

Objetivo específico de este estudio

Tiene la eólica marina un **valor añadido para el sistema eléctrico ibérico**, más allá de la elevada magnitud del recurso eólico?



Analizar la variabilidad temporal y la complementariedad espacial y temporal de las zonas potenciales de instalación de eólica marina

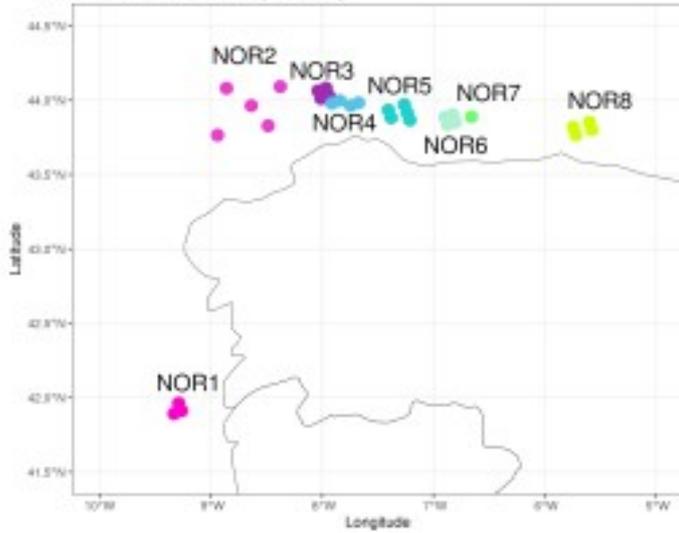
*Importante para el sistema eléctrico semi-cerrado de la Península Ibérica, con una cuota ya elevada de renovables y **dos máximos de demanda** similares en **invierno y verano***

Datos y zonas analizadas

- Enfoque muy aplicado: **15 zonas potenciales de instalación** cerca de las costas españolas y portuguesas, limitadas en el caso de España a las zonas de alto potencial del POEM
- Datos: factor de capacidad (FC) calculado a partir del **viento horario a 105 y 150 m de altura** del reanálisis de alta resolución **COSMO-REA6** (**5-6 km de resolución horizontal**) para el periodo **1995-2018**

Zonas potenciales de instalación

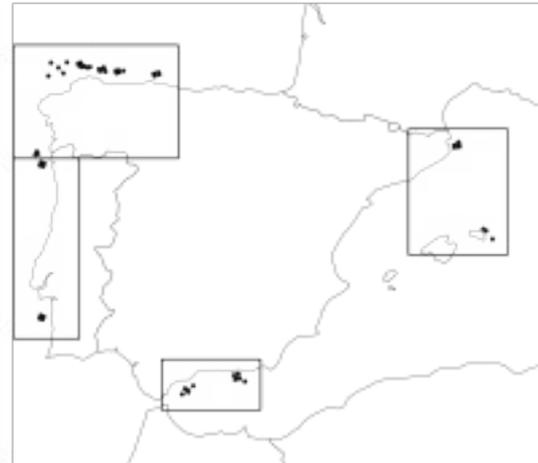
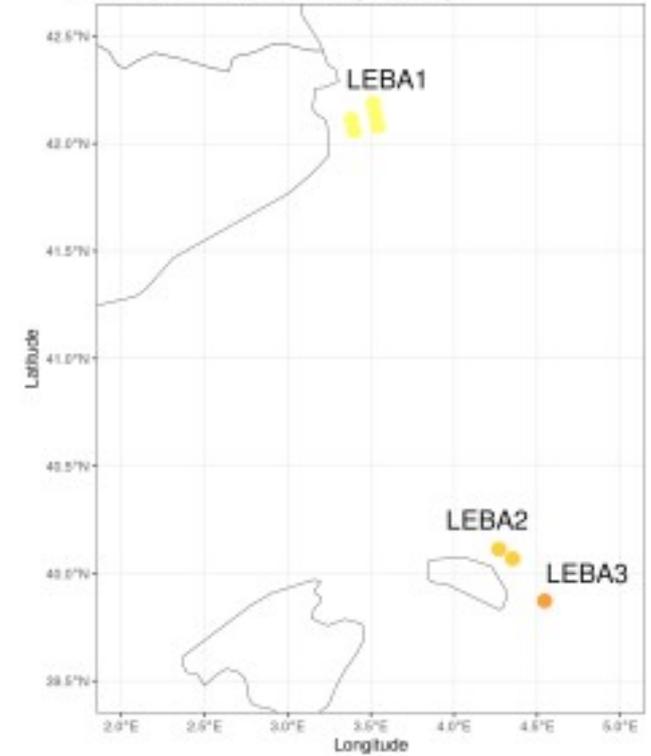
North Atlantic (NOR)



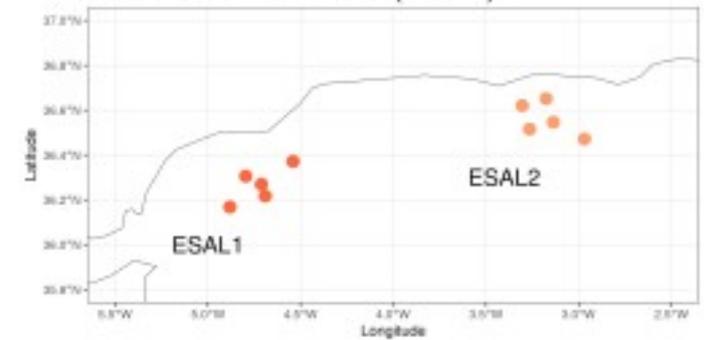
Portugal (POR)



Levantine-Balearic (LEBA)

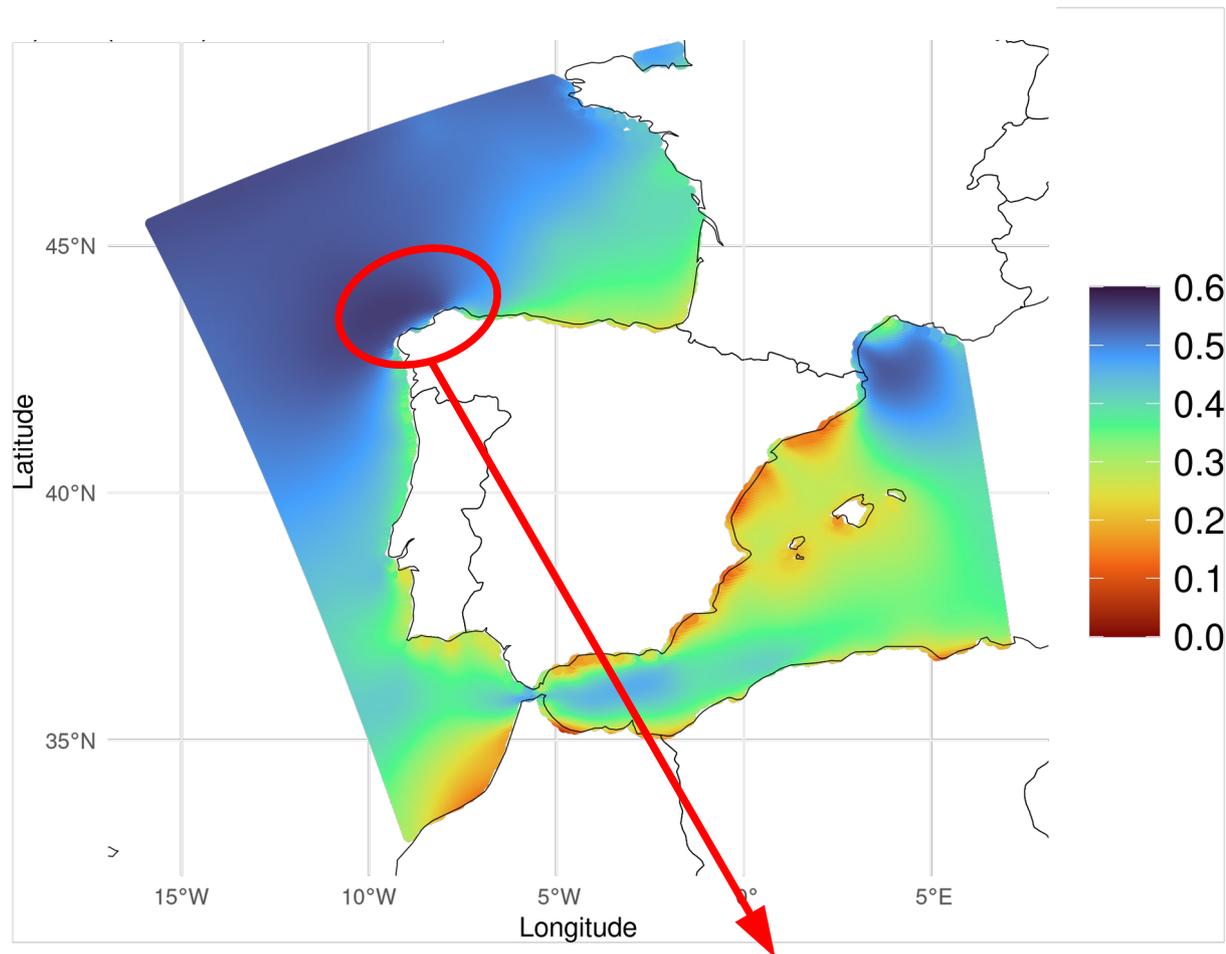


Estrecho and Alboran (ESAL)



Características generales de los recursos eólicos marinos en torno a la Península Ibérica

Factor de capacidad (FC) anual (150 m)



Factor de capacidad máximo

¿Debe ser la cantidad de recurso el único criterio para decidir las localizaciones?

Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales

FC 150 m

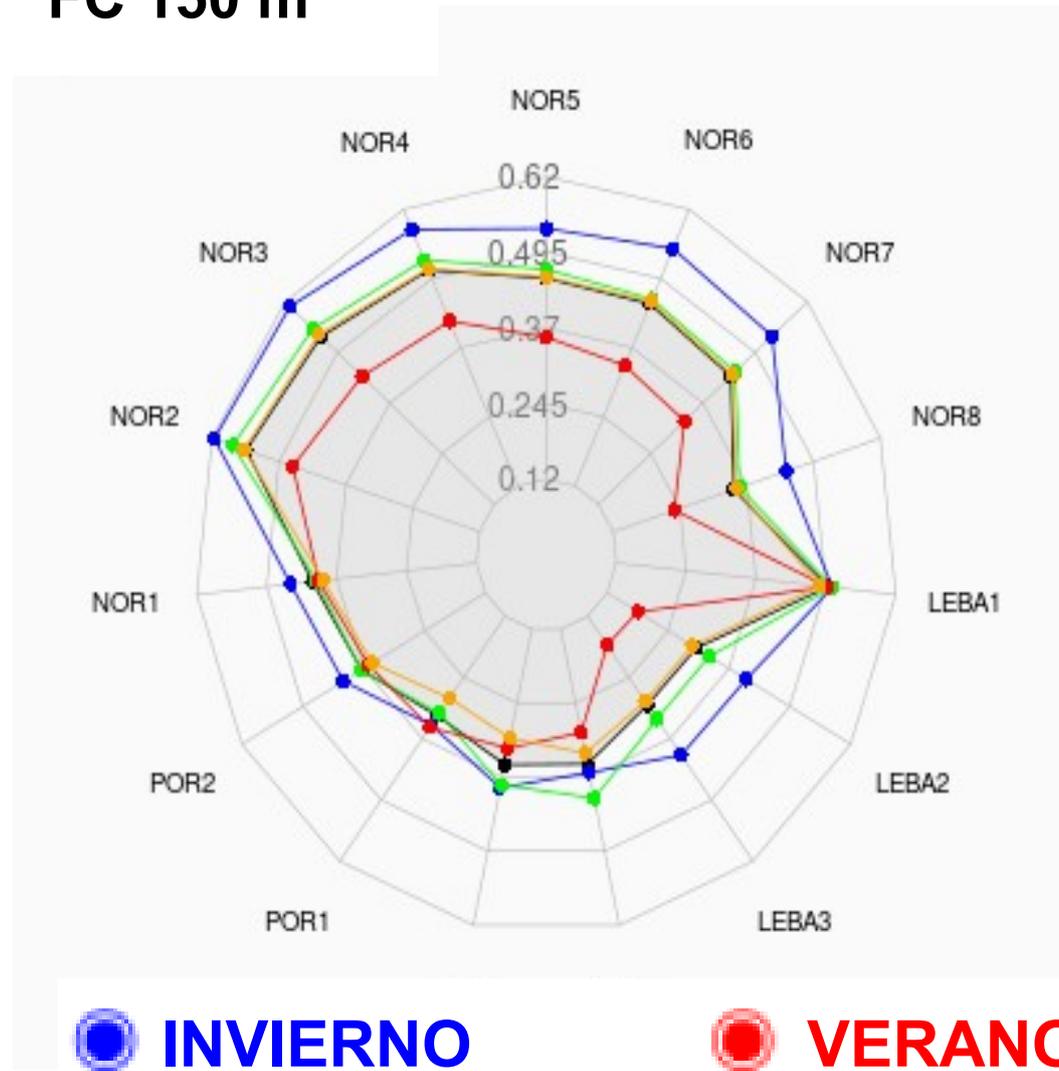
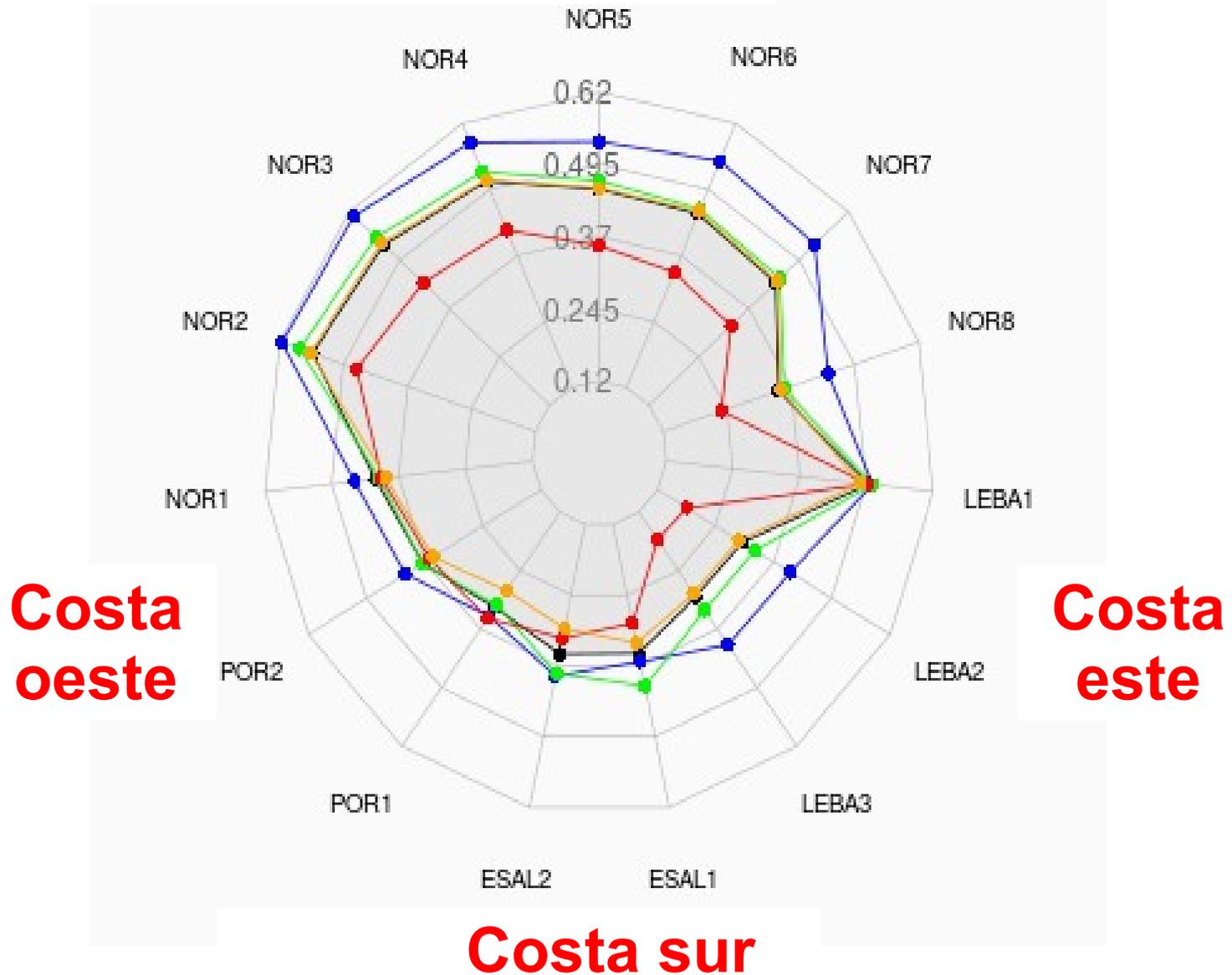


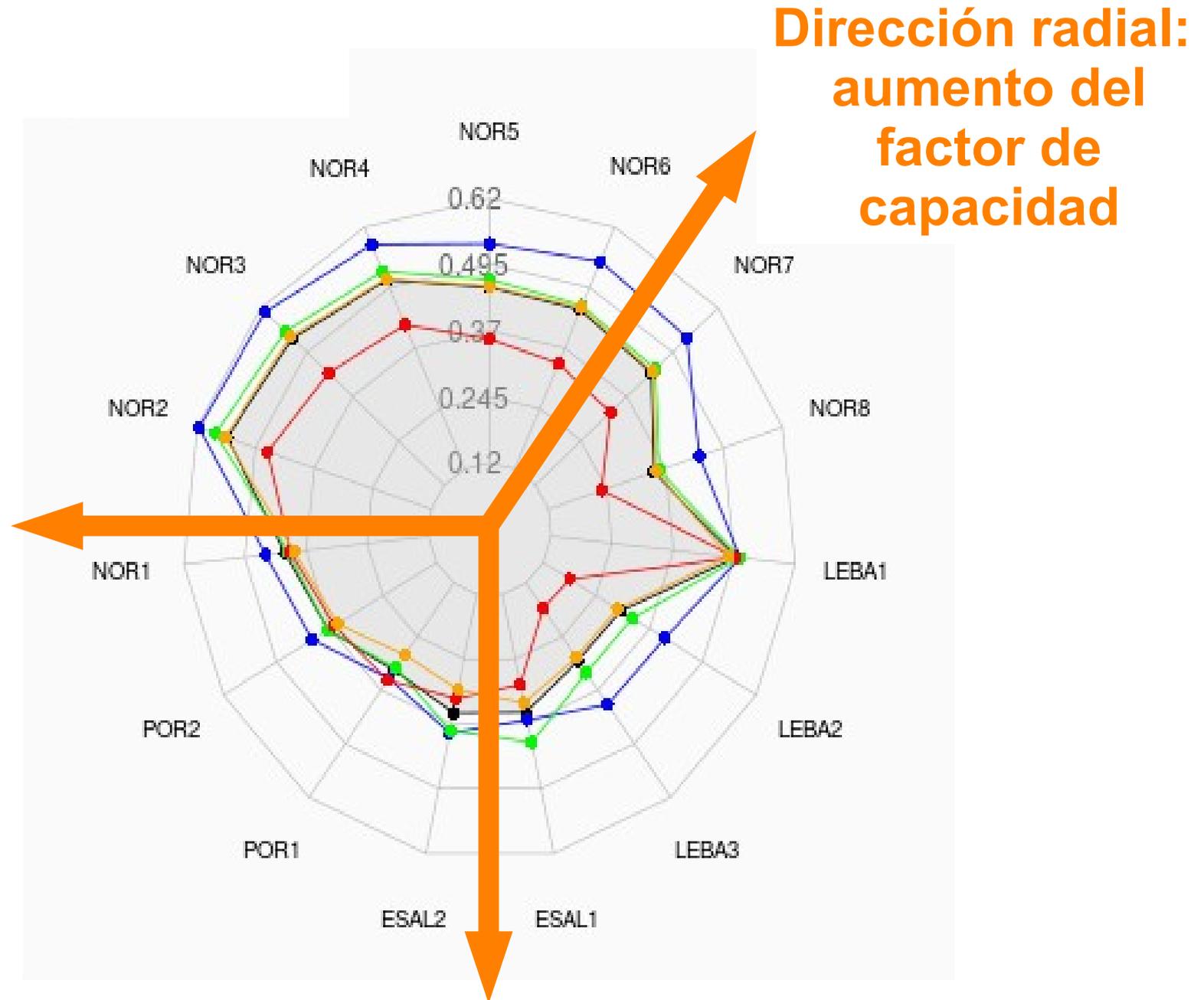
Gráfico de radar: valores medios anuales y estacionales del FC para 15 zonas potenciales en torno la Península Ibérica

Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales

Costa norte

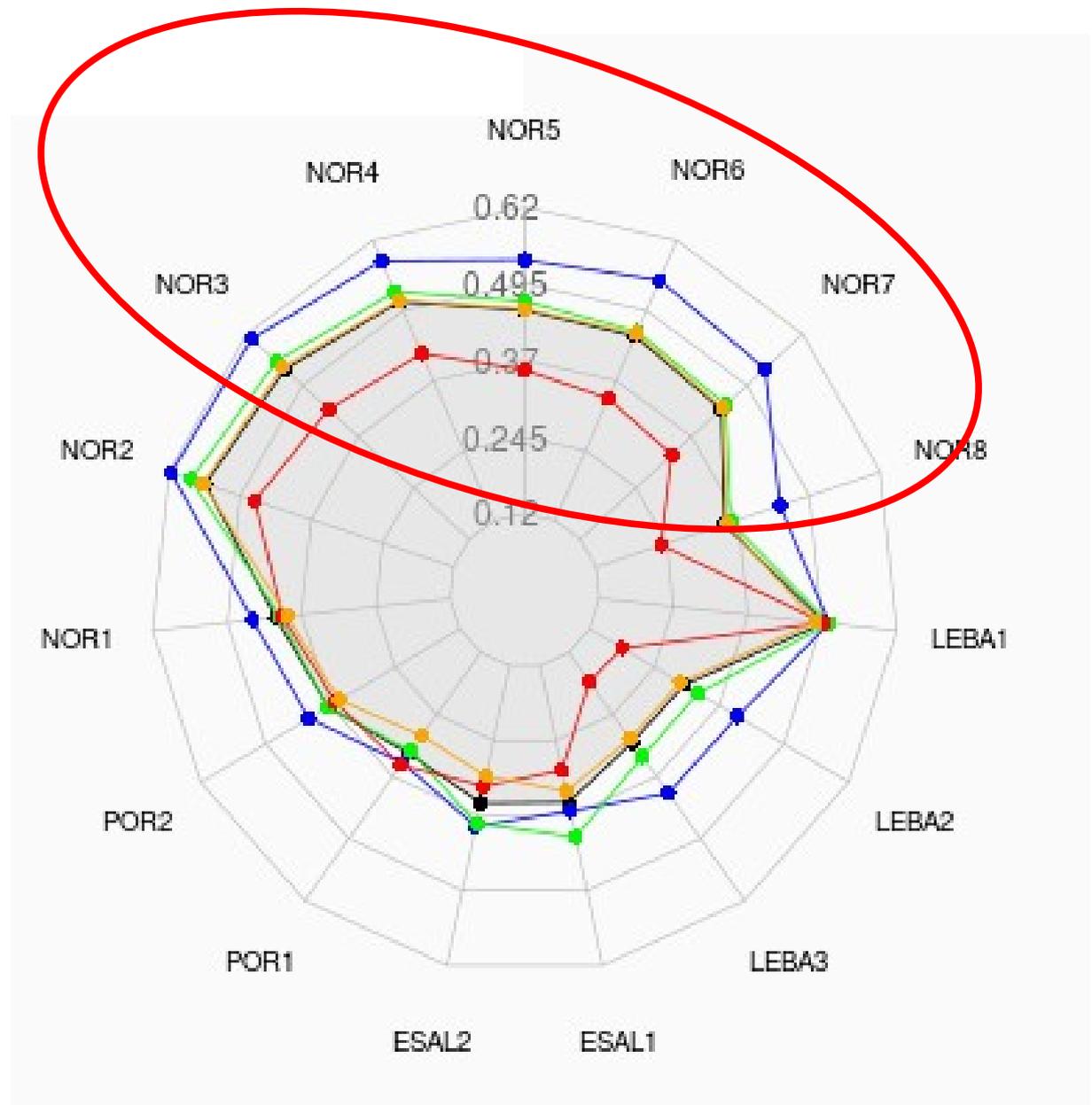


Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales



Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales

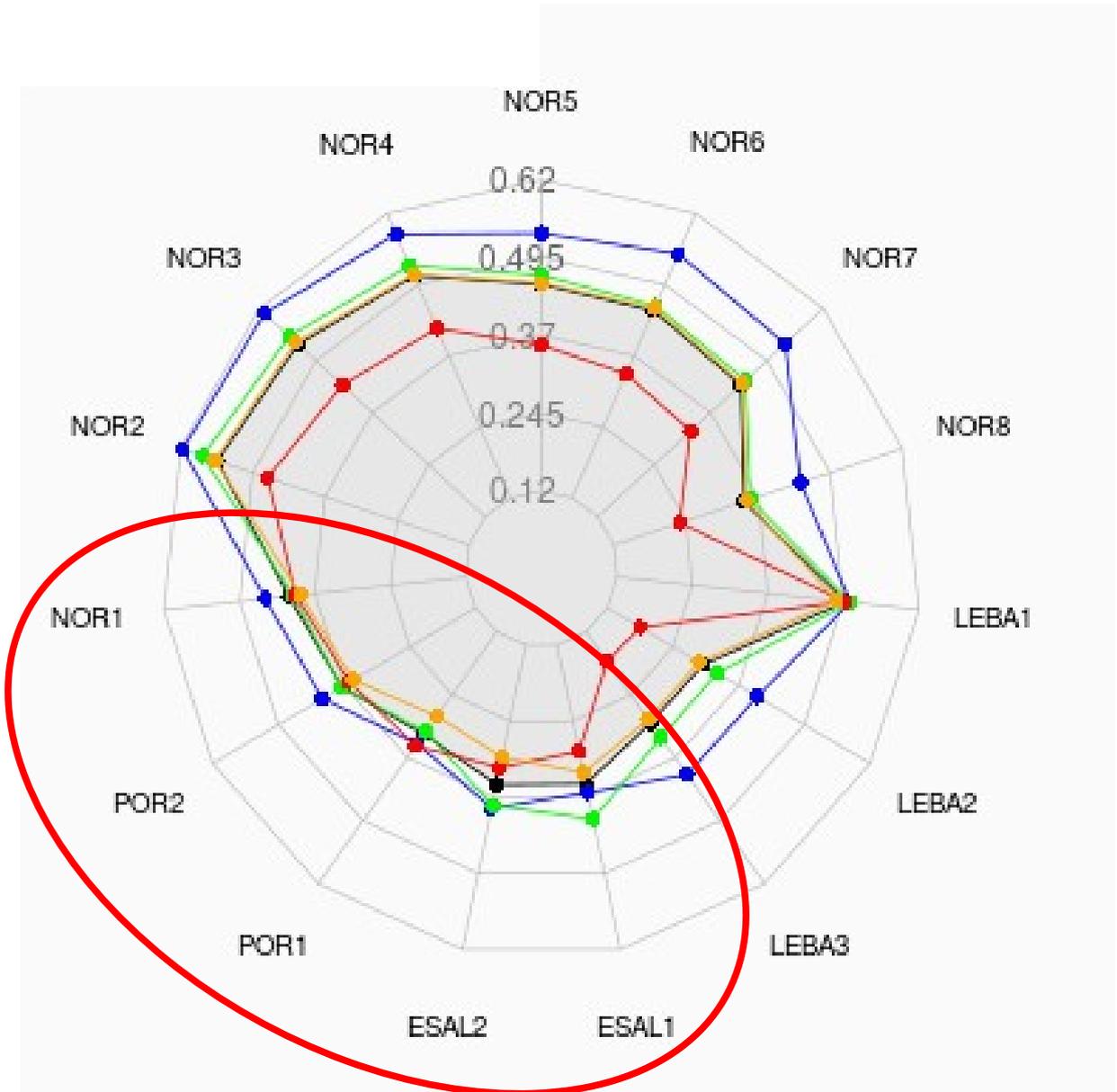
**Costa norte:
FCs altos, pero fuerte
reducción en verano**



 **INVIERNO**

 **VERANO**

Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales



**Costas oeste y sur:
FCs más bajos, pero
poca reducción en
verano**

INVIERNO

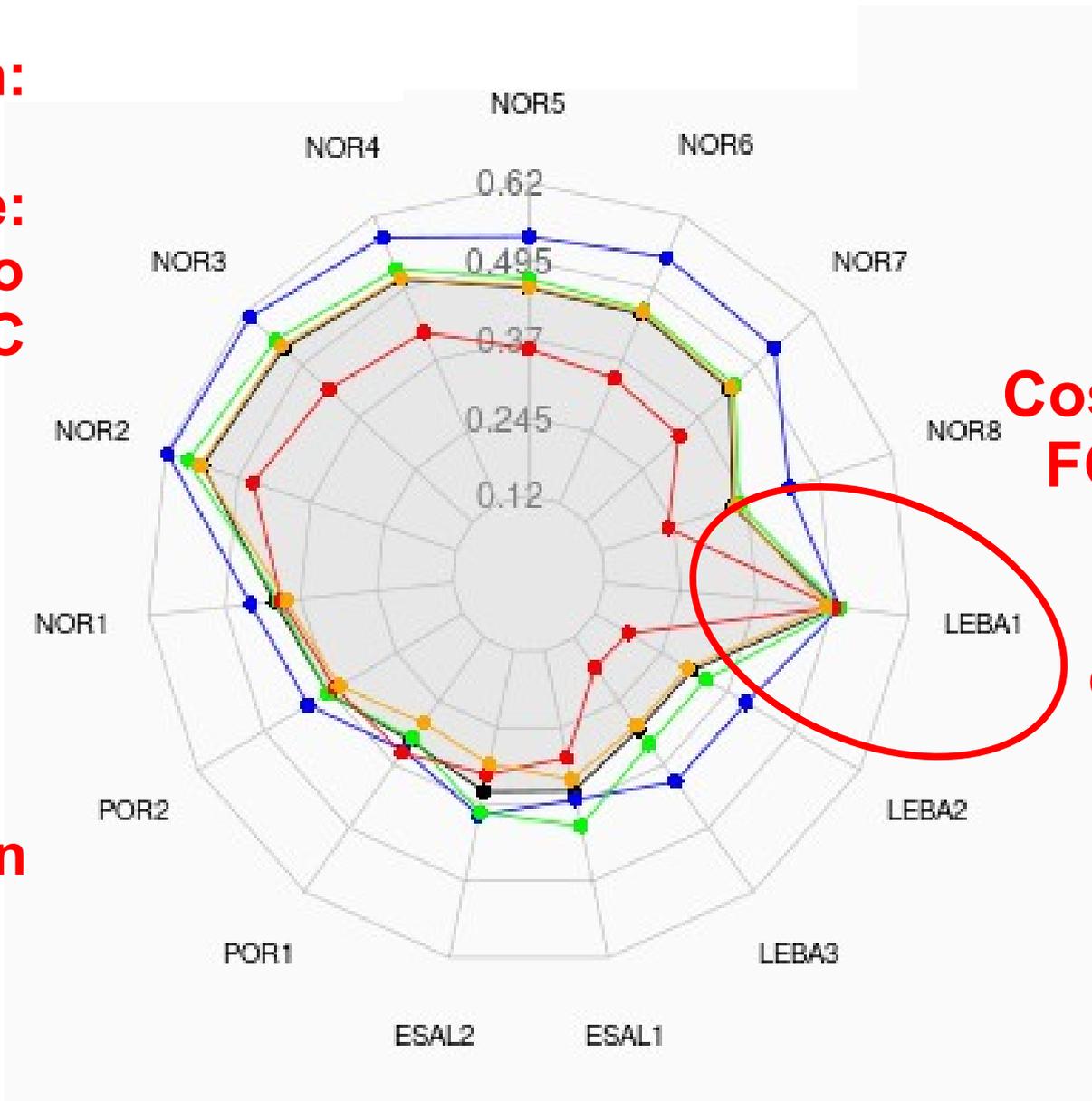
VERANO

Variaciones estacionales del factor de capacidad para zonas individuales

Comparación:

**Mar del Norte:
fuerte mínimo
de verano (FC
50-100%
mayor en
invierno)**

**Eólica
terrestre en
España: FC
60% mayor en
invierno**



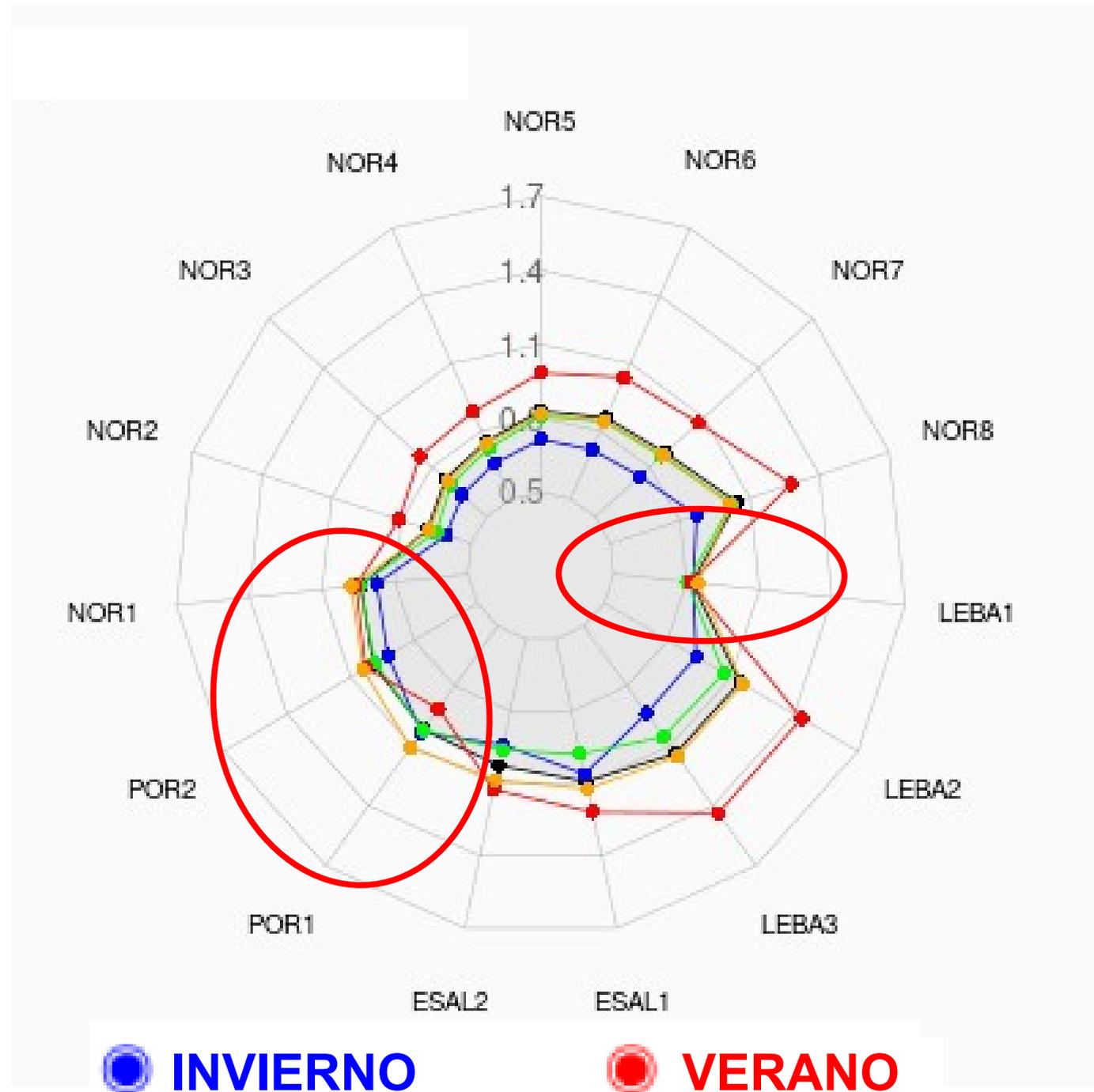
**Costa nordeste:
FC alto y con
muy poca
variación
estacional**

INVIERNO

VERANO

Variabilidad horaria para zonas individuales

Variabilidad mayor en verano, excepto en costas oeste y nordeste

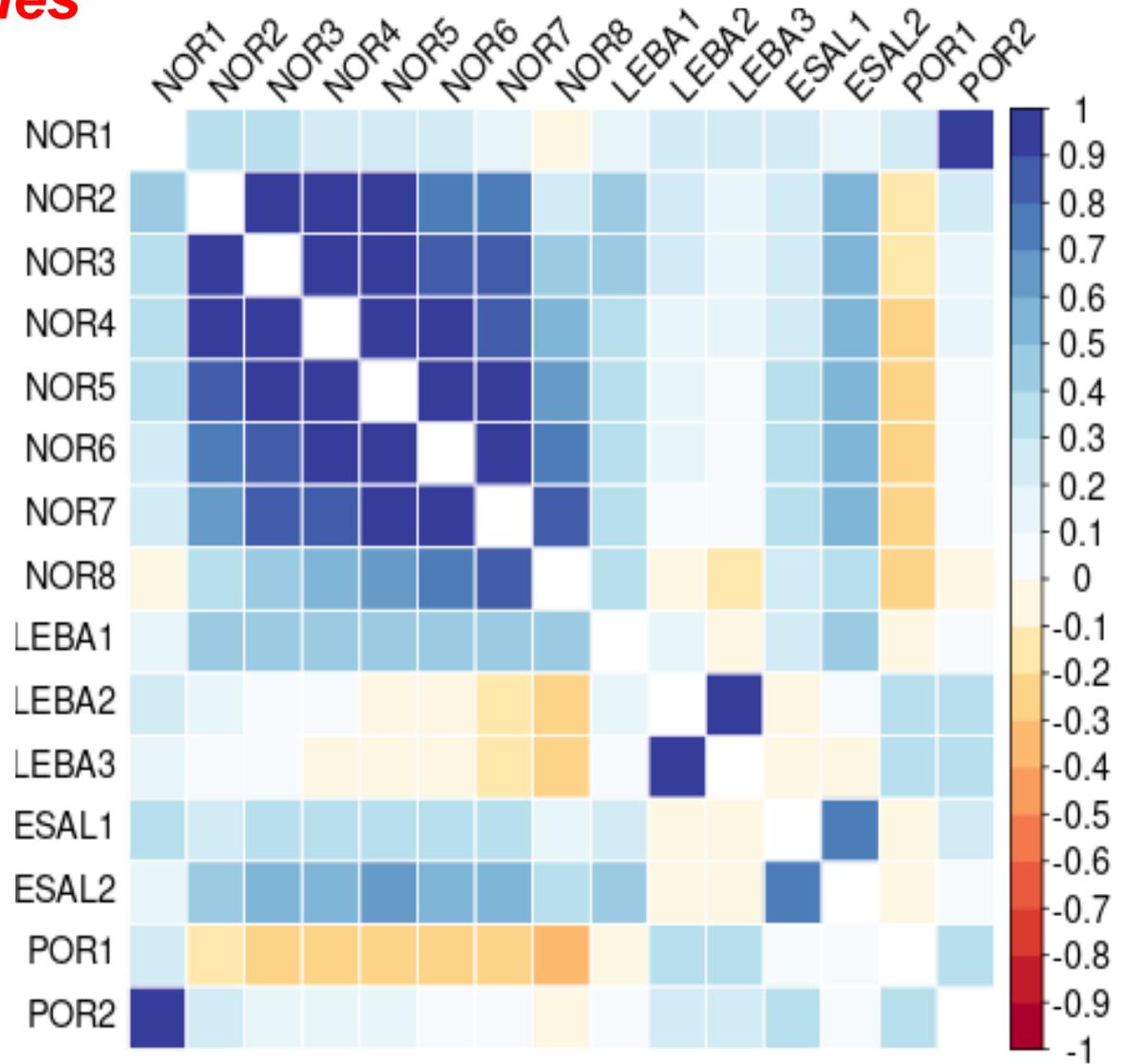


Complementariedad por parejas de zonas potenciales

Correlación entre pares de series temporales anuales

150 m de altura

Complementariedad más alta: zonas de costas este y oeste



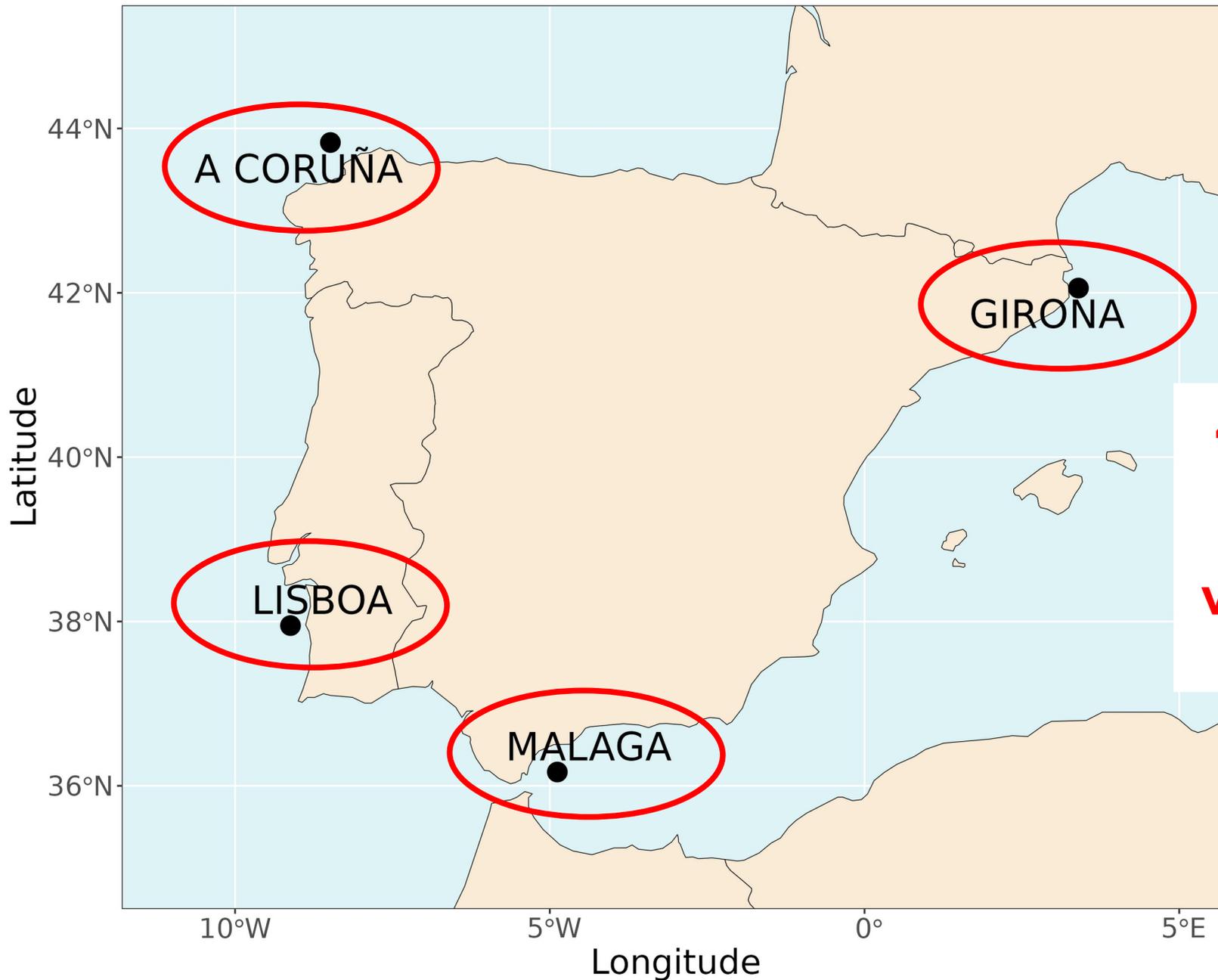
105 m de altura

Colores naranjas: Anticorrelación

Complementariedad por parejas de zonas potenciales

**Complementariedad excepcional:
mucho más alta que en el
Mar del Norte**

Agregación óptima de 4 zonas potenciales para reducir la variabilidad conjunta



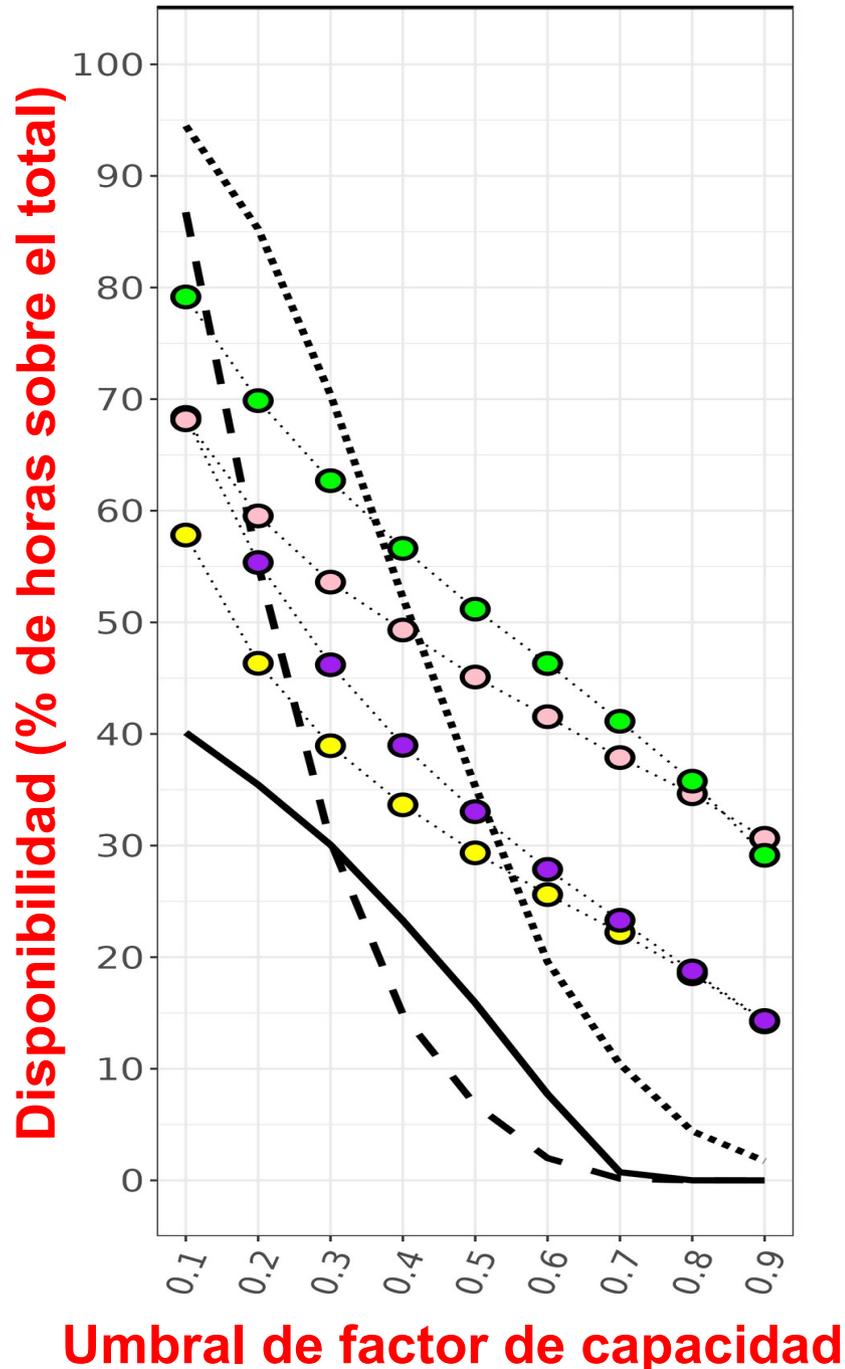
Zonas que reducen más la variabilidad agregada

Valor añadido de la eólica marina respecto a renovables terrestres: datos

- **Eólica marina:** serie de generación agregada estimada con **4 localizaciones óptimas** (estudio anterior)
- Series de generación **solar y eólica terrestre: datos observados** de REE (España) y REN (Portugal). Datos horarios multianuales (**septiembre 2015 - agosto 2019**)

Disponibilidad comparada: eólica marina y renovables terrestres

Periodo entero



..... Eólica marina (agregada)

- - Eólica terrestre

— Solar FV

● A Coruña

● Girona

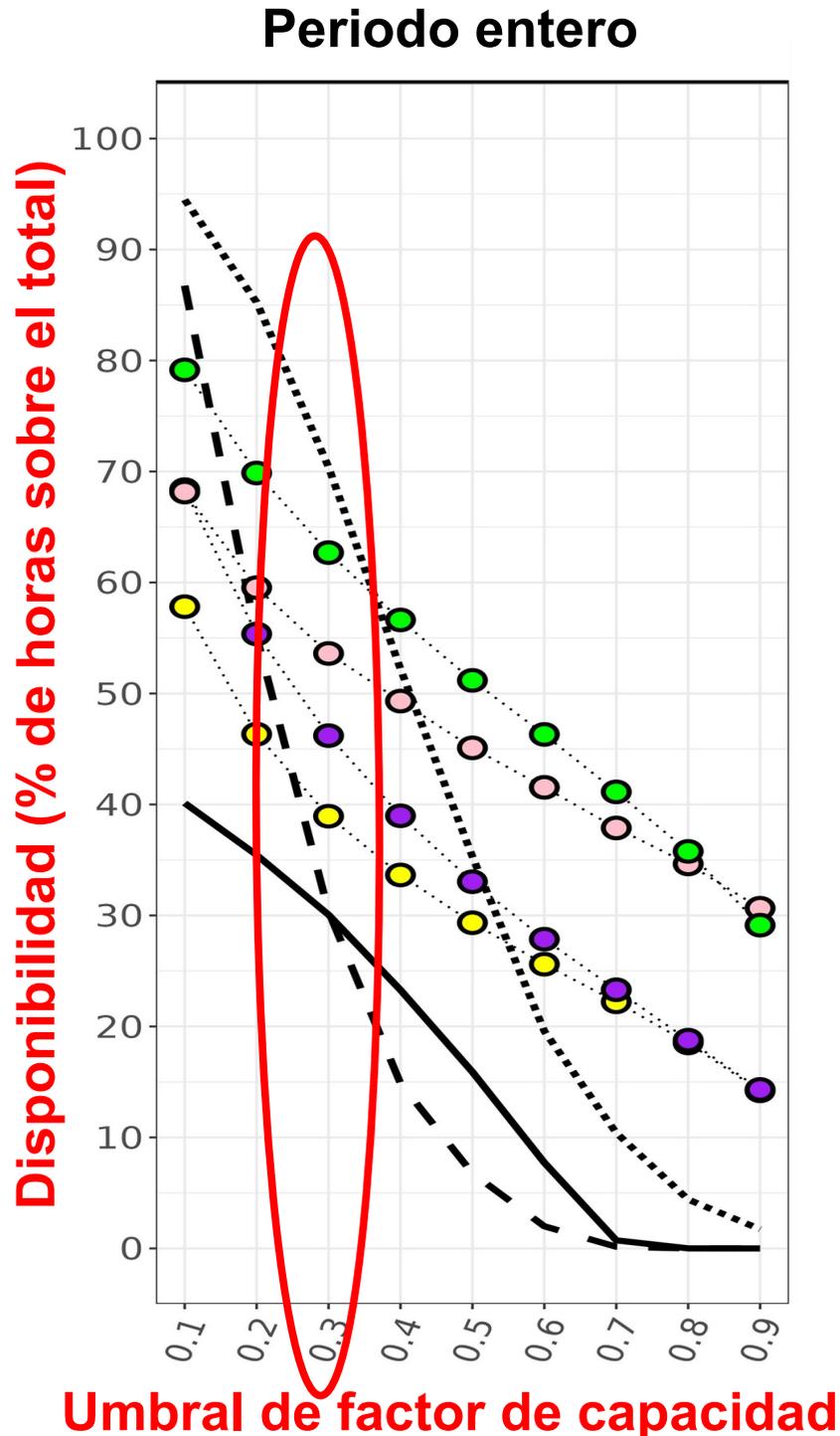
● Málaga

● Lisboa

**Eólica marina
(zonas individuales)**

Disponibilidad: porcentaje de horas por encima de distintos umbrales de factor de capacidad

Disponibilidad comparada: eólica marina y renovables terrestres



..... Eólica marina (agregada)

- - Eólica terrestre

— Solar FV

Disponibilidad por encima del umbral de FC del 30%:

- Todo el periodo: eólica marina **70%**, eólica terrestre y solar **30%**

- Invierno: eólica marina **72%**, eólica terrestre **45%** y solar **20%**

- Verano: eólica marina **66%**, eólica terrestre **11%** y solar **40%**

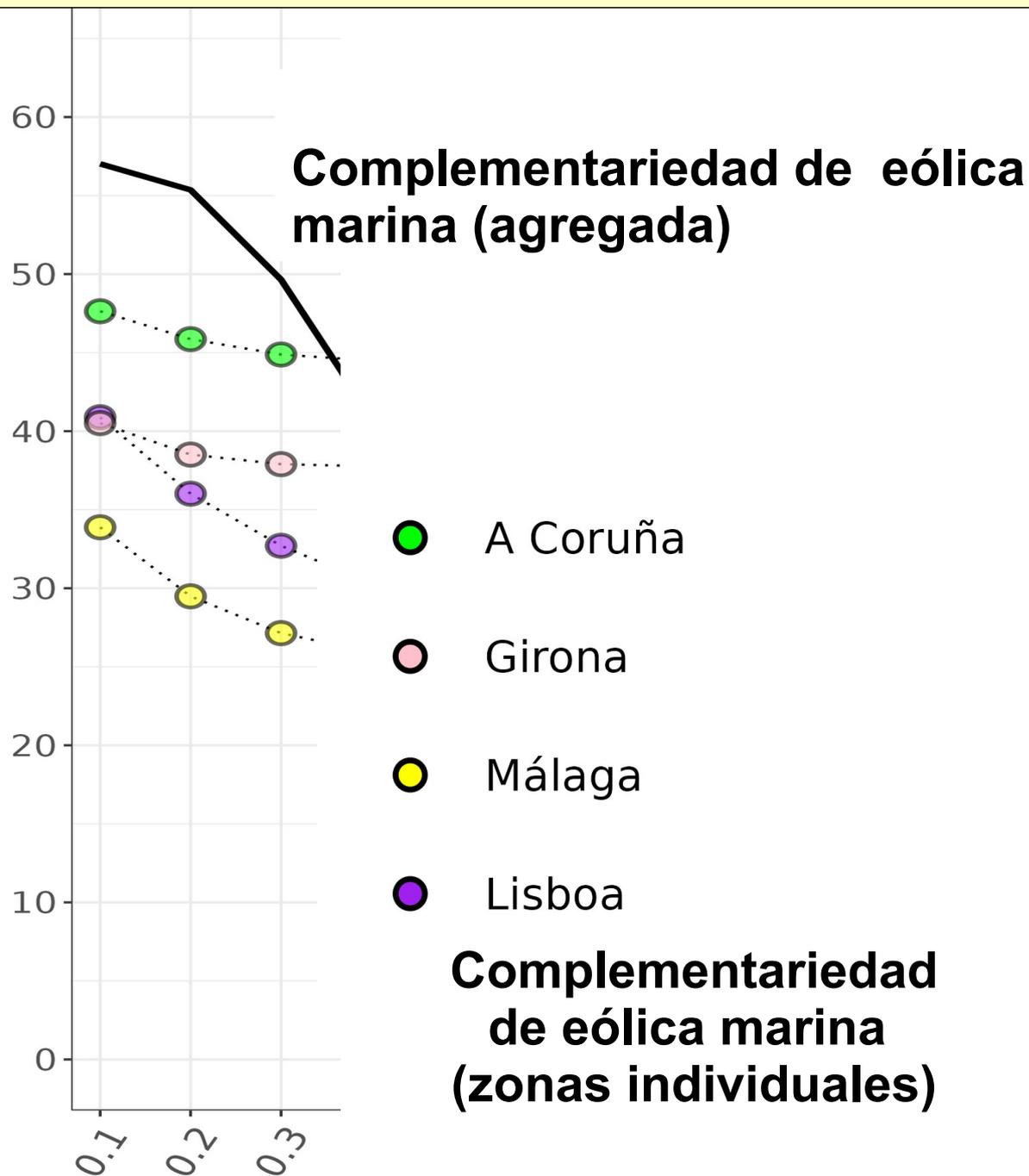
Complementariedad entre eólica marina y solar FV: ¿está disponible la eólica marina cuando hay poca o nula solar?

Porcentaje de horas:

**Eólica marina > Umbral
y**

Solar FV < Umbral

Umbrales de FC (10-30%): poca o nula generación solar



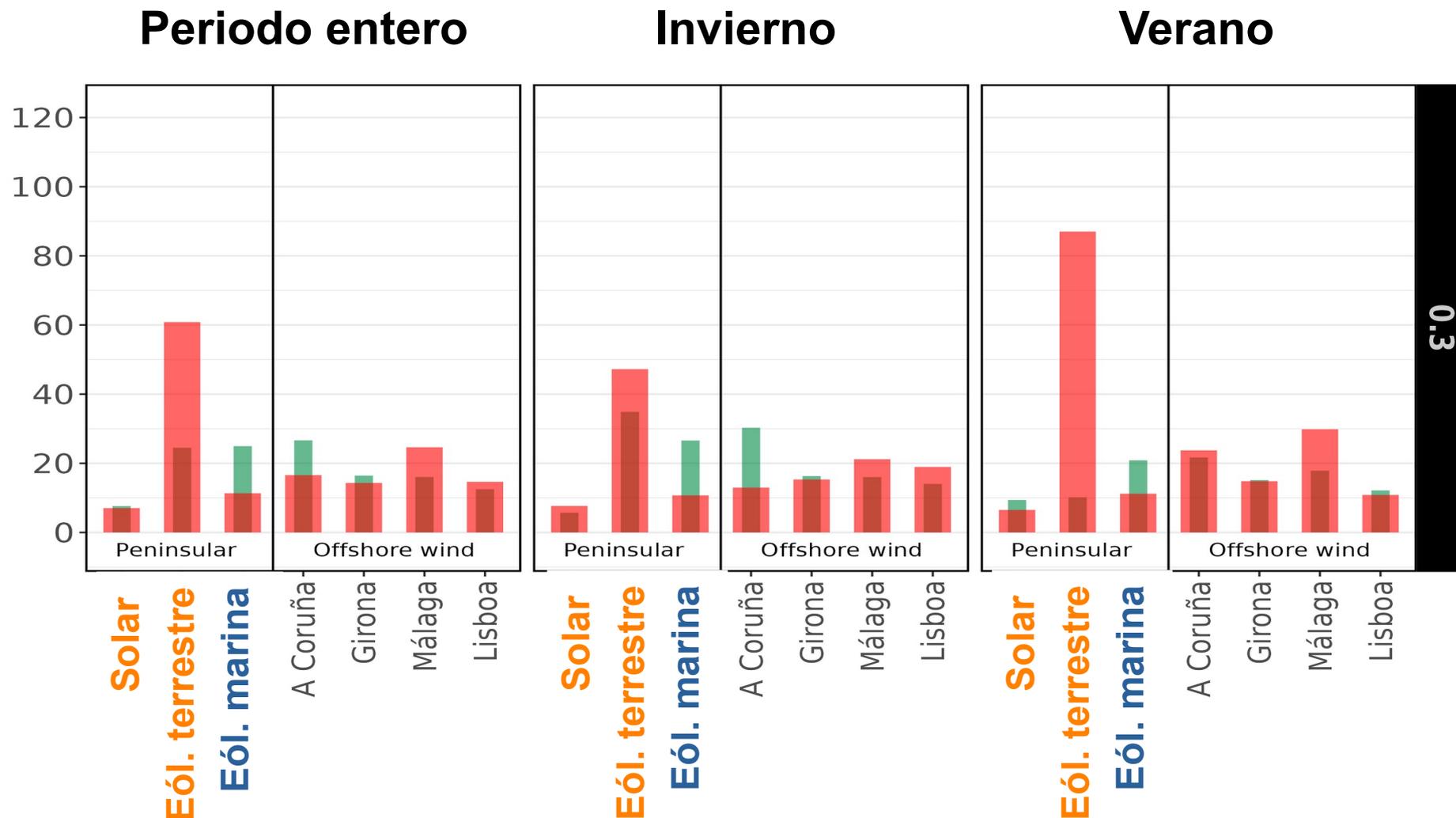
Complementariedad entre eólica marina y solar FV: ¿está disponible la eólica marina cuando hay poca o nula solar?

Comparación de la complementariedad de la eólica marina y la terrestre

Porcentaje de horas en las que la eólica complementa a la solar (FC eólica > 0,3 y FC solar < 0,3):

- **Todo el periodo: eólica marina 50%, eólica terrestre 23%**
- **Invierno: eólica marina 59%, eólica terrestre 37%**
- **Verano: eólica marina 40%, eólica terrestre 7%**

Duración de periodos de mucha y de poca generación

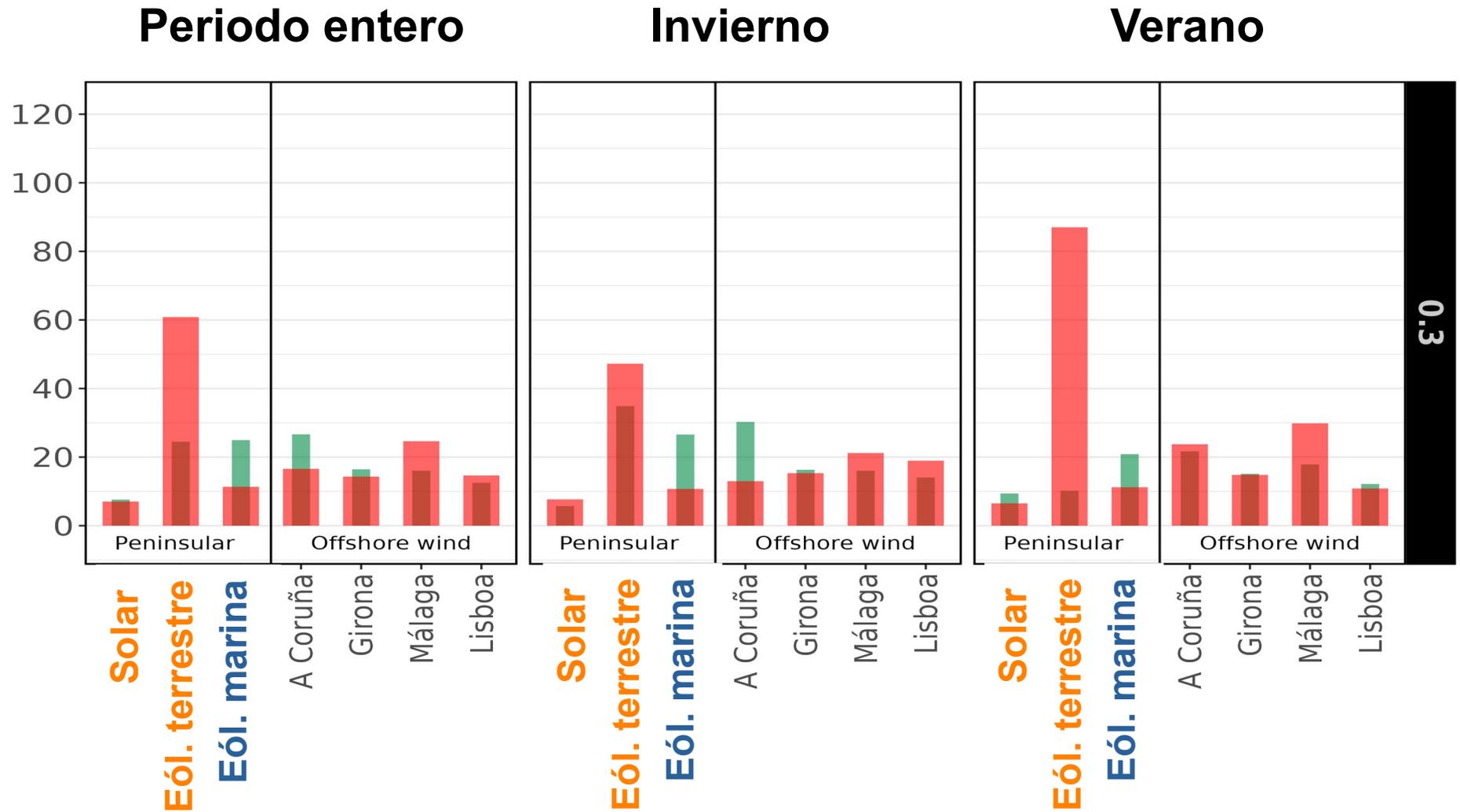


Duración media (horas) de periodos con generación superior e inferior a un umbral de factor de capacidad del **30%**

Barras verdes: generación > umbral

Barras rojas: generación < umbral

Duración de periodos de mucha y de poca generación



Eólica marina: fuerte reducción de duración de periodos de baja generación respecto a la eólica terrestre

Conclusiones

- **Zonas potenciales de instalación individuales:**
 - **Baja estacionalidad del factor de capacidad en varias zonas potenciales:** buena cobertura de máximos de demanda tanto de invierno como de verano
 - **Alta complementariedad espacial entre ciertas zonas (incluso cercanas),** claramente mayor que en el Mar del Norte o la costa este de EE.UU.
- **Combinación de zonas entre las distintas costas:**
 - **Fuerte reducción de la variabilidad horaria total**
 - **Contribución agregada estable al sistema eléctrico con mucha menor estacionalidad que la eólica terrestre**
 - **Reducción de necesidades de respaldo y almacenamiento**

Conclusiones

- **Comparación con las renovables terrestres peninsulares:**
 - **Hay muchas horas en que no hay (o hay poca) solar FV, pero sí hay disponibilidad de eólica marina**
 - **La eólica marina es claramente más complementaria con la solar FV que la eólica terrestre**
 - **La duración de los periodos de poca generación es mucho menor para la eólica marina que para la eólica terrestre**
- **Un desarrollo adecuado de la eólica marina permitiría evitar los problemas de fuerte variabilidad temporal y congestión de la red eléctrica, característicos de la producción eólica en zonas como el Mar del Norte**

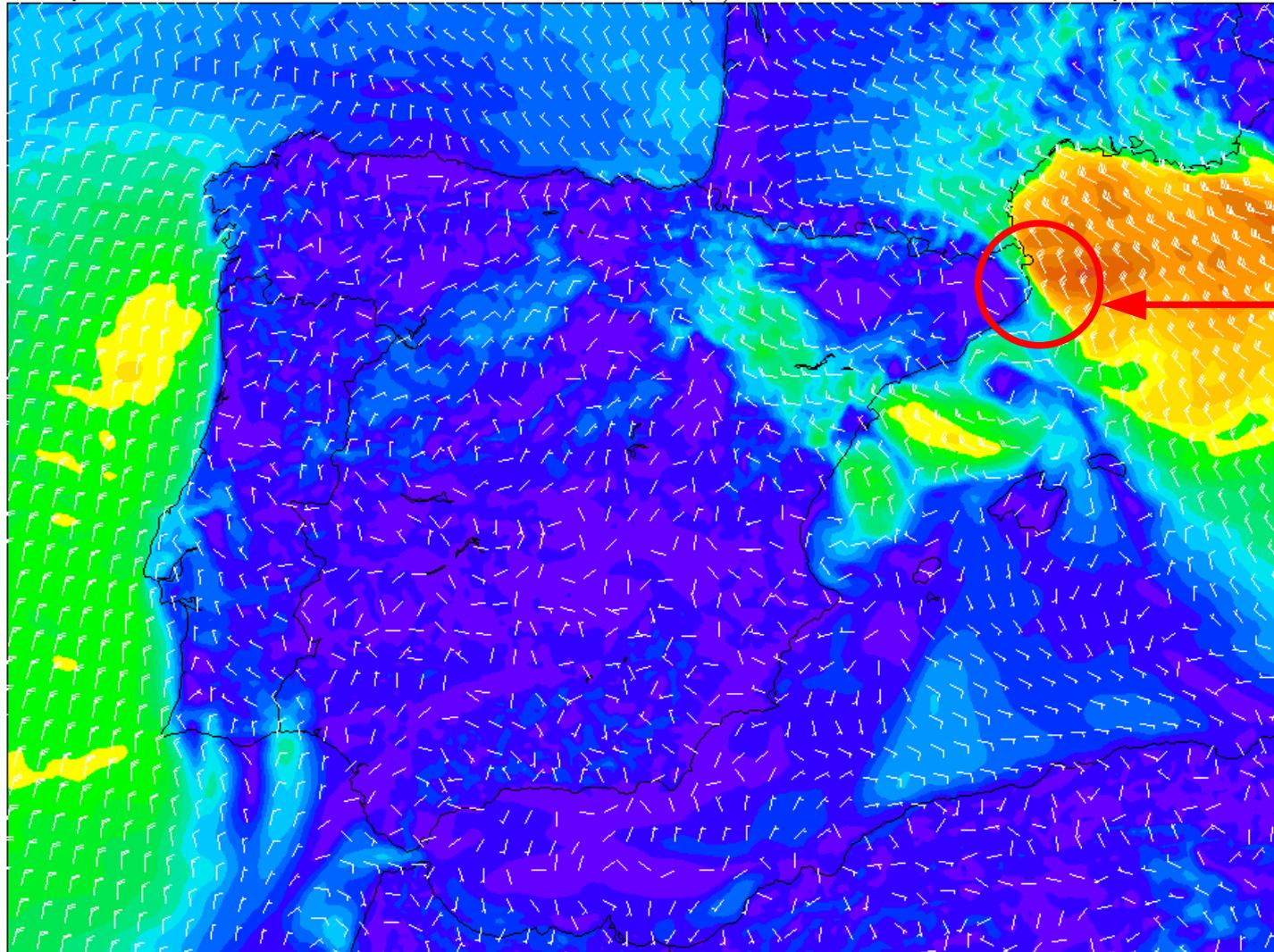
Trabajo futuro: análisis de gradientes de viento y factor de capacidad

La producción podría aumentar sustancialmente con el alejamiento respecto a la costa

Init: Fri,28JUN2024 12Z

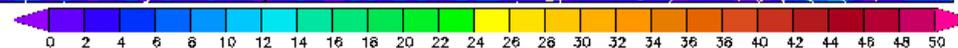
10m Wind (kt)

Valid: Wed,03JUL2024 06Z



Fuerte gradiente

Data: ICON OPER 0.062°
WWW.WETTERZENTRALE.DE



**La eólica marina en España:
No sólo más, sino mucho mejor**

¡Gracias por la atención!